Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Ivan Štoll

Jan Marek Marci - první český fyzik

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 41 (1996), No. 6, 281--295

Persistent URL: `http://dml.cz/dmlcz/137604`

Jan Marek Marci — první český fyzik

Ivan Štoll, Praha

Život a dílo

Vědecká fyzika se, jak známo, zrodila v Evropě v průběhu takzvané vědecké revoluce v 17. století. Neznamená to, že by lidstvo do té doby nenahromadilo různé fyzikální poznatky a nevyužívalo je. Přesto řada základních přírodních jevů zůstávala nepochopena. Nebyla známa zákonitost volného pádu, trajektorie šikmého vrhu (tím spíše, probíhal-li v odporujícím prostředí), zákonitost pohybu kyvadla, srážek těles, zákon lomu světla, gravitační zákon, vlastnosti elektřiny a magnetismu a mnoho dalšího. Nebyl k dispozici pojmový ani matematický aparát k popisu těchto jevů, ani experimentální vybavení k jejich systematickému zkoumání.

Nebudeme zde analyzovat příčiny a podněty, které vyvolaly náhlý zvrat ve vývoji fyziky a ve svých důsledcích i dnešní závratný civilizační pokrok založený v první řadě na fyzikálních poznatcích. Tyto příčiny byly jistě dány společenskou situací, potřebami výroby, vojenské techniky (těžko se střílí, neumíme-li vypočítat, kam střela dopadne), dopravy a námořní navigace v souvislosti s koloniální expanzí.

Myšlenkovou explozi spojenou s vědeckou revolucí podmínily i ideové proudy, které přinesla renesance a reformace, obnovený zájem o dědictví antické vědy. V průběhu

---

Doc. Ing. IVAN ŠTOLL, CSc. (1935), katedra fyziky FJFI ČVUT, Břehová 7, 115 19 Praha 1.

16. a 17. století se objevují latinské překlady do té doby neznámých děl Archimedových a Apolloniových. Mikuláš Kusánský, Giordano Bruno a další myslitelé přehodnocují aristotelovské a ptolemaiovské představy o vesmíru, stále více se prosazuje Koperníkova heliocentrická koncepce. Z Indie se do Evropy oklikami dostává znalost metod trigonometrie, jsou vynalézány logaritmy jako mocný prostředek numerických výpočtů. Vynález knihtisku urychlil šíření vědeckých poznatků.

Fyzika jako experimentální věda se neobejde bez přístrojů a měřicích metod. To ovšem také vyžaduje jasnou definici základních fyzikálních pojmů a veličin, alespoň operacionální. Fyzik musí vědět, co vlastně měří, a když to neví, tak alespoň jak to má měřit. Je neuvěřitelné, že jen v průběhu prvních desetiletí 17. století dostala fyzika, která do té doby vlastně měřicí přístroje nepoužívala, do vínku dalekohled, mikroskop, padostroj, rázostroj, kyvadlové hodiny, tlakoměr, teploměr, elektroskop, vývěvu, třecí elektriku, spektroskop, vlhkoměr, hloubkoměr, hustoměr, dešťoměr, helioskop, gravimetr, Cardanův závěs a řadu technických zdokonalení těchto přístrojů.

A právě v této době žil v Čechách učenec, lékař, který významně zasáhl i do procesu formování nové fyzikální vědy, Jan Marek Marci. Marci prováděl fyzikální experimenty mechanické a optické, zamýšlel se nad pozorovanými přírodními jevy i technologickými a vojenskými zkušenostmi, snažil se vysvětlit tyto jevy pomocí originálních geometrických konstrukcí a uvést je do axiomaticky budovaného logického systému. Zanechal spisy o mechanice a optice, které jsou vlastně prvními našimi fyzikálními monografiemi, pokud práce Keplerovy přiřadíme k astronomii.

Jan Marek Marci se narodil 13. června 1595 v Lanškrouně. V roce 1601 se jeho rodina přestěhovala do Litomyšle, kde Jan Marek navštěvoval základní českou školu. Další, latinské vzdělání, získal na jezuitských školách v Jindřichově Hradci a na olomoucké univerzitě. Podle univerzitních záznamů byl 9. 5. 1615 promován bakalářem a 18. 8. 1616 magistrem filozofie.

O jeho dalších osudech v pohnutých létech stavovského povstání a následných událostí, které vyústily v třicetiletou válku, nic nevíme. Setkáváme se s ním opět v roce 1623, kdy studuje na obnovené lékařské fakultě pražské univerzity. V roce 1625 obhájil disertační práci věnovanou epilepsii, závrati, mrtvici a obrně.

Jan Marek na sebe brzy upozornil svými mimořádnými schopnostmi a již v roce 1626 se stává mimořádným, 1630 pak řádným profesorem lékařské fakulty. Zastává důležitou funkci jako „fysikus“, tedy něco jako hlavní hygienik království českého, později se stává i osobním lékařem napřed Ferdinanda III. a pak i Leopolda I. V létech 1638–1653 byl volen děkanem lékařské fakulty Karlovy univerzity a stejně tak po vytvoření reorganizované Karlo-Ferdinandovy univerzity v létech 1654–1664. V roce 1662 zastával funkci rektora, v níž se profesoři jednotlivých fakult střídali.

V roce 1630 se Jan Marek oženil; jeho žena pocházela ze známé rodiny italských brusičů drahokamů Misseroniů. V roce 1631 se Markovi narodil první syn Jan Jiří, později též lékař. Druhorozený syn Filip, do něhož Marci vkládal velké naděje, se v roce 1650 nešťastnou náhodou utopil ve Vltavě, třetí syn Jan Ludvík vstoupil do řádu augustiniánů a působil jako kanovník v Zaháni. Kromě toho měl Marci dvě dcery, Lucii a Barboru Cecilii, která zemřela v r. 1680 za morové epidemie.

Marciho život samozřejmě ovlivnila třicetiletá válka, která také zkomplikovala mezinárodní vědecké styky a rozdělila Evropu na katolickou a protestantskou. Za švédského vpádu do Prahy se Marci vyznamenal jako spoluorganizátor ozbrojeného odporu pražských studentů a jejich vojenský lékař. Za tyto a další zásluhy byl Marcimu v roce 1654 udělen šlechtický titul „comes palatinus". Marci si zvolil šlechtický přídomek „z Kronlandu" na připomínku rodného Lanškrouna a do svého erbu umístil duhu jednak jako předmět svého vědeckého zájmu, jednak jako symbol míru, který konečně zavládl v Evropě.

