



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra aplikované fyziky a techniky

Život a dílo Isaaca Newtona

Bakalářská práce

Autor: Lenka Maňásková, Bc.

Vedoucí práce: doc. RNDr. Josef Blažek, CSc.

České Budějovice 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě - v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 28. dubna 2016

Lenka Maňásková

Anotace

Práce je určena jako studijní text k předmětu Dějiny fyziky. Je členěna na čtyři části. V první části je stručně shrnut celý Newtonův život. V druhé části je přehled politické situace v Evropě a stav vědeckého poznání v Newtonově době. Je zde výčet významných vědeckých osobností. Třetí část přibližuje Newtonovu práci v oblasti matematiky, klasické mechaniky, optiky a astronomie. Je zde i zmínka o éteru. Část čtvrtá stručně popisuje dílo „*Matematické základy přírodní filozofie*“.

Abstract

The work is intended as a study text for the course History of Physics. It is divided into four parts. The first part is briefly summarized Newton's entire life. The second part is an overview of the political situation in Europe and the state of scientific knowledge in Newton's times. There is a list of prominent scientific personalities. The third part describes Newton's work in the field of mathematics, classical mechanics, optics and astronomy. There is also mention of ether. Part four briefly describes the work, "Mathematical Principles of Natural Philosophy".

Klíčová slova

Dějiny fyziky, Newton, Huygens, Descartes, Marci, fluxe, binomická věta, interpolační polynom, Newtonova metoda tečen, Newtonovy pohybové zákony, gravitační zákon, spektrum, zrcadlový dalekohled, éter, Principia

Keywords

History of physics, Newton, Huygens, Descartes, Marci, Flux, binomial theorem, polynomial interpolation, Newton's method of tangents, Newton's laws of motion, the law of universal gravitation, spectrum, reflecting telescope, ether, Principia

Touto formou děkuji vedoucímu mé bakalářské práce, doc. RNDr. Josefu Blažkovi, CSc., za trpělivost, cenné rady a za poskytnutí odborné literatury.

Děkuji své dceři Magdaleně za kresbu obrázků, Janě Adamovské za pravopisnou kontrolu, mému muži za technickou pomoc.

Zadání bakalářské práce

Život a dílo Isaaca Newtona

Lenka Maňásková
prezenční studium M-F

Práce je zamýšlena jako podpůrný studijní text k předmětu Dějiny fyziky. Očekává se, že na rozdíl od jiných podobně zaměřených prací se neomezí pouze na Newtonovu biografii a formální výčet jeho vědeckých výsledků, ale že na vybraných tématech bude podrobně demonstrovat, jak Newton své poznatky prezentoval a matematicky odvozoval. Doporučuji zaměřit pozornost především na Newtonovo stěžejní dílo „Matematické základy přírodní filozofie“. Vybraná témata (např. pohyb dělové koule či Měsíce v gravitačním poli Země, příliv a odliv, Newtonovo vědro aj.) budou zpracována ve formě prezentací k přednáškám, případně ve formě webovských stránek.

Návrh struktury práce:

I) Stav fyzikálního poznání v Newtonově době

Přežívající aristotelovská fyzika, rychlý rozvoj fyziky v 17. století (Galilei, Kepler, Descartes, Huygens, Hooke, Boyle, ...)

II) Newtonův životopis

Životopis, přátelé (Wren, Halley, Boyle) a „nepřátelé“ (Hooke, Leibniz), aktivity v oblasti alchymie a teologie, postupné prosazování Newtonova díla ve světě i v českých zemích (Tesánek)

III) Newtonovy stěžejní matematické a fyzikální objevy

Matematika (teorie řad, diferenciální a integrální počet), optika (zrcadlový dalekohled, rozklad světla, mechanika (gravitační zákon, pohybové zákony), hlavní díla („Matematické základy ...“, „Optika“); podrobné zpracování témat dle vlastního výběru

Doporučená literatura

Jako hlavní zdroj informací doporučuji především internet, např. <http://jirisoler.wz.cz/principia.html>, či wikipedii v různých jazykových verzích.

R. Zajac, J. Šebesta: Historické pramene současnej fyziky 1. Alfa 1990

I. Štoll: Dějiny fyziky. Prometheus 2009

V. Malíšek: Isaac Newton, zakladatel teoretické fyziky. Prometheus 2000

J. Kraus: Od Thaléta k Newtonovi. Academia 2007

P. Ackroyd: Newton, stručný životopis. Academia 2010

L. Nový, J. Smolka: Isaac Newton. Orbis 1969

C. Pask: Magnificent Principia: Exploring Isaac Newton's Masterpiece. Prometheus Books 2013

Doplňková literatura

I. Štěpánová: Newton – poslední mág starověku. Karolinum 2012

P. Fara: Newton, formování génia. BB/art 2004

R. Dugas: A History of Mechanics. Dover 2011

vedoucí: Doc. RNDr. Josef Blažek, CSc.

Obsah

Úvod	8
1. Život Isaaca Newtona	9
1.1 Dětství a mládí	9
1.2 Začínající student a vědec	11
1.3 První vědecké úspěchy	13
1.4 Lukasiánský profesor	15
1.5 Střední věk	15
1.6 Na výsluní	17
1.7 Mincmistr	18
1.8 Sir Isaac Newton	22
2. Politická situace v Evropě a významné osobnosti té dob	24
2.1 Anglie	24
2.1.1 Politická situace v Anglii	24
2.1.2 Royal Society for the Improvement of Natural Knowledge	26
2.1.3 Royal Greenwich Observatory	27
2.1.4 Vědecké osobnosti	28
2.2 Evropský kontinent	30
2.2.1 Politická situace na evropském kontinentu	30
2.2.2 Vědecké instituce	30
2.2.3 Vědecké osobnosti	31
2.2.4 Český vědec Jan Marek Marci	33
3. Newtonova vědecká činnost	35
3.1 Matematika	35
3.1.1 Newtonovy matematické dovednosti	35
3.1.2 Zobecnění binomické věty	36
3.1.3 Fluxe a fluenty	37
3.1.3.1 Výpočet fluxe	37
3.1.3.2 Spor s Leibnizem	38
3.1.3.3 Matematické symboly	39

3.1.4 Newtonův interpolační polynom	40
3.1.4.1 Zápis	40
3.1.4.2 Stručný důkaz	40
3.1.4.3 Poměrná diference	41
3.1.4.4 Praktické využití	41
3.1.5 Interpolace na ekvidistantní síti uzlů	43
3.1.6 Numerické řešení nelineárních rovnic Newtonovou metodou	45
3.1.6.1 Zápis	45
3.1.6.2 Praktické využití	47
3.2. Mechanika	49
3.2.1 Historie	49
3.2.2 Kartézské zákony pohybu	52
3.2.2.1 Mechanika Reného Descartese	52
3.2.2.2 Mechanika Christiaana Huygense	53
3.2.2.3 Mechanika Isaaca Newtona	57
3.3 Optika	62
3.3.1 Spektrum	62
3.3.2 Spor s Hookem	66
3.3.3 Lidské oko	66
3.3.4 Goethovy námitky	67
3.3.5 Paobraz	68
3.3.6 Synestézie = barevné vidění tónů	69
3.4 Éter	74
3.5 Astronomie	77
4. Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica	80
Závěr	84
Literatura	85
Internetové zdroje	86

Úvod

Cílem práce je vytvořit podpůrný studijní textu k předmětu *Dějiny fyziky*. Práce se neomezuje pouze na Newtonovu biografii a formální výčet jeho vědeckých výsledků, ale na vybraných tématech podrobně demonstuje, jak Newton své poznatky prezentoval a matematicky odvozoval.