Jan Marek se dožil na tehdejší dobu vysokého věku 72 let a zemřel 10. dubna 1667 na mozkovou mrtvici. Ve své závěti si přál být pohřben buď v Betlémské kapli po boku své ženy nebo u sv. Salvátora v Klementinu. Jeho hrob se však nezachoval.[1])

Jan Marek Marci byl ovšem v první řadě lékař, úspěšný v lékařské praxi, kde působil za obtížných situací četných epidemií a válečných událostí. Prosazoval zdravý způsob života, zdůrazňoval význam tělesného (i duševního) pohybu a vydatné stravy pro lidské zdraví. S renesančním gustem popíjel červené víno a přes vodní dýmku kouřil, snad jako první v Praze, dobrý brazilský tabák. Marci také významně přispěl k teoretické medicíně a fyziologii. Uplatňoval u nás tehdy novou Harveyovu koncepci velkého krevního oběhu a zabýval se teorií pohlavního rozmnožování a embryogeneze.

Tyto své lékařské poznatky spojoval s poznatky fyzikálními a filozoficky je zobecňoval. Jeho teologické názory byly neortodoxní, byly blízké platonovskému a spinozovskému panteismu. Marci se zabýval i chemií a některými astronomickými problémy (tehdy nejvýše aktuálním určováním zeměpisné délky), psal o kvadratuře kruhu a ve svém domě v dnešní Melantrichově ulici v Praze prováděl astronomická pozorování. Jako polyglot ovládal téměř všechny evropské i klasické jazyky, studoval talmud a korán v originále. Měl blízko i k různým „hermetickým" a okultním vědám a spojoval v sobě tradici renesanční, rudolfinské a barokní učenosti.

Byl osobností širokého intelektuálního záběru a nesmírné pracovitosti a zhodnocení jeho díla v celé šíři dnes vyžaduje spolupráci mnoha odborníků různých profesí. K tomuto náročnému úkolu mají dílčím způsobem přispět i některé publikace z nedávné doby [1].

Jakožto vědec mezinárodního formátu byl Jan Marek Marci uznán rozhodnutím 14. kongresu Mezinárodní astronomické unie v anglickém Brightonu v roce 1970. Unie se při této příležitosti usnesla pojmenovat jeden z kráterů na Měsíci Marciho jménem. Kráter je sice na odvrácené straně Měsíce, ale na straně přivrácené byly již všechny krátery obsazeny.

[1]) A. Šolcová upozornila na to, že Marek Marci byl nejspíš pohřben v druhém klementinském kostele sv. Klimenta (viz J. Schaler: Beschreibung der königl. Haupt- und Residenzstadt Prag sammt allen darinn befindlichen sehenswürdigen Merkwürdigkeiten, Praha 1796). Kostel byl však začátkem 18. stol. přestavěn a ostatky převezeny pravděpodobně na Olšanské hřbitovy.

Marci jako fyzik

V roce 1639 vychází Marciho fyzikální spis věnovaný mechanice pod názvem „De proportione motus...", „O úměrnosti pohybu...". Obsahuje systematický výklad poznatků mechaniky, které historie fyziky připisuje Galileimu, a navíc původní analýzu rázu pružných a nepružných těles.

V souvislosti s tímto Marciho dílem vzniká celá řada otázek, které patrně nebudou nikdy v úplnosti zodpovězeny. Předně není známo, že by Marci kdy studoval matematiku a fyziku ani kdo byli jeho učiteli a vzory. Pozoruhodnou shodou vychází nejdůležitější Galileiho spis Discorsi, obsahující souhrn Galileiho mechaniky, v roce 1638, tedy rok před vydáním Marciho díla. Marci prokazatelně neměl možnost čerpat z tohoto pramene. Sám se pokusil o kontakt s Galileim za své cesty do Říma 1638 nebo 1639, avšak bezúspěšně. Ve svém pozdějším dopise Galileimu, který se zachoval, líčí, jak mu matematik Guldin umožnil během jednodenní zastávky ve Štýrském Hradci nahlédnout do Galileiho Discorsi a jak byl sám překvapen, do jaké míry se jeho vlastní závěry shodují s Galileiho.

Je přitom zajímavé, že koperníkovsko-galileiovskou heliocentrickou soustavu a učení o rotaci Země Marci stejně jako většina jeho současníků nepřijal, i když o těchto otázkách se svými přáteli diskutoval. Praha byla sice v době Keplerově na světové špičce v budování moderní astronomie a nebeské mechaniky, ale Keplerův odkaz u nás nenašel v následujících desetiletích pokračování.

Pokud jde o základní poznatky pozemské mechaniky (zákon volného pádu, pohyb po nakloněné rovině, vlastnosti kyvadla a další), je možno dedukovat, že k nim Marci dospěl nezávisle na Galileim, i když je publikoval o rok později. Na druhé straně se tyto poznatky rodily v Evropě po dlouhá staletí a Marci mohl mít zprávy o Galileiho pokusech a výsledcích z jiných pramenů. Historie fyziky však musí Marcimu přiznat prioritu alespoň kvalitativní analýzy rázu těles, 30 let předtím než problém matematicky vyřešil Huygens pomocí zákonů zachování hybnosti a energie. Marci také, zřejmě jako první, navrhuje využít kyvadlo k měření krátkých časových intervalů, pulzu pacientů a astronomických pohybů.

V roce 1648 se Marci znovu vrací k mechanice spiskem „De proportione motus figurarum rectilinearum...", „O úměrnosti pohybu přímočarých obrazců...", ve kterém rozvíjí a upřesňuje některá tvrzení své předchozí práce.

V témž roce vychází velký Marciho spis „Thaumantias. Liber de arcu coelesti..." neboli „Kniha o duze". Vedle popisu a pokusu o vysvětlení vlastností duhy obsahuje Marciho kniha výsledky mnoha experimentů s přírodními i umělými světelnými zdroji, pozorování ohybu světla na malých otvorech, překážkách, drátku, hraně i mřížce a všímá si také duhových barev mýdlových bublin. Na tuto skutečnost upozornil teprve v 60. letech našeho století český historik fyziky Jiří Marek [2].

Objev ohybu světla připisuje historie fyziky obvykle Francescovi Mariovi Grimaldimu (1618–1663), jehož spis „Physico Mathesis de lumine, coloribus et iride...", „Fyzikálně matematický traktát o světle, barvách a duze..." vyšel v Bologni až v roce 1665. Pokud jde o barvy tenkých vrstev, byl jejich objev přiznáván Robertu Boyleovi (1627–1691) („Experiments and considerations touching colours", Londýn

1663). Tyto objevitele Marek Marci tedy časově předstihl, i když nemohl ještě podat fyzikální objasnění pozorovaných jevů.