Jako studijní literaturu lze doporučit studii Newtonova stěžejního díla „*Matematické základy přírodní filozofie*“, dále pak od R. Zajace „*Historické pramene súčasnej fyziky*“ a dílo V. Malíška „*Isaac Newton*“ aj. Vybraná témata budou zpracována ve formě prezentací k přednáškám.

Práce je členěna na čtyři části. V první části je stručně shrnut celý Newtonův život. V druhé části je přehled politické situace v Evropě a stav vědeckého poznání v období Newtonova života. Je zde výčet významných vědeckých osobností. Třetí část přibližuje Newtonovu práci v oblasti matematiky, klasické mechaniky, optiky a astronomie. Je zde i zmínka o éteru. Závěrečná čtvrtá část stručně popisuje dílo „*Matematické základy přírodní filozofie*“.

1. Život Isaaca Newtona

1.1 Dětství a mládí

Hannah Ayscoughová (? - 1679) na jaře roku 1642 uzavírá sňatek s Isaacem Newtonem (1606 - 1642), který tou dobou žil a hospodařil se svým otcem, též Isaacem, na statku u osady Woolsthorpe v panském domě Manor House o jednom patře. Šlo o samotu patřící k farní obci Colsterwoeth v hrabství Lincoln. Je to přibližně 170 km [2] severně od Londýna. Těžká práce na statku od rána do večera manželovi Hannah nesvědčila. Muž to byl vzdělaný, inteligentní, ale tělesně slabý. V říjnu téhož roku umírá a za pár týdnů odchází do nebe i jeho otec. Hannah zůstává na statku sama, téměř bez finančních prostředků [1].

Je neděle, první svátek vánoční, 25. prosinec¹ v ranních hodinách Hannah předčasně porodí slaboučkého chlapce. Nikdo tenkrát netuší, zda se dítě dožije večera. Podle matčinyh slov byl chlapec tak maličký, že by se vešel do mázového džbánu. Po týdnu, kdy je chlapec stále naživu, ho matka nechává pokřtít. Je to 1. ledna roku 1642². Při křtu mu dává jméno po otci a dědovi Isaac [1].



Obr. č. 1 Newtonův rodný dům v osadě Woolsthorpe.
Nakresleno podle zdroje [5].

¹ Datum podle juliánského kalendáře, podle gregoriánského kalendáře se Newton narodil 4. ledna 1643.

² Byl pokřtěn 1.1.1642 ve stejném roce, kdy se narodil. Důvodem je, že tou dobou v Anglii stéle platil juliánský kalendář, který se v době Newtonova narození zpožďoval za gregoriánským kalendářem o přibližně 10 dní a 4 minuty. V době Newtonova úmrtí bylo toto zpoždění 11 dní. Oba kalendáře se liší také datem Nového roku, juliánský kalendář mění rok až 25. března, kdežto gregoriánský 1. ledna. Juliánský kalendář platil do roku 1752, kdy byl nahrazen kalendářem gregoriánským [1].

Hannah se s pomocí své matky dobře stará o svého syna, ale nikoliv o statek. Na pomoc jí přichází její bratr, anglický duchovní Jakub Ayscough, který ji později seznámí se svým kolegou, reverendem Barnabasem Smithem (1582 - 1656). V roce 1646 se koná svatba a Hannah odjíždí na faru do blízkého North-Withamu [3]. Čtyřletý Isaac zůstává se svou babičkou Margery Ayscough na statku ve Woolsthorpu a hmotně je svou matkou podporován. Je to jen díky reverendovi, který má kromě svého platu duchovního též příjem z dědictví. Tento příjem převyšuje desetkrát výnos z Newtonova statku [1].

Toto odloučení od matky je pro malého Isaaca emocionálně náročné. Chlapec je mimořádně citlivý, teskní po své matce, v pěti letech je na pokraji duševního zhroucení a na hranici svých fyzických sil. Částečnou úlevu mu přináší nástup do venkovské školy v Skilingtonu, která je vzdálena od statku přibližně 4 km [2]. Je to rok 1649. Ve srovnání se svými spolužáky je nejen velmi malého věku, ale bývá i často nemocný a hlavně v ničem nevyniká. Spolužáci ho často bijí a posmívají se mu. Jednou při rvačce se silnějším spolužákem vložil do boje všechny své tělesné i duševní síly a zvítězil. Tato událost měla velký vliv na jeho následující život. Umínil si, že zejména ve vědomostech bude vždy vítězem. Sice nevyhledával kamarády, ale zabýval se zhotovováním nejrůznějších, mnohdy komplikovaných, mechanických hraček. Zhotovuje větrné a vodní mlýny. Sluneční hodiny s různým sklonem tyčky umísťuje na mnohá stavení. Tyto hodiny se zachovávají na domech více než sto let a budou stále velice přesné. Dále pak maluje obrazy a sám si je rámuje [1].

Jako dvanáctiletý pokračuje ve studiu na King Edward VI. Grammar School v městečku Grantham [3], vzdáleném přibližně 13 km od statku [2]. Tato škola je podobného založení jako současná gymnázia, poskytuje všeobecné vzdělání. Ubytován je v domácnosti velmi vzdělaného kamaráda svého zesnulého otce, lékárníka Clarka. Tento muž ho zasvěcuje do farmacie, chemie a alchymie. Isaac má volný přístup do jeho knihovny, kde si může prohloubit své znalosti, zejména matematiky. Postupně zjišťuje, že pouze školou naučené čtyři matematické operace a základní znalosti geometrie mu nestačí. Také se musí smířit s tím, že kvalitní knihy jsou psané v latině, kniha knih, tedy Bible je v hebrejštině, aramejštině a řečtině. Propadá mimoškolnímu vědění natolik, že zanedbává své každodenní povinnosti. Jeho prospěch je nevalný. Jak je psáno v knize Vladimíra Malíška: „*Je tu tedy žák nevelké postavičky a nevalných školních vědomostí, neváhající stejně jako ostatní vyrýt iniciály svého jména na lavici, což se tam ukazuje dodnes. Je to ale zároveň žák, s nímž se má o čem bavit sám ředitel, žák, který ač občas bit, přesto lpí na škole natolik, že je úplně nešťastný, když se má vrátit po návratu matky domů do Woolsthorpu*” [1].

V roce 1656 reverend Barnabas Smith umírá a Newtonova matka Hannah se musí vrátit společně s třemi dětmi na statek do Woolsthorpu. Vrací se s dcerami Mary, Hannah a synem Benjaminem. Isaac tento svůj návrat před dokončením střední školy nese velmi těžce. Přestože by mělo být v jeho osobním zájmu, aby se staral o svůj statek, je myšlenkami úplně někde jinde. Velice trvale a hluboce dokáže přemýšlet o nějakém problému, soustředí se natolik, že prakticky nevnímá vnější svět, spí minimálně, v běžném životě dělá chyby a to vše až do chvíle, než vyřeší daný problém. Nezajímá se ani o politiku, o dění ve své vlasti [1].

1.2 Začínající student a vědec

Když matka viděla, že Isaac mnohdy úplně nevědomky dělá na statku škody, šla na radu ke svému bratrovi Jakubovi. Ten rozhodl, že Isaac půjde studovat do Cambridge, na Trinity College (kolej Sv. Trojice), kde on sám také studoval a má zde ještě nějaké známé. Všichni se domnívají, že ho tam vědění přestane bavit, obzvláště tím, že nastupuje jako subsizar.³ Strýc ho narychlo připravuje na školu, musí si doplnit spoustu chybějících vědomostí. A tak Isaac Newton 5. června 1661 nastupuje na Trinity College v Cambridge [1].



Obr. č. 2 Trinity College v Cambridge. Zdroj [41].

³ Subsizar byl student, který nemusel platit školné, ale musel pomáhat v kuchyni, byl služebníkem při stolování bohatších spolužáků, dále vykonával pomocné práce na koleji, zvláště pak štípání dříví. [4]

Strýc mu k této příležitosti daroval knihu logiky. Během prázdnin ji Isaac prostudoval natolik, že logiku zvládl v prvním semestru lépe než přednášející a celkově si nadále v logice dobře vede. Dále jsou ceněny jeho znalosti latiny. Matematika je prý „chatrná“. To Newtona ale neodrazuje. Prostudovává si povinně Eukleidovy a nepovinně Archimédovy spisy, též tou dobou moderní Descartovy a Keplerovy práce. Nejvíce se mu líbí moderní kniha „*Arithmetica infinitorum*“ od oxfordského profesora Johna Wallise (1616 - 1677) a přednášky o dvanáct let staršího profesora Isaaca Barrowa (1630 - 1677) [1].

Během prázdnin roku 1661 osmnáctiletý hoch velice dospěl. Vyrostl ve středně vysokého muže s krásnými dlouhými vlasy. I když v budoucnosti, jeho zrak bude značně namáhán četbou, pozorováním v dalekohledu, pokusy ve tmě, zůstane až do své smrti bez brýlí. Svě vědomosti více a více zúročuje. V roce 1664 zobecnil binomickou větu v řadu pro libovolné exponenty, zde demonstroval výhodnost psaní mocnin a odmocnin pomocí lomených exponentů [5]. Tím získal vážnost na univerzitě a též stipendium. Rázem se ze subsizara stal scholarem neboli stipendistou [1].

To ho povzbudilo natolik, že si zakládá latinsky psaný vědecký deník nazvaný *Questions*. Do deníku si poznamenává slogan: „*Amicus Plato amicus Aristoteles magis amica veritas = Plato je můj přítel, Aristoteles je můj přítel, ale moje nejlepší kamarádka je pravda*“. Newtonova vědecká kariéra začala. Neučí se pouze z povinných učebnic, ale studuje moderní vědce, jako například Descartovu analytickou geometrii a dioptriku. Málo spí, protože po nocích pozoruje nebeské úkazy, zejména Měsíc a komety. Za tímto účelem většina jeho stipendia a do budoucna i množství peněz je investováno do koupě dalekohledů, mikroskopů, čoček, zrcadel, sextantů a kyvet [1].

14. ledna 1665 získal titul bakaláře svobodných umění⁴, ale na jaře téhož roku, kdy celou Anglii kráčí Velký mor a lidé se z velkých měst stěhují na vesnice, tak i chudý student Isaac Newton byl donucen přerušit svůj pobyt na univerzitě a udělat si skoro dvouleté prázdniny. Odjel do svého rodiště ve Woolsthorpe. Z jeho deníku je patrné, že během této doby vůbec nezahálel [6]: „*Na jaře roku 1665 jsem přišel na metodu aproximace řad a na pravidlo, jak upravit každou mocninu libovolného dvojčlenu na jednu takovou řadu. ...*

⁴ *Bachelor of art* v angličtině nebo *Bacalar in artibus* v latině.

Sedmero svobodných umění zahrnuje v triviu latinskou gramatiku, dialektiku neboli logiku a rétoriku, dále pak v kvadriviu aritmetiku, geometrii, astronomii a muziku, pod níž jsou zahrnuta různá umění.

V květnu téhož roku jsem přišel na metodu tangent. ... V listopadu na diferenciální počet a v lednu následujícího roku na teorii barev a v květnu jsem objevil postup vedoucí k inverznímu diferenciálnímu počtu; ještě téhož roku jsem začal uvažovat o tom, že se tíže vztahuje také na Měsíc... ” [1].

Z ukázky vyňaté z jeho deníku je patrné, že ve svém rodišti opravdu nezahálel. Toto období je jedno z neplodnějších období jeho života. Zformuloval zde také gravitační zákon. Uvědomil si vztah mezi dostředivou silou působící na tělesa konající kruhový pohyb a třetím Keplerovým zákonem se zjednodušenými předpoklady [8]. Tehdy došel k závěru, že těleso je přitahováno k centrálnímu tělesu silou nepřímo úměrnou druhé mocnině vzdálenosti obou těles, ale výsledek kontrolního výpočtu se jevil odlišný od výsledků pozorování. Gravitační zákon tedy odložil skoro o 20 let, až do doby, kdy se upřesnily data týkající se popisu tvaru a dráhy Země. Newton tento svůj objev zatím nepublikoval, stejně, jako výsledky z matematiky a optiky, ke kterým dospěl ve Woolsthorpe [1].

1.3 První vědecké úspěchy

Morové prázdniny končí a Newton se v roce 1667 vrací do Cambridge nikoliv jako bakalář, ale jako volený člen Trinity College. S sebou tehdy přinesl mnoho spisů. Například jeden z nich sepsaný 13. listopadu 1665 nesoucí název: „*Úvaha o fluxích a jejich aplikacích na problém tečen a křivosti čar*“. Další, který dokončil v říjnu následujícího roku „*Traktát o fluxích*“ a v listopadu „*Nový traktát o fluxích*“. Jeho kolega Isaac Barrow⁵ [9] (1630 - 1677) je velmi nadšen z jeho prací. Ačkoliv oba jsou rovnocenní členové Trinity College, Newton navštěvuje Barrowy přednášky a neváhá s ním o mnohých věcech diskutovat, ten zase na něho naléhá, aby vydal své traktáty o fluxích, ale Newton je zaneprázdněn prací na Dodatku k *Kinkhuysenově Algebře* a i samotnému Barrowi pomáhá s pracemi [7]: „*Lectiones geometricae*“ (1669) a „*Lectiones opticae*“ (1670) [1].