Jan Marek Marci navázal na práce Francesca Maurolyca (1494–1575), který jako první popsal rozklad světla hranolem (jeho práce „Photismi de lumine et umbra“, „Osvětlení světla a stínu“ vyšla posmrtně v roce 1611 v Neapoli). Marci šel pak dále, podrobně zkoumal úhly lomu jednotlivých barevných paprsků a dokázal, že při průchodu dalším hranolem se takový paprsek už nemění. Také tento poznatek se objevuje až u Newtona v jeho slavném dopise Londýnské královské společnosti „New Theory about Light and Colours“, který byl publikován ve Philosophical Transactions roku 1672. Vedou se dohady o tom, zda Newton znal Marciho optické práce čili nic, a jestliže ano, proč je necitoval. Newton podal ovšem hlubší analýzu vlastností spektra, zejména pak dokázal, že bílé světlo je složené a skutečně je ze spektrálních paprsků zpětně vytvořil.

Největší nedostatek Marciho optiky je vázán na skutečnost, že Marci stále ještě neznal a nepoužíval zákon lomu světla, ačkoli jej Descartes publikoval ve své Dioptrice již roku 1637 a použil jej k vytvoření matematické teorie duhy. Přes tyto nedostatky a nedůslednosti zůstává skutečností, že Marci svými experimenty a pozorováními objevil řadu nových optických jevů, podal kvalitativně správný popis vzniku duhy dvojím lomem a vnitřním odrazem na vodních kapkách a systematicky popsal řadu jejích vlastností. Experimentálně také využíval umělé světelné zdroje (svíčku) ke zkoumání vlastností světla.

Marciho mechanika

Všimneme si nyní trochu podrobněji Marciho výsledků z oblasti mechaniky obsažených v jeho práci „O úměrnosti pohybu...“ z roku 1639. Její latinské faksimile je možno najít ve sborníku, který vyšel u příležitosti 300 let od Marciho úmrtí [3]. Podrobný komentovaný výklad obsahu byl publikován v [4].

Forma Marciho knihy se může zdát překvapující. Nemá charakter platónského dialogu, ale připomíná spíše Euklidovy Základy s výchozími obecnými definicemi a axiomy a systémem 41 vět, které se Marci snaží dokazovat. Občas uvádí i některé úlohy a praktické aplikace. Matematický aparát, který má Marci k dispozici, je ovšem omezený. Používá především geometrickou metodu, poučky o podobnosti trojúhelníků, ale také Archimedovy výsledky týkající se rovnováhy na páce. Běžně operuje s trigonometrickými funkcemi a udává jejich hodnoty na pět platných číslic. Občas si vypomáhá intuicí a odvolává se na zkušenost či experiment. Fyzikální pojmy, které používá, nejsou ovšem ještě přesně definovány, takže například pod impulsem chápe někdy hybnost, jindy sílu, moment síly, rychlost apod.

Je možno říci, že Marci ve své práci dospěl k těmto výsledkům, které se pokusil uvést do logicky vázané soustavy:

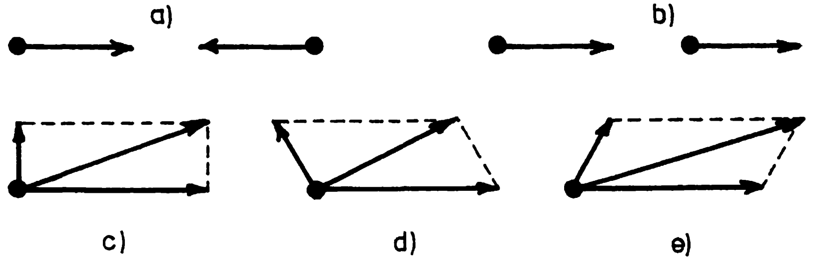
- běžně používá představ o nezávislosti mechanických pohybů a jejich skládání podle pravidla rovnoběžníku,
- udává zákon volného pádu, závislost rychlosti a dráhy na čase,
- udává zákonitosti pohybu po nakloněné rovině v homogenním tíhovém poli a dotýká se i přímočarého pohybu v centrálním poli,
- zdůrazňuje, že všechna tělesa padají touž rychlostí nezávisle na své tíze a případné rozdíly v rychlostech jsou vyvolány odporem prostředí,
- uvádí a snaží se zdůvodnit izochronismus kyvadla a navrhuje jeho použití k přesnému měření času,
- uvádí a zdůvodňuje úměrnost periody kyvadla druhé odmocnině jeho délky,
- rozlišuje přímý a šikmý ráz koulí,
- rozlišuje ráz těles pružných, nepružných a křehkých podle jejich materiálu,
- popisuje průběh pružného rázu koulí jako proces, v němž „impuls“ zaniká a opět se rodí,
- formuluje věty o rázu pružných koulí stejných i různých hmotností.

Knihu zahajuje osm obecných definic zdánlivě triviálních pojmů, např.:

1. *Opačností se nazývá to, co se vzájemně zmenšuje nebo ruší.*
2. *Podobností se nazývá to, co se vzájemně zvětšuje nebo zdokonaluje.*
3. *Smíšeností se nazývá to, co vyvolává smíšené akce.*

Co rozumí opačností, podobností a smíšeností u mechanických pohybů demonstruje na obr. 1. Pohybují-li se dvě tělesa na jedné přímce proti sobě (a), jde o pohyby opačné, pohybují-li se v témž směru (b), jsou to pohyby podobné, pohybují-li se pod pravým úhlem (c), smíšené. Pokud se pohybují pod tupým úhlem (d), jsou nedokonale opačné, pokud pod ostrým (e), nedokonale podobné. Ale nedokonale opačné jsou i pohyby dvou stejných těles, které se pohybují proti sobě různými rychlostmi, nebo dvou těles o různých hmotnostech, které se pohybují proti sobě stejnými rychlostmi.

Zdálo by se, že takto obecné definice nemohou sloužit k dalším logickým dedukcím. Není to ale tak. Především zde Marci plně využívá principu nezávislosti a vektorového skládání mechanických pohybů. I když skládání sil a pohybů zavedl již Stevin v 16. století, v Marciho době to nebyla ještě samozřejmost a ani Galilei si zpočátku



Obr. 1.

plně neuvědomoval význam této možnosti. I Newton považoval za nutné formulovat pravidla o vektorovém skládání sil v návaznosti na své tři pohybové zákony v podobě prvních dvou „corollarií".

Ještě hlubší je Marciho úvaha o opačných pohybech. Položme si otázku, spíše filozofickou než fyzikální, co je opakem rovnoměrného přímočarého pohybu. Descartes na ni odpovídá v tom smyslu, že opakem takového pohybu je klid, a dostává se tím na scestí při řešení úlohy o srážkách těles. Marci má za to, že opakem takového pohybu je pohyb protichůdný, tedy rovnoměrný přímočarý pohyb opačnou rychlostí. V takovém případě se ovšem oba pohyby ruší. To vede Marciho k analýze rázu stejných koulí pohybujících se proti sobě rychlostmi o téže velikosti. Při nepružné srážce mechanický pohyb (podle Marciho impuls) skutečně zaniká, při pružné srážce postupně zaniká a opět se rodí. Marci tak popisuje srážku jako proces zániku a zrodu impulsu, který probíhá v konečném čase.

Vedle těchto dvou možností uvažuje Marci i o třetím druhu rázu, křehkém, kdy se tělesa prostě rozbijí. To ho vede k rozsáhlým úvahám o mechanických vlastnostech materiálů (je tedy v jistém smyslu také zakladatelem nauky o materiálu) s mnoha ilustracemi z technické praxe. Jako lékař zároveň aplikuje teorii rázu i na medicínu a udává možný výsledek nárazu na kost (za třicetileté války jistě častého případu), který může vyústit v pružnou restituci, trvalou deformaci nebo dislokaci.

Po definicích následuje šest výchozích tvrzení nazývaných positiones.

1. *Podobné a rovné zvětšuje své podobné v témž poměru* (tj. části se zvětšují v témž poměru jako celek).

2. *Opačné zmenšuje nebo ruší své opačné stejným způsobem.*

3. *Smísí-li se síly, smísí se akce v témž poměru, v jakém byly síly smíšeny.*

4. *Síla a akce jsou si rovny a týmž způsobem vzrůstají.*

V tomto tvrzení bývá někdy spatřován jakýsi náznak Newtonova zákona síly. Následující tvrzení

5. *Stupeň dokonalosti se zvětšuje takovým způsobem, že trojúhelník si zůstává podobný* vyjadřuje prostý fakt, že grafem přímé úměrnosti je přímka procházející počátkem.

Konečně poslední výchozí tvrzení

6. *Tíhový impuls se zvětšuje úměrně vzdálenosti těžiště od bodu opory* formuluje Marci s výslovným odkazem na Archimeda a jeho spis „O rovnováze".

Následuje 41 vět (propositiones), z nichž si všimneme jen některých, fyzikálně nejzajímavějších.

1. věta: *Impuls je síla neboli hybná kvalita, která může působit jen v konečném čase a prostoru.* Typická Marciho věta, napůl filozofická, napůl fyzikální, kde se směšují základní dosti vágní pojmy, příčiny a následky. Pod impulsem se zde intuitivně chápe množství pohybu, ale také příčina pohybu, síla v aristotelovském duchu.

O impulsu můžeme soudit jen podle jeho účinku, množství pohybu lze tedy měřit například vzdáleností, kterou těleso projde do svého zastavení. Impuls nutí těleso přemisťovat se z jednoho místa na druhé. Může však nastat i takový případ, kdy těleso osciluje kolem rovnovážné polohy, kdy se vlastně jeho celková poloha nemění a mění se jen polohy dílčí. To se pak může dít dvojím způsobem, „zárodečným" a „dokonalým", dnes bychom řekli mikroskopickým a makroskopickým. V prvním případě se těleso ani jeho části nepřemisťují v prostoru (impuls je k tomu příliš malý), chvějí se jen jeho atomy, těleso po úderu vydává zvuk. Dílčím pohybem může být ovšem i rotace tělesa, kdy jednotlivé části mění své vzájemné polohy. Marci rozebírá rotaci pohárku s vodou, kdy při určité úhlové rychlosti začne kapalina vystřikovat.

Dále Marci rozebírá otázku konečnosti pohybu. Těleso se nemůže přemisťovat okamžitě, potřebuje k tomu vždy konečný čas, ani se nemůže pohybovat v konečném prostoru nekonečně dlouhou dobu, je-li pohyb *stále úměrný a sám sobě podobný*, tj. rovnoměrný přímočarý. Kdyby ovšem rychlost úměrně klesala, bylo by možné procházet konečný úsek nekonečnou dobu. Naproti tomu těleso nemůže projít nekonečný prostorový úsek za konečnou dobu. Těmito úvahami se Marci snaží zdůvodnit, že impuls může působit vždy jen v konečném čase a prostoru, tedy že zásoba pohybu v tělese je omezená.

2. věta: *Impuls je nezbytný činitel a vyvolává sobě rovný pohyb.* Zpočátku impuls vyvolává rychlý pohyb a postupně odumírá, což se projevuje v zahřívání. Impuls je možno tělesu dodat nebo zbrzděním odebrat. Je-li těleso ponecháno samo sobě, impuls se postupně zmenšuje a přechází v teplo.

3. věta: *Impuls může vyvolat pouze přímočarý pohyb.* Jak tedy vznikají křivočaré pohyby? S touto spletitou otázkou se Marci snaží vypořádat v dosti rozsáhlé diskusi. Předně zdůrazňuje, že i při rotačním pohybu působí impuls vždy po tečně, jak o tom svědčí směr pohybu jisker odlétajících z roztočeného kotouče brusu. Čím větší vzdálenost od osy rotace, tím větší je tečný impuls a tím větší silou musí být těleso v rotačním pohybu udržováno. Marci to ilustruje na příkladu mlýnských kamenů různých velikostí a dokonce i na rotaci střel vyletujících z rýhovaných hlavní; tak daleko už byla vojenská technika jeho doby.

Zkoumá ovšem i šikmý vrh kamene nebo letícího šípu. Otázkou se zabýval jako první N. Tartaglia v 16. století a dokázal, že proti Aristotelovu mínění je dráha vržené střely po celou dobu letu zakřivena. Také Marci se to domnívá a uvádí, že pohyb šípu musí být složen ze dvou pohybů — přímočarého pohybu vyvolaného počátečním impulsem a pohybu po kružnici *se středem v oku lučištníka*!! Touto fantastickou geometrickou konstrukcí dostává jeho trajektorie šípu podobu oblouku cykloidy! Přitom ovšem počáteční impuls díky tření ubývá, takže vzniká křivka celkem dosti podobná balistické.