⁵ Isaac Barrow (1630 - 1677) byl anglický teolog a matematik. V roce 1655 za vlády protektora Cromwella raději odešel do ciziny a po znovuuvedení na trůn Stuartovců je roku 1660 ordinován jako duchovní a ustanoven profesorem řečtiny, roku 1662 matematiky a roku 1663 se stal prvním držitelem slavné Lucasovy stoličky. Isaac Barrow napsal výklad *Křesťanské Otčenáše, Desatera a svátostí*. Řada jeho slavných kázání byla tištěna ještě v 19. st. V letech 1669 a 1670 vyšlo jeho nejdůležitější matematické dílo „*Lectiones Opticae et Geometricae*“. Barrow se všiml ve spisech Francouze Pierre de Fermata [25] (1601 - 1665), že nad malým úsekem tečny u libovolné křivky lze sestavit pravoúhlý trojúhelník, jehož přeponou je tento úsek a odvěsnami rovnoběžky k osám souřadnic. Tento trojúhelník nazývá „diferenciálním“, protože délky obou odvěsen jsou rozdíly mezi souřadnicemi x a y koncových bodů původního úseku. Vypočte-li se jejich poměr a zanedbají vyšší mocniny těchto „velmi malých“ veličin, lze v každém bodě křivky vypočítat „úhlový koeficient“ tečny v tomto bodě. Tato myšlenka nás vede k derivaci. Barrow si byl vědom inverzního vztahu mezi integrací a diferenciací. Byl velice blízko k vyslovení základní teze. Posmrtně v roce 1683 byly zveřejněny jeho práce v díle: „*Lectiones mathematicae*“. V roce 1673 je Barrow jmenován mistrem Trinity College King Charles II [9].

V poslední zmíněné práci jsou v *Dodatku* zveřejněny i Newtonovy výsledky z optiky. „*Traktát o fluxích*“ zveřejněný v roce 1671 vyústí ve spor s vědcem Gottfriedem Wilhelmem von Leibnizem (1646 - 1716) o prvenství objevu diferenciálního a integrálního počtu (kalkulu). Jedná se o rok, kdy Newtonův iniciátor profesor Isaac Barrow na univerzitě už není a Newtona nemá kdo v daném sporu podržet. Po mnoha letech se vědci shodnou na tom, že oba na diferenciální a integrální počet přišli nezávisle a každý z nich použil trochu jinou metodu výpočtu, i když výsledky měli shodné [1].

16. března 1668 se na návrh profesora Isaaca Barrowa stal Newton starším členem Trinity College jako profesor matematiky a do ní zahrnovaných fyzikálních disciplín. O pár měsíců později 7. července, byl promován magistrem in artibus, což byl tehdy vrchol akademické dráhy na „nižší“ fakultě artistické. Titul doktor bylo možno získat pouze na fakultě lékařské, právnické a později i na filozofické [1].

Barrow je si plně vědom talentu mladého muže, jeho znalostí matematiky si cení více než svých, a tak 29. října 1669 [9] rezignuje na svou profesuru v Newtonův prospěch a raději přijímá pozici královského kaplana v Londýně. Druhým důvodem může být i to, že se jedná o čestnější a tedy i přibližně desetkrát lépe placené místo. Zde je nutno uvést, že Isaac Barrow velice ovlivnil Newtonův život. Přestože se oba sešli na univerzitě pouze na dva roky, toto setkání v budoucnu značně ovlivnilo Newtonovo vědecké myšlení. Z přednášek Isaaca Barrowa o optice Newton vycítil, že by se měly vykládat jiným způsobem. Místo plánovaných přednášek algebry a geografie přednášel studentům o optice ve svém pojetí a svým kolegům Kinkhuysenovi a Vareniovi pouze redigoval učebnice [1].



Obr. č. 3 Portrét Isaaca Barrowa.
Zdroj [9].

1.4 Lukasiánský profesor

V roce 1663 díky daru bohatého soukromníka Henryho Lucase [12] (1610 - 1663) vznikla na Trinity College lucasovská katedra matematiky, na níž se stal prvním profesorem Barrow a po něm Newton. Henry Lucas ve své poslední vůli odkázal univerzitě svou knihovnu o čtyřech tisících svazcích a zanechal instrukce pro nákup půdy, jejíž výnos 100 liber za rok měl sloužit jako plat pro nositele titulu „lukasiánský profesor“. Nebýt této katedry stal by se z Newtona farář nebo farmář, neboť jeho pobyt zde byl zatím pouze dočasný. Na Cambridge měly věhlas katedry teologie a filologie, nikoliv však matematika, jako tomu bylo na nejstarší anglické univerzitě v Oxfordu. Matematiku na Cambridge pozvedl až Barrow a do slávy ji přivedl Newton [1].

V budoucnu mezi mnohé držitele Lucasovy stoličky patřili [10] např. irský matematik, fyzik, politik a teolog George Gabriel Stokes [11] (1819 - 1903), britský fyzik a nositel Nobelovy ceny v oblasti kvantové fyziky Paul Adrien Maurice Dirac [11] (1902 - 1984), dále pak britský fyzik v oboru kosmologie a kvantové gravitace Stephen William Hawking (*1942). V současnosti je tento post považovaný za jednu z nejprestižnějších akademických funkcí na světě [1].

1.5 Střední věk

Období mezi roky 1667 až 1696, kdy je Isaac Newton převážně badatelem a z části i univerzitním učitelem, prožívá velmi skromně a navenek tak trochu jednotvárně. Nikdy necestoval mimo Anglii, prakticky neměl důvěrných přátel, ale nebyl škarohlíd, občas si zašel na partičku karet a jako muž šetrný zapisoval si do deníčku své výdaje za knihy, přístroje, ale i za prohry v kartách. Jeho plat v té době činil 100 až 150 liber. Když v roce 1669 nastoupí post lukasiánského profesora, získá tím dalších 100 liber. To mu umožní, že nemusí sdílet místnost s jiným kolegou, ale může si pronajmout vlastní. Ve svých volných chvílích, kterých moc nemá, se věnuje historii starověku, biblickým dějinám, také chemii a alchymii. V chemii se v té době rozeznávaly jen čtyři prvky a všechno ostatní se považovalo za jejich sloučeniny. Např. kovy měly být sloučeninami síry a rtuti, pokaždé v jiném poměru. Newton z neúspěšných pokusů pochopil, že alchymie a chemie není vůbec jednoznačná, jak si lidé myslí. Však on sám musel mnoho času věnovat obhajobám svých fyzikálních výsledků proti námitkám svých vědeckých kolegů a byl tím stejně znechucen jako v dětství nevyprovokovanými rvačkami od svých spolužáků [1], [7].

V Newtonovi se mísí povaha vědce a mnicha, nikdy se neožení a na sebe bude vždy velmi přísný, v jídle střdmý, materiálně šetrný, avšak velkoryse štědrý vůči potřebám jiných. Je štíhlým mužem s dlouhými vlasy, ve stáří krásně stříbrné barvy. V rozhovorech o běžných věcech je nezajímavý, jednoduchý a úsečný. Společenský život nenávidí. Ačkoliv málo spí a hodně pracuje, tak prakticky není nemocný. Jako učitel je ke studentům vlídný, ale náročný. Při přednáškách měl poloprázdné posluchárny z důvodu, že často přednášel o tom, na čem právě pracoval, což bylo pro studenty těžké k pochopení. Své přednášky si pečlivě zapisuje a na konci akademického roku je odevzdává do knihovny Trinity College [1].

V roce 1637 ve své práci „*La dioptrique*“ [8] popisuje sférickou vadu čočkových dalekohledů francouzský filozof, matematik a fyzik René Descartes [11] (1596 - 1650). Newton se pokusil tuto vadu odstranit. V roce 1668 vynalezl vlastní konstrukci zrcadlového dalekohledu. Tu o tři roky později ještě vylepšil a druhý exemplář svého vynálezu zaslal v roce 1671 Královské vědecké společnosti do Londýna, která ho 11. ledna 1672 zvolila za svého člena. Tou dobou patřili k Royal Society návrhář, astronom a velice slavný architekt Sir Christopher Wren [13] (1632 - 1723), kryptograf a matematik, který zavedl symbol ∞ pro nekonečno, John Wallis [14] (1616 - 1703), dále pak irský fyzik, přírodovědec, teolog a zároveň zakladatel moderní chemie Robert Boyle [11] (1627 - 1691) a jeho budoucí rival, přírodovědec širokého záběru Robert Hooke⁶ [11] (1635 - 1703) [1], [15].

6. února 1672 Newton publikuje svoji samostatnou práci „*Nová teorie světla a barev*“ v prvním vědeckém časopise světa *Philosophical Transactions*. V latinském překladu vyšel tento článek již za čtrnáct dní, 19. února v časopise *Acta Philosophia Societatis Regiae in Anglia*, vydávaném amsterodamským nakladatelstvím Heinrich a Theodor Boom. V téže roce dokončuje knihu „*Optical Lectures*“. Tato šedesátá a sedmdesátá léta 17. století Newton věnoval zejména bádání na poli matematiky a optiky, ale pro mnohé neshody s již zmíněným Robertem Hookem a Gottfriedem Leibnizem, toto pole opouští a věnuje se teoretické mechanice, která se stane základem dnešní klasické mechaniky [1].

⁶ Robert Hooke (1635 - 1703) se narodil na ostrově Weigt. Po studiích na Christ Church v Oxfordu se stal profesorem geometrie v Gresham College. Jeho vzdělání šlo daleko za rámec matematiky – studoval také astronomii, fyziku, chemii, paleontologii (fosílie) a částečně i architekturu. Od roku 1663 působil jako placený demonstrátor v londýnské Royal Society. Akademikům předváděl různé pokusy, dělal to dobře a rád. Získal tím bohaté zkušenosti z pracovních metod fyziky. Po velkém požáru v Londýně roku 1666 navrhl plány nových budov. Roku 1673 našel poměr mezi napětím a deformací pevných látek a tuto skutečnost dovedl do tvaru zákona, který nese jeho jméno [15], [33].

Velice těžce nese ztrátu svého kolegy a dobrodince reverenda Isaaca Barrowa, který na jaře roku 1677 náhle umírá ve věku 47 let na zápal plic. O dva roky později se bude muset Newton vyrovnat se smrtí své matky Hannah Smithové [1].

Ve stejném roce, kdy umírá Newtonovi matka, přichází na studia do Cambridge básník a budoucí státník Charles Montagu [16] (1661 - 1715), který bude později jmenován 1. lordem z Halifaxu. Tento mladý muž bude patřit na pětatřicet let do velmi malého okruhu Newtonových přátel a stejně jako Barrow zemře ve věku 55 na zápal plic a opět to bude velká rána pro Newtona [1].

1.6 Na výsluní

Rok 1682 je pozoruhodný úkazem komety, která se k Zemi vrací jednou za 75 až 76 let a je dobře viditelná pouhým okem. Polohu této komety, která později ponese název Halleyova, vypočítal za pomoci svých gravitačních zákonů Newton a Halley v roce 1705 z těchto údajů určil její periodu. Právě na popud Halleye Newton intenzivně pracuje na svém největším díle z oblasti dynamiky hmotného bodu a těles, hydrodynamiky a gravitačních zákonů. Toto dílo vyjde v Londýně v roce 1687 jako třídílná kniha nesoucí název „*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*”. Velkolepé dílo, které nemá ve světě obdoby. Tímto Newtonova sláva začne značně stoupat. Zároveň možná i celkovým vyčerpáním z práce nad daným dílem, jeho duševní síly ochabují, což se projevuje jeho podivínstvím. Příčinou mohou být i výpary rtuti, které snadno pronikají do nervové soustavy a poškozují ji. Rtuť [17], jak již dnes víme, je velice toxická a pro organismus nebezpečná. Je známo, že Isaac Newton s ní často prováděl pokusy. Ve světě se říká, že zešílel. Významným osobnostem, ale i svým přátelům rozesílal dopisy obsahující nesmysly a urážky. Vzápětí jejich obsah zase odvolával [1].

Newton se zabývá chemií a píše spis „*O povaze kyselin*”, hloubá v alchymistických předsudcích a pověrách, pokouší se vytavit kámen mudrců. Z mechaniky kapalin zjišťuje tvar povrchu rotujících kapalin. Vypočítal, že povrch rotující kapaliny musí mít tvar paraboloidu a rotací nádoby se rtutí získal parabolické zrcadlo, zobrazující bez otvorové vady. Podobně určuje tvar nebeských těles a Země, neboť tou dobou se vědci přou, zda Země je na pólech protažená jako citrón (většina Francouzů), nebo zploštělá jako pomeranč, jak tvrdil i Newton hlásící se ke straně pomerančové. Z výsledků rozsáhlých a drahých měření jak v polárních tak i rovníkových oblastech vyšlo najevo, že Země je opravdu zploštělá [1], [3].

Pečlivě studuje chronologii Bible a jeho práce bude vydána krátce po jeho smrti v roce 1728 pod názvem „*Chronology of Ancient Kingdoms amended*”. On sám je velice zbožný, ale kritický k anglikánské církvi, byť jeho rod patřil k předním zastáncům této církve. Uznává nad celým světem, tedy i nad sebou samým, nekonečného a jediného Boha. Krista považuje za dogma vnucené církví sv. Athanasie, neuznává tajemno a nepochopitelnost. Nevěří v zázraky, ty považuje za nedůstojné moudrého Boha. Král měl přání, aby se na univerzitě v Cambridge otevřela katedra katolické teologie. Všichni profesori s tím souhlasili, ale jediný Newton ne. Po jeho velice dlouhém a nekompromisním projevu byla veta s tímto úmyslem. Newton byl za tento čin svými kolegy zvolen do londýnského parlamentu, aby reprezentoval univerzitu v Cambridge [1], [3].