Teprve Galilei složil parabolickou trajektorii vrženého tělesa (ovšem ve vakuu) ze dvou přímočarých pohybů, ale Marci tento jeho výsledek zřejmě ještě neznal.

Marci se zamýšlí nad „přirozeným pohybem". Kde se bere impuls tělesa padajícího ze stavu klidu? Připouští dvě možnosti. Buď má těleso svůj „interní" impuls odpovídající jeho tíze, nebo tento impuls pochází zvenčí, je „externí" a vyvolává ho „magnetická" síla Země. Marci je tu ovšem na stopě představě o všeobecné gravitaci, ovšem bohužel Newtonovo jablko mu na hlavu nespadlo.

10. věta: *Rychlost při volném pádu a při pohybu po nakloněné rovině roste v témž poměru.* Na nakloněné rovině se tíže nemůže plně projevit. Poměr rychlostí při pohybu na nakloněné rovině a při volném pádu ve stejných okamžicích je stálý a roven kosinu úhlu náklonu, který Marci vždy měří od svislého směru.

11. věta: *Impuls při jakémkoli pohybu, svislém i šikmém, je větší než tíhový.* Jde o to, že při pohybu v tíhovém poli rychlost tělesa stále roste a jeho impuls se zvětšuje tak, že může překonat jakoukoli mez. Tím se Marci dostává k představě rovnoměrně zrychleného pohybu. V následující větě se snaží formulovat zákon volného pádu. Věta bývá často citována a svou nešťastnou formulací budí rozpaky; podrobná diskuse této věty však ukazuje, že Marci znal správný zákon volného pádu. Tato věta zní

12. věta: *Přírůstky rychlosti jsou úměrné čtvercům času.* Větu Marci doprovází obrázkem, z něhož je patrná přímá úměrnost rychlosti na čase.

Marci pak počítá *střední* rychlost v n–té minutě pádu a dostává (v dnešní notaci)

$$\bar{v}_n = \frac{s_n - s_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} = \frac{1}{2}\,a\,\frac{t_n^2 - t_{n-1}^2}{t_n - t_{n-1}},$$

a protože $t_n - t_{n-1} = 1$, dochází Marci k závěru, že rychlost v dané minutě je úměrná rozdílu čtverců času na konci a na počátku takového jednotkového časového intervalu. Ve skutečnosti samozřejmě máme

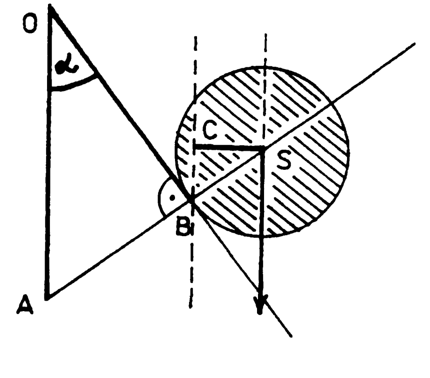
$$\bar{v}_n = \frac{1}{2}\,a(t_n + t_{n-1}),$$

známý zákon lichých čísel.

V následujících větách se Marci zabývá pohyby po nakloněné rovině, resp. pohyby po tětivách kružnice ležící ve svislé rovině. Tyto úvahy mají význam pro řešení problému matematického kyvadla a vycházel z nich i Galilei. Způsob Marciho uvažování je však jiný než u Galileiho. Především Marci uvádí větu

13. věta: *Pohyby po svislé úsečce a po nakloněné úsečce vycházející z téhož bodu, jejichž konce spojuje úsečka kolmá k úsečce nakloněné, jsou stejné* (tj. trvají stejnou dobu) — viz obr. 2.

Při odvozování této věty Marci ovšem nepoužívá pojem zrychlení a jeho projekce do směru



Obr. 2.

nakloněné úsečky. Místo toho uvažuje valení koule a podle Archimeda určuje moment tíhové síly vzhledem k bodu dotyku koule s nakloněnou úsečkou. Zjišťuje, že tento moment síly je úměrný délce nakloněné úsečky. Protože moment síly, který ovšem nazývá také impulsem, musí být podle předchozích vět úměrný času, za který těleso projde danou dráhu, považuje Marci větu za dokázanou. Získaný výsledek je náhodou správný.

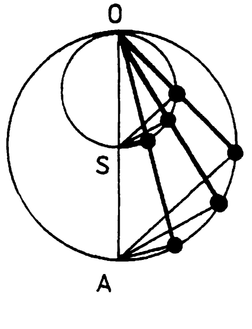
Přitom však Marciho odvození selhává u pohybu po svislé úsečce — aby doba pohybu koule po ní byla stejná jako po nakloněné, musela by se koule i po svislé úsečce valit, což nelze fyzikálně realizovat. Galilei dokazoval toto tvrzení poukazem na izochronnost kyvadla, tedy vycházel z nesprávného předpokladu a nesprávným způsobem uvažování dostal rovněž správný výsledek.

15. věta: *Pohyby ze stejného bodu po tětivách jsou rovny pohybu po průměru téže kružnice.* Rozumí se kružnice ve svislé rovině a pohyby vycházející z jejího nejvyššího bodu. Odmyslíme-li si valení koulí a představíme-li si prostě postupné pohyby těles bez tření pod vlivem příslušné složky tíhové síly, zjistíme, že všechna tělesa dosáhnou obvodu kružnice za stejnou dobu $t = \sqrt{2d/g}$, kde d je průměr kružnice. Jde o oblíbený příklad z mechaniky v prvním ročníku vysoké školy.

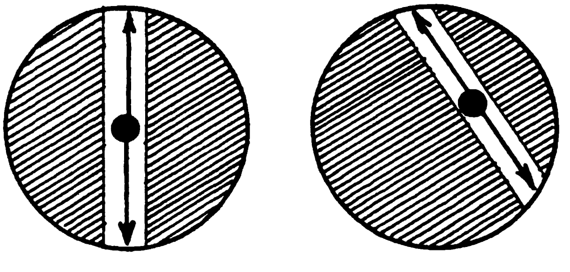
16. věta: *Pohyb tíhový po více nakloněné přímce ve větší vzdálenosti od centra končí ve stejném okamžiku.*

17. věta: *Pohyb tíhový z téhož bodu po přímkách nakloněných k horizontále končí na kružnici, jejíž průměr tvoří vzdálenost mezi tímto bodem a centrem světa.*

Tady Marci nenápadně přechází od homogenního tíhového pole k poli centrálnímu. Představíme-li si centrální přitažlivé silové pole se silou směřující do „centra světa“ S na obr. 3 a pohyb z bodu O po přímkách jdoucích mimo bod S, dosáhnou tělesa rovnovážné polohy na kružnici o průměru OS ve stejném okamžiku a budou kolem této polohy kmitat. Jejich druhá krajní poloha bude ležet na kružnici se středem S a o poloměru OS. To je smysl vět 16. a 17.