Nemocný a vyčerpaný Newton promluvil za dobu svého mandátu, který trval pouze rok, údajně jen jednou, prý když si přál kvůli průvanu zavřít okno [3]. Jeho přijetí do parlamentu bylo 15. ledna 1689 - téhož roku, kdy král Vilém III. Oranžský [23] (1650 - 1702) po slavné revoluci a vyhnání předchozího katolického krále a otce své ženy Jakuba II. Stuarta [23] (1633 - 1701) usedl na trůn. Newton byl pozván králem na večeři a královský dvorní malíř Godfrey Kneller (1646 - 1723) namaloval jeho mladistvý vzhled, byť Newtonovi bylo již 47 let. Budoucí rytíř časem namaloval ještě další tři Newtonovy portréty. Newton byl do parlamentu zvolen ještě jednou, a to v letech 1701 - 1705 [1].

1.7 Mincmistr

Zapomnětlivost či paměťový zkrat jsou v roce 1691 příčinou požáru v jeho pracovně, kde nechal na stole hořet svíčku a odešel. S požárem přišel o rukopisné výsledky svých výzkumů a ocitl se v podobně špatném psychickém rozložení jako ve svém předškolním věku, kdy jeho matka Hannah se odstěhovala za svým druhým mužem na faru do North-Withamu. Toto trauma trvá minimálně dva roky. Newton začíná více pečovat o své zdraví, více chodí na procházky a dokonce navštěvuje vyšší společnost, např. hrabství svého bývalého žáka, kancléře soudního dvora Charlese Montagua. Ten Newtonovi navrhl, aby přijal místo inspektora v londýnské mincovně, jež naléhavě potřebovala nejen pevnou, ale i poctivou ruku moudrého správce a znalce metalurgie. Tímto činem může pomoci vlasti více, než výchovou univerzitní mládeže. Newton také viděl ubohost učitelského povolání a po krátkém zaváhání souhlasil. Tento čin vedl k radikální změně jeho života [1], [3].

V březnu roku 1696 začíná pracovat v londýnském Toweru jako vysoký státní úředník, skoro s pětinasobným platem oproti dřívějšku. Výše jeho platu dosahuje 1.000 až 1.500 liber sterlinků. Tím se mu hmotné poměry zlepšily natolik, že se vzdal funkce lucasovského profesora v Cambridge. Ze skromného vědce nedbalého zevnějšku se stává majitelem domu, v kterém se vede společenský život a je nutné dbát na to, co se vysloví, byť se jedná i o formální maličkost. Tento dům spravuje na výbornou neteř, dcera sestry Anny, Kateřina Bartonová (1679 - 1740) a zejména díky ní se v domě schází londýnská elita. Montague s Newtonem mají podobné politické přesvědčení, jsou royalisté, zákon je nad krále a králům je třeba se vzepřít, zejména když chtějí v zemi obnovit katolicismus. Montague naváže hlubší přátelství s Newtonem i díky Kateřině, do které se zamiluje a časem ji pojme za ženu [1], [3].

Ve své nové profesi si Newton vedl výborně, v mincovně ho dokonce v roce 1697 navštívil sám car Petr Veliký [23] (1672 - 1725). Studoval hutnické spisy, aby mohl vyrobit nejvhodnější slitinu na mince. Je známo, že četl „*De re metallica libri XII*“, v překladu „*Dvanáct knih o hornictví a hutnictví*“, od Georga Agricoly⁷ (1494 - 1555) [18].



Obr. č. 4 Portrét Georga Agricoly a titulní strana „*De re metallica libri XII*“.
Zdroj [18].

⁷ Německý učenec Georg Bauer, známější spíše pod jménem Georgius Agricola (1494 - 1555), je autorem po stovky let užívané hornické příručky a často je nazýván otcem mineralogie. Studoval na univerzitě v Lipsku. Hodně cestoval a roku 1527 se stal městským lékařem a lékárníkem v Jáchymově. V roce 1530 přesídlil do Saské Kamenice (Chemnitz), kde byl po třech letech stanoven městským lékárníkem. Na krátkou dobu byl zvolen i starostou, ale z náboženských důvodů (byl katolíkem v protestantském městě) musel rezignovat. Jeho stěžejním dílem je dvanáct knih o hornictví „*De re metallica libri XII*“, které vyšly po jeho smrti v roce 1556. Obsahují popisy dolů, techniky větrání, odvodňování, ražby. Tyto knihy shrnuly soudobé znalosti i Agricolovy vlastní poznatky a na minimálně 200 let se staly nejužívanější příručkou pro dobývání rud a jejich hutního zpracování. Dalším dílem o antických mírách je: „*De mensurio et ponderibus*“, v té době míry nebyly ještě unifikovány. Dílem „*De precio metallorum et monetis*“ vede k merkantilismu (ekonomickému myšlení), neboť zde porovnává ceny kovů a mincí [18].

Protože necestoval, nechával si opatřovat zprávy o tom, jak se v Čechách dobývá stříbro a z řek těží zlatonosný písek. Brzy se jeho snaha zúročila. Nejenže byl Newton v roce 1699 jmenován zahraničním členem pařížské Akademie věd, ale hlavně byl jmenován velmistrem mincovny neboli mincmistrem (funkce na úrovni dnešního ministra financí). Došlo také tehdy k nápravě anglické mince a mnohý nepoctivec skončil ve vězení nebo na popravišti [1].

Tím, že opustil Lucasovu stolicí, opustil i aktivní vědecký výzkum, ale vždy velice překvapil, s jakou rychlostí řešil matematické problémy. Jednou přes noc vyřešil problém, s kterým soupeřili přední evropští matematici, o brachistochroně, tedy nalezení tvaru křivky, po které těleso projde z výše položeného bodu do níže položeného za nejkratší dobu. Jinak většinou na přímou žádost o radu nebo o pomoc při řešení problémů Newton odkazoval na mladší a podřízené spolupracovníky. Raději jen přihlížel nad vydáním svých prací. Nepřímo povzbuzoval své stoupence k vystupování proti svým odpůrcům, v matematice proti již zesnulému Leibnizovi a jeho žákům, v oblasti fyziky proti Descartovy a Huygensonovi. Nebylo to od Newtona zrovna moc fér, např. Leibniz [30] měl námitky proti filozofii Newtonova přítele Johna Locka, dokonce měl v úmyslu vydat je knižně, ale když Locke zemřel, Leibniz je nepublikoval [1].

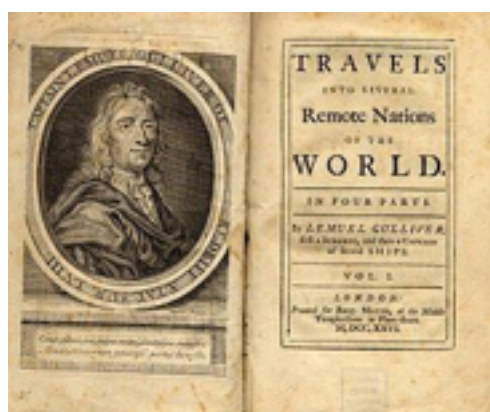
Dodejme k tomu jen text z časopisu *Naturwissenschaft und Politik...* vydaném v Mnichově v roce 1965, kde na straně 86 Joachim Fleckenstein píše: „*Newtonovy alchymistické rukopisy by naplnily asi 30-40% sebraných spisů. To je snad důvod, proč se Royal Society dodnes nerozhodla vydat “Collected Works of Sir Isaac Newton”. Až donedávna se věřilo, že Royal Society má zábrany vydat sebrané spisy z nacionálních prestižních důvodů. Newtonův charakter by z toho těžko vyšel bez poskvrny. Poznalo by se, že Newton hrál v prioritním sporu s Leibnizem potměšilou, zlomyslnou a smrtelně trapnou roli. Ale edice musí ukázat všechno. Tak by se musely publikovat i příkazy, které Newton dával svým spoluzakladatelům Royal Society, aby v pozadí jednali proti Leibnizovi*” [30].

Nechme již tuto kauzu stranou a věnujme se raději Newtonovi. Ten také experimentoval v oblast elektřiny a magnetismu. Ve třetím vydání knihy *Principia* odvozuje svůj vztah pro interakci magnetických dipólů, která je nepřímo úměrná třetí mocnině jejich vzdáleností, což je přibližně správně. Dále nahlédl do akustiky, kde vytvořil vztah pro rychlost zvuku ve vzduchu. Navrhl základní řady teplotní stupnice a vzorec pro chladnutí těles. S tím souvisí traktát z roku 1701 „*Scala graduum caloris = O škále teplot a chladu*” [1].

V řadě věcí se Newton opíral o své matematické koncepce, o nevyslovený atomismus, mechanickou interpretaci fyzikálních jevů. Vesmír vnímal jako ohromný a dokonalý hodinový stroj, který kdysi Bůh stvořil, natáhl a od té doby se řídí zákony mechaniky [1].

Kolem roku 1700 načrtl a teoreticky popsal zrcadlový sextant. Výkres předal Halleyovi, ale ten ho založil do šuplíku. Po Newtonově smrti v roce 1731 na popud jednoho londýnského mechanika, který Royal Society předložil identický návrh, jej ze šuplíku vyndal. Dnes nese přístroj název Hadleyův sextant [1].

Od roku 1703 až do své smrti je prezidentem Royal Society⁸. Post prezidenta ho motivuje, aby většinu svých prací posílal dál k tisku. Po smrti Roberta Hooka se na začátku 18. století opět vrací do oblasti optiky. V roce 1704 vydal knihu „*Opticks*“. Ostře napadl aristotelskou koncepci barev, které měly být tvořeny různými směsmi domnělého elementárního bílého světla a tmy. Přiklání se k atomistům a vytváří korpuskulární teorii světla, proudu jakýchsi elementárních světelných částic, které mají podle své barvy různý tvar a velikost. Byl sice odpůrcem vlnové teorie světla v podání Roberta Hooka a Christiaana Huygense, ale připustil možnost existence nevažitelného éteru, v němž korpuskule mohou vyvolávat světelné vlny. Je v tom jakási předtucha vlnově - korpuskulárního dualismu. Údivem stoupenců i odpůrců bylo, že Newton vypočetl periodu těchto jevů, tj. vlnovou délku světla. V roce 1711 vychází tiskem spis „O analýze užívající rovnic s nekonečně mnoha členy“, jenž koloval po Evropě v opisech od roku 1669. Newton, ale i Leibniz patří mezi matematické krále. Jednou Leibniz na dotaz pruské královny, co si má opravdu myslet o Newtonových zásluhách v matematice odpověděl: „*Sir Newton je autorem té lepší poloviny veškeré matematiky, která vznikla od počátku světa do dnešních dnů*“ [1].



Obr. č. 5 Gulliverovy cesty.
Zdroj [19].

⁸ V slavném fantastickém cestopisu Gulliverovy cesty anglikánský kněz Jonathan Swift (1667 - 1745) paroduje slavnou Royal Society vedenou právě Newtonem. V podtextu jsou satiricky zobrazeny a kritizovány poměry na anglickém královském dvoře v době panování Jiřího I., šarvátky anglických politických stran toryů a whigů i dlouholeté nepřátelství Angličanů a Francouzů [19].

1.8 Sir Isaac Newton

16. dubna 1705 se Newton stal prvním člověkem Anglie, který byl za vědecké zásluhy královnou Annou pasován na rytíře [7] a tím povýšen do šlechtického stavu. Od tohoto roku se podepisuje Sir Isaac Newton nebo Isaac Newton, Egues Auratus. Podle jeho samotných slov jeho kořeny zasahují do Skotska, kde sídlil šlechtický rod tohoto jména ještě za jeho života. Jeho prapředeek Sir John Newton se usadil na severu Anglie ve Westby, ale tou dobou se šlechtický titul předával pouze na nejstaršího syna a tím Newtonův dědeček nebyl [1].

V roce 1714 je Newton jmenován komisařem Dvorní společnosti pro určování zeměpisných délek na moři [1].

Hořce nese smrt přítele a manžela své neteře Kateřiny, Charlese Montaguea, té doby prvního hraběte z Halifaxu. Jeho neteř se o dva roky později provdá za jejich přítele Johna Conduittera (1688 - 1737), který v budoucnu bude zaznamenávat Newtonovu biografii a bude s ním bydlet pod jednou střechou. Newton miluje venkov, proto se na sklonku života stěhuje do domu ve vsi Kensington. V současnosti se jedná o Jermyn Street 87, nacházející se v nejprepychovější čtvrti Londýna mezi Holandským parkem a Hydeparkem. Newton si tohoto domu užije pouze na dva roky [1].

2. března 1727 naposledy předsedal Royal Society. V té době byl již vážně nemocen, minimálně pět let těžce trpěl dnou, ledvinovými i žlučnickovými kameny. Jeho nemoc se cestou z Kensingtonu do Londýna zhoršila. Za pár dní ulehl na lůžko a v pondělí v ranních hodinách 20. března 1727⁹ nemoci podlehl. [1].

Pohřeb [30] měl s velkolepými poctami. Jeho tělo předtím vystavené za svitu pochodní bylo nesen do Westminsterského opatství sledováno ohromným průvodem, v němž byli kancléř i ministři. Rakev byla uložena v katedrále Westminsterského opatství. Bylo to poprvé v dějinách Anglie, kdy tělo vědce spočinulo vedle králů v národním panteonu. Na náhrobku je výstižně vepsán výčet zásluh o vědu a lidstvo [1].

⁹ Podle gregoriánského kalendáře to bylo 31. března 1728.



Obr. č. 6 Portrét Isaaca Newtona nakreslený podle zdroje [5].