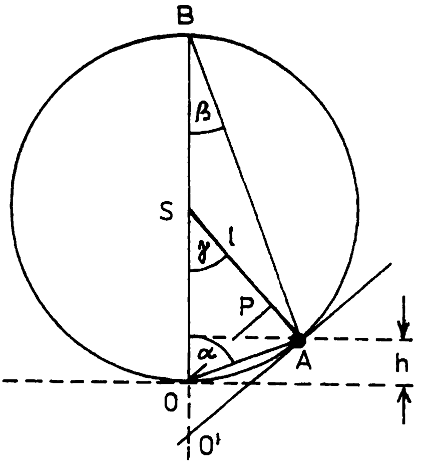
Obr. 3.



Obr. 4.

Kdybychom si představili tyto pohyby v šachtách vyvrtaných uvnitř zeměkoule (obr. 4), potom by takový kmitavý pohyb byl harmonický se stejnou periodou $T = 2\pi\sqrt{R_Z/g}$. Pokud by šlo o pohyb v centrálním poli nepřímo úměrném čtverci vzdálenosti od centra, pohyb by ovšem harmonický nebyl a výpočet jeho periody by představoval pěknou úlohu na integrování.

V několika dalších větách se Marci zabývá kmitavými pohyby a chystá se objasnit problém matematického kyvadla. Podobně jako Galilei je přesvědčen, že perioda kyvadla nezávisí na jeho amplitudě, a těžko zjistíme, zda byl k tomu Galileim inspirován, či zda k tomuto, v podstatě chybnému, ale produktivnímu závěru došel sám. Především se snaží určit rychlost kyvadla v dolním rovnovážném bodě, bylo-li na počátku vychýleno o úhel γ (obr. 5).



Obr. 5.

Protože nezná zákon zachování energie, vymýšlí si k tomu účelu geometrickou konstrukci, aby určil závislost množství pohybu kyvadla na jeho výchylce. Vychází z toho, že impuls při kruhovém pohybu míří vždy po tečně, a zavádí „normovanou délku tečny“. Její konstrukce je zřejmá z obrázku — je to délka úsečky OP rovnoběžné s tečnou v horním bodě kyvadla A. Při dané délce kyvadla je tato úsečka úměrná $\sin\gamma$. Marci tedy formuluje větu 22. (která je omylem označena jako 12.):

22. věta: *Pohyb po oblouku téže kružnice má týž poměr jako sinus úhlu γ, který je dvojnásobkem úhlu β doplňkového k úhlu náklonu tětivy α.* Není to sice pravda, ale není to tak říkajíc od pravdy příliš daleko. Použijeme-li, jako Galilei, zákon zachování energie, zjistíme, že rychlost kyvadla ve spodním bodě je úměrná $\sin\gamma/2$.

Dále Marci konstatuje, že pohyb kyvadla po oblouku kružnice je nerovnoměrný, a formuluje větu

24. věta: *Kyvadlo se z libovolného bodu své kružnice vrací do rovnovážné polohy za stejnou dobu.* S důkazem tohoto tvrzení měli jak Marci, tak Galilei potíže, což není divu vzhledem k tomu, že věta neplatí. Marci se snaží izochronismus na mnoha stránkách složitě geometricky zdůvodnit, počítá průměrné rychlosti na dílčích obloucích, uvažuje dvě kyvadla téže délky puštěná z různých výšek a snaží se dokázat, že obě musí dospět do dolního bodu současně. Zřejmě neuspokojen vrací se k této otázce znovu ve své druhé práci o mechanice z roku 1648.

Konečně přechází k otázce, jak závisí doba kyvu kyvadla na jeho délce (věty 26.–29.) V podstatě se odvolává na zákon volného pádu (svou větu 12.) a naprosto nesrozumitelně praví

28. věta: *Kruhové pohyby jsou v poměru svých dob, které odpovídají poměrům jejich zdvojených průměrů.* V diskusi této věty převádí pohyb kyvadla na svislé pohyby po dráze rovné dvojnásobku délky kyvadla a říká, že doba kyvu je úměrná druhé odmocnině délky kyvadla.

Počínaje větou 36. se Marci zabývá problematikou rázu koulí. Geometricky definuje přímý a šikmý ráz a obrací se k jeho fyzikální podstatě. Je si vědom, že průběh rázu je podmíněn vlastnostmi materiálu srážejících se těles. Rozděluje tělesa na měkká, deformovatelná (uvádí jíl, vosk, vlnu, olovo) nebo tvrdá, a to dvojího druhu — absolutně tvrdá, jestliže se nedeformují vůbec (kovy), nebo křehká (sklo, pálená hlína, tuf), jestliže se při rázu rozbijí. Absolutně tvrdá tělesa dělí dále na znělá, která při nárazu zvučí, jejichž části zůstávají pohromadě, ale atomy v nich vibrují, a dále neznělá, hluchá, která nezvučí a jejichž atomy se intenzivního pohybu nezúčastní. Zdůrazňuje, že při rázu nezáleží na velikosti těles, ale na jejich tíze (hmotnosti).

Vlastnosti pružného rázu dvou koulí Marci formuluje v podobě osmi jakýchsi tezí („porismat"):

1. *Narazí-li koule na stejnou nehybnou kouli, odrazí ji a zastaví se.*

2. *Narazí-li větší koule na menší nehybnou, odrazí ji a pokračuje v pohybu.*

3. *Narazí-li menší koule na větší nehybnou, přičemž její impuls převáží nad poměrem hmotností, odrazí ji a sama se odrazí nebo zůstane v klidu.*

4. *Narazí-li menší koule na větší nehybnou, přičemž poměr hmotností převáží nad jejím impulsem, zůstane větší koule v klidu a menší se odrazí.*

5. *Narazí-li na sebe v pohybu dvě stejně těžké koule, obě se odrazí.*

6. *Narazí-li větší koule v pohybu na menší, přičemž impuls menší koule převáží nad poměrem hmotností, obě se odrazí.*

7. *Narazí-li větší koule v pohybu na menší, přičemž poměr hmotností převáží nad impulsem menší koule, odrazí ji a pohybuje se dále.*

8. *Narazí-li větší koule v pohybu na menší, přičemž impuls menší koule vyrovnává poměr hmotností, menší se odrazí a větší zůstane stát.*

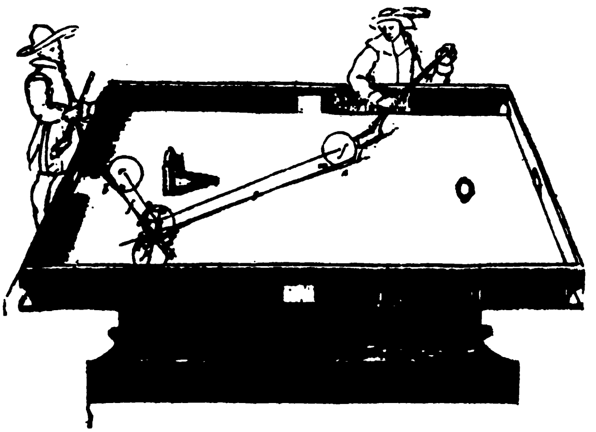
Případy, kdy obě koule jsou stejné (teze 1. a 5.), uvádí Marci správně a dodává, že koule si při nárazu vymění rychlosti. Zejména je fascinován situací, kdy jedna z koulí je v klidu, a druhá na ni může narazit sebevětší rychlostí, a přesto se zastaví.

Tyto Marciho teze bývají srovnávány s obdobnými větami, které publikoval Descartes ve svém díle „Principia philosophiae" o pět let později. Descartes se například domníval, že narazí-li pohybující se těleso na stejné nehybné, budou se obě tělesa po srážce pohybovat. Descartes ovšem nerozlišoval mezi srážkami pružnými a nepružnými, čímž úlohu beznadějně zkomplikoval.

Nepřesné jsou Marciho teze 3. a 4. — v obou případech nemůže žádná z koulí zůstat po srážce v klidu. Také Descartes se mylně domníval, že narazí-li lehčí koule na těžší nehybnou, nemůže ji uvést do pohybu. Pokud jde o Marciho teze 6., 7. a 8., jsou kvalitativně správné a je pouze třeba upřesnit vzájemné vztahy mezi hybnostmi koulí. Při $m_1 > m_2$ bude teze 6. platit za podmínky

$$m_2|v_2| > \frac{1}{2}(m_1 - m_2)|v_1|.$$

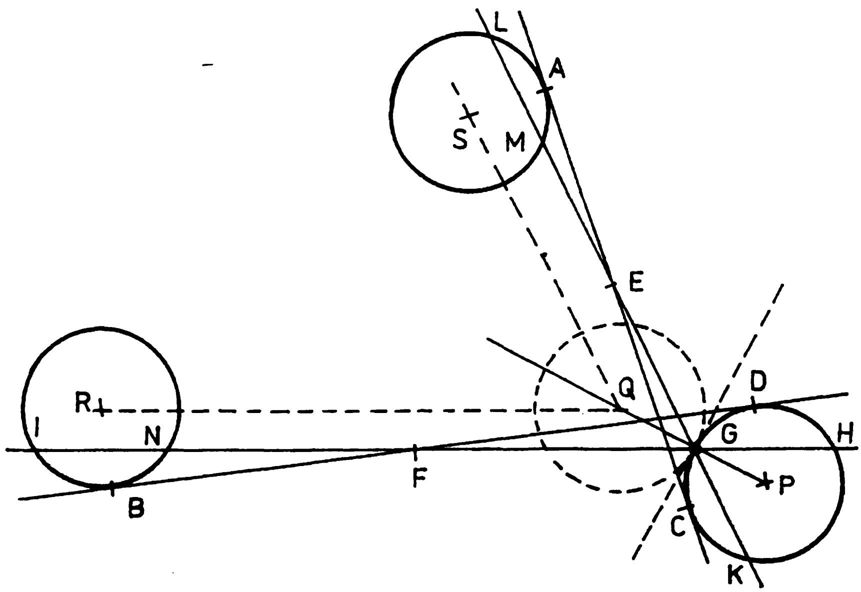
Teze 7. odpovídá obrácené nerovnosti, teze 8. rovnosti. Bude-li $|v_1| = |v_2|$, dostaneme pro případ 8. $m_1 = 3m_2$. Je zajímavé, že Huygens, který dostal tento výsledek ze zákonů zachování hybnosti a energie (ovšem až o 15 let později), vytýká Marcimu v dopise společnému známému A. Kinnerovi, že tento případ neodvodil a zůstal jen u kvalitativních tvrzení.



Věty 38.–40. se týkají šikmého rázu a Marci geometricky dokazuje rovnost úhlu dopadu a odrazu při nárazu na stěnu. Následuje „úloha o kulečníku“ doprovázená obrázkem, z Marciho knihy nejčastěji reprodukovaným. Kulečník, francouzský karambol, byl v tehdejší době stále ještě módní novinkou vyhrazenou dvorským a šlechtickým kruhům, jak svědčí i úbor zobrazených hráčů. Marci formuluje úlohu následovně:

Mějme tři koule v určitých vzdálenostech neležící v přímce. Máme určit bod na druhé kouli takový, aby první koule po odrazu v tomto bodě zasáhla kouli třetí.

Marci ale takto obecnou úlohu neřeší. Zanedbává totiž zpětný ráz druhé koule a zachází s ní, jako kdyby zůstala při srážce v klidu. To je ovšem zásadní zjednodušení a jde vlastně o odraz od upevněné koule.



Obr. 6.

Marciho postup je zřejmý z obr. 6. Především nachází společné tečny koulí a tečné body A, C a B, D. Délky těchto tečen půlí body E a F. Tím převádí úlohu na problém najít bod G na druhé kouli takový, aby bodová částice pohybující se z bodu E

a odrážející se v bodě G druhé koule podle zákona odrazu dospěla do bodu F. Potom Marci dokazuje (správně), že bod G bude hledaným bodem na (nehybné) druhé kouli.

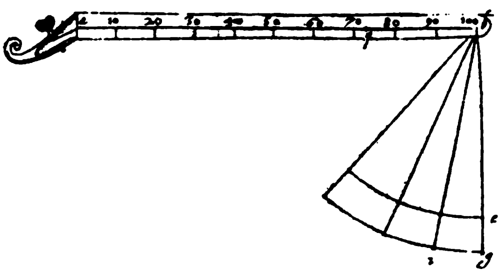
Jak ale najít bod odrazu G? To je historicky slavná Alhazenova úloha, kterou se fyzikové zabývali skoro po dva tisíce let. Jde o stanovení tzv. blyštícího se bodu na zakřiveném zrcadle, v němž se má odrazit světelný paprsek vycházející z daného bodu, aby po odrazu dorazil do oka pozorovatele. Alhazenovo řešení pocházející z 11. století je velmi komplikované a bylo publikováno v latinském překladu v Basileji až v roce 1572 (věta 39 knihy V.). O konstrukci Alhazenova bodu se pokoušel Leonardo da Vinci s vyčerpávajícím úsilím a nakonec zkonstruoval k tomuto účelu speciální kloubový mechanismus, který se zachoval ve sbírkách Neapolské univerzity. Úlohu nakonec vyřešil až Huygens v roce 1676. Marek Marci odbývá řešení jednoduchou větou: bod najdeme způsobem, který používají optikové. Zda Marek nějaký způsob řešení této úlohy znal, ovšem nevíme.

Další úlohou, kterou se Marci zabývá, jsou „žabky", mnohonásobný odraz kaménků na hladině vody. Kdy a na které vodní hladině kaménky házel, není známo, ale ve svých pracích se často odvolává i na různé dětské hry a zábavy. Marek se zamýšlí nad dvěma problémy: 1. Proč kamének vržený šikmo na hladinu vody sebevětší prudkostí měkkou vodu neprorazí a nepotopí se, 2. jak a v jakém poměru vzniká vodorovná složka impulsu při následných odrazech, když tíže působí svisle. Jeho výklad je dosti komplikovaný a je založen jen na zákonu odrazu. Podle Marciho si kámen na hladině vody vytváří jakýsi kulový důlek a na jeho stěnách se několikanásobně odráží.

Následující odstavec O odrazu při kruhovém pohybu je věnován pokusům s rázostrojem. Dvě stejné pružné, zřejmě dřevěné koule, které se vzájemně dotýkají, jsou zavěšeny v témž bodě na závěsech stejné nebo různé délky. Vychýlíme-li jednu z koulí a necháme narazit na druhou, můžeme studovat vlastnosti jak přímého, tak šikmého rázu. Narazí-li koule na delším závěsu na nehybnou volně visící kouli na kratším závěsu, předá jí pohyb, sama zvětší napětí závěsu a zůstane v klidu. Narazí-li naopak koule na kratším závěsu na nehybnou volně visící kouli na delším závěsu, předá jí pohyb a sama se odrazí.

V další stati pod názvem O pádu nestejně těžkých těles se Marci zabývá zásadní otázkou, jejíž řešení mělo rozhodující význam pro odmítnutí aristotelovské fyziky. Polemickým tónem obhajuje tvrzení, že všechna tělesa by padala ve vakuu touž rychlostí, i když „zdravý lidský rozum" nám říká, že kámen dopadne na zem dříve než peříčko puštěné ze stejné výšky. Uvádí příklad padajícího tělesa, které má v horní části prohlubeň a v ní volně ležící jiné, lehčí těleso. Ptá se, jak bude tato soustava padat, zda se lehčí těleso oddělí a bude při pádu zaostávat za tělesem těžším či zda budou obě tělesa padat společně. Všechna tělesa, říká Marci, padají pod vlivem tíhy týmž způsobem nebo v témž stupni, touž rychlostí, bez ohledu na svou tvrdost, tvar a tíhu. Pokud různě těžká tělesa padají různým způsobem, způsobuje to odpor prostředí, v němž se těleso pohybuje.

V závěru své knížky si Marci klade dvě praktické úlohy. Jedna z nich zní: Zkonstruovat zařízení k bezchybnému měření rychlosti a pomalosti tepu. Na obrázku vidíme roztomilé Marciho lékařské kyvadélko proměnné délky. Jeho závěs je veden otvorem na jednom konci vodorovného ramene a na druhém konci je navinut na krátké osičce. Délku závěsu a tím periodu kyvadla můžeme tedy měnit podobně, jako napínáme strunu na hudebním nástroji. Podél ramene je vyznačena stupnice, a synchronizujeme-li kyvy kyvadélka s tepem nemocného, ukáže nám poloha uzlíku na závěsu příslušnou frekvenci tepu.



Konečně poslední úloha žádá zkonstruovat kyvadlové hodiny, které by měřily čas s přesností jedné třetiny sekundy. Délku sekundového kyvadla je k tomu třeba zkrátit devětkrát. Marci uvádí, že takovou přesnost měření vyžadují astronomové a že Tycho Brahe mohl měřit čas s přesností nejvýše jedné sekundy. Zmínka o Brahovi není bez zajímavosti, neboť z jiných pramenů víme, že Marci měl k dispozici některé přístroje, s nimiž pracoval Tycho Brahe, a že je používal. Sama myšlenka použít k měření času kyvadlo byla v té době nová, uvažoval o ní Galilei a první kyvadlové hodiny sestrojil až o několik desetiletí později Huygens.

První kniha českého fyzika o mechanice spadá tak přímo do období, kdy se fyzika jako věda začíná formovat, a dokazuje, že i v tomto pro naši zemi obtížném historickém čase u nás působila vědecká osobnost plně na výši tehdejšího evropského myšlení. I když většinu mechanických poznatků uvedených v Marciho práci nelze považovat za původní a jeho způsob geometrického dokazování je často nepřesvědčivý, nelze mu upřít přínos v analýze rázu těles a neobdivovat jeho pokus o vytvoření logického systému mechaniky. Bohužel, jeho práce nenašly u nás následovníky a teprve v dalších stoletích začaly k nám pronikat Newtonovy myšlenky, z nichž mnohé Marci alespoň v matných obrysech vytušil.

L i t e r a t u r a

[1] *Jan Marek Marci 1595–1667. Život, dílo, doba.* Sborník přednášek k 400. výročí narození. ROSA Lanškroun 1995; *Ioannes Marcus Marci a Kronland 1595–1667*, ed. P. Svobodny, Praha Karolinum 1996; ŠTOLL I.: *Jan Marek Marci*, 1. sv. edice Velké postavy vědeckého nebe, Prometheus, Praha 1996.

[2] MAREK J.: Sborník pro dějiny přírodních věd a techniky *5* (1960), str. 210; *7* (1962), str. 62; *8* (1963), str. 5; *9* (1964), str. 71; Pokroky matematiky, fyziky a astronomie (1967), str. 356.

[3] Acta historiae rerum naturalium necnon technicarum 3, Prague 1967.

[4] ŠTOLL I.: *Jan Marek Marci v dějinách fyziky.* Historie matematiky II, (red. J. Bečvář, E. Fuchs), sborník z 2. semináře o historii matematiky (Jevíčko, srpen 1995), JČMF, Prometheus, Praha 1996.