2. Politická situace v Evropě a významné osobnosti té dob

2.1 Anglie

2.1.1 Politická situace v Anglii

Krátce připomeňme, že v Anglii za vlády Tudorovců (od 13. st. až do roku 1603), zejména však za vlády Alžběty I., dochází k rozvoji hospodářství a kultury. Rozvíjí se podnikání, uskutečňují se objevitelské a kolonizační výpravy do zámoří, podporuje se i pirátství – Francis Drake. Na počátku novověku je Anglie málo zalidněná, tou dobou k ní patří i Irsko. Skotsko je samostatným královstvím. Obyvatelé se živí převážně zemědělstvím a výrobou sukna. Vznikají první manufaktury na výrobu sukna. Zvyšující se produkce sukna si žádá více vlny, tj. více ovcí a více půdy. Proto dochází v Anglii k ohrazování doprovázenému vykupováním pozemků od zadlužených majitelů půdy. Bezzemci se stávají levnou pracovní silou, stěhují se do měst a přibývá chudiny. Rozvoj obchodu a průmyslu vede v roce 1565 k založení burzy v Londýně. Anglie je první zemí, v níž dochází k prvotní akumulaci kapitálu, právě zde vznikají zárodky kapitalismu a tím i vymanění se ze závislosti na kontinentální Evropě [20].

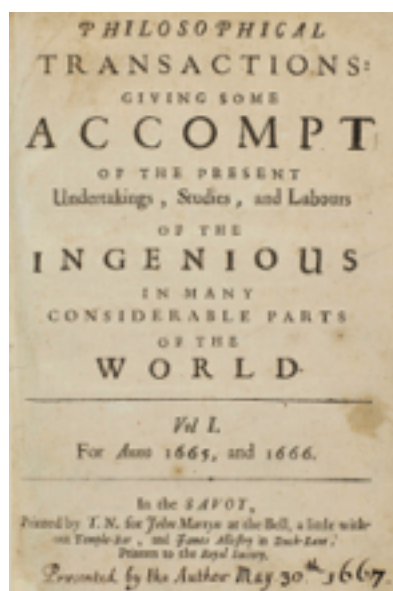
Alžběta I. je po celý svůj život svobodná („panenská královna“) a tudíž bez legitimních potomků. Když v roce 1603 umírá, nastupují na trůn Stuartovci, přesněji vládne Jakub I. (1603 – 1625). Po něm vládne zemi Karel I. (1625 – 1649), který usiluje o absolutismus, čímž dochází ke zhoršení vztahu mezi parlamentem a panovníkem. Karel I. se snaží získat co nejvíce finančních prostředků, vybírá daně bez souhlasu parlamentu a nutí bohaté, aby mu poskytli „nucené půjčky“. Toto chování parlament prohlásil za nezákonné [20].

Anglii již za Newtonova života, konkrétně v letech 1642 až 1651, otřásají tři občanské války. Král a Skotové byli poraženi, král Karel I. byl prohlášen za zrádce a viníka války a 30. ledna 1649 popraven. Byla zrušena sněmovna lordů, zrušena monarchie a v květnu 1649 vyhlášena republika, která vyústila roku 1651 ve vládu Olivera Cromwella. Kusý parlament v souvislosti s úplatkářstvím, sobectvím a odhlasováváním různých odměn ztrácí popularitu. Roku 1653 Cromwell parlament rozešel, což bylo přijato s všeobecným souhlasem. V Anglii je nastolena vojenská diktatura. Hlavní osobou je opět Cromwell, přezdívaný „*lord protektor*“. Jeho oporou je armáda (vládl spolu s generály), dále pak policie, byrokracie a výzvědná služba. Cromwell vládl v zájmu buržoazie. Roku 1651 vydal zákon zvaný navigační akta (zákon o plavbě), který nařizoval, že do Anglie smí dovážet zboží jen anglické lodě nebo lodě ze země, kde bylo zboží vyrobeno. Vše bylo záměrně namířeno proti Nizozemí [20].

1. září 1666 vypukl v Londýně v jednom pudingovém pekařství požár. Tento požár trval pět dní a shořel při něm prakticky střed celého Londýna, včetně slavné gotické katedrály sv. Pavla s přibližně 170 m vysokou věží. Tehdy zanikly památky nepředstavitelných kulturních hodnot. Zbylo jen Westminsterské opatství a normanský hrad Tower. K obnově města přispěli členové Royal Society Robert Hooke návrhem veřejné nemocnice a architekt Christopher Wren (1632 - 1723), který navrhl renesanční chrám sv. Pavla s řadou jiných chrámů a také budovu greenwichské observatoře [1].

2.1.2 Royal Society for the Improvement of Natural Knowledge

V Anglii byla v roce 1660 založena Královská společnost pro podporu věd - Royal Society for the Improvement of Natural Knowledge [21], která existuje dodnes. V roce 1662 získala podporu krále Karla II., který na její zřízení přispěl pouze svým podpisem. dnešní její patronkou je současná britská královna Alžběta II. Od roku 1965 byl členem společnosti Jaroslav Heyrovský. Společnost měla za cíl podporovat „fyzikálně – matematické experimentální učení“. Poznatky členů jsou od roku 1665 zveřejňovány v časopise *Philosophical Transactions*, který se tímto stal nejstarším nepřetržitě vydávaným vědeckým časopisem světa. Heslem společnosti jsou slova latinského básníka Horatia „*Na ničí slova nebudu přísahat*“. Zmíněný časopis byl pozoruhodný zejména v tom, že se nové poznatky dostaly ke čtenářům rychleji než dříve. Do té doby se vědecké poznatky šířily buď cestou korespondence, nebo v objemných knihách. Důležité objevy tak mohly být pro časové zpoždění jejich vydání již zastaralé [1].



Obr. č. 7 Titulní strana časopisu *Philosophical Transactions*
Zdroj [42].

V roce 1660 sice byla založena Královská vědecká společnost, ale když Newton v roce 1661 nastoupil na Trinity College v Cambridge, učí se stále zastaralá vědecká pojetí Aristotela, z kterých vycházeli křesťanští a islámští teologové a učenci [21].

2.1.3 Royal Greenwich Observator

10. srpna 1675 král Karel II. položil základní kámen Královské greenwichské observatoře a v létě následujícího roku už Royal Greenwich Observatory stála. V té době byl také zřízen úřad královského astronoma, aby řídil práci observatoře a podporu navigace. Byl určen pro astronomický vědecký výzkum vedený Johnem Flamsteedem (1646 - 1719), po němž získal jméno "Flamsteedův dům". Ten se později stal sídlem přesného měření času a Námořního úřadu Jejeho Veličenstva. Základem pro měření zeměpisné polohy byl nultý poledník, ustanovený roku 1851 a přijatý na mezinárodní konferenci roku 1884. Původně byla jeho poloha vyznačena na dvoře observatoře mosazným páskem, později páskem z nerezové oceli a od 16. prosince 1999 silným zeleným laserovým paprskem, osvětlujícím londýnské noční nebe. V současné době se v budově nachází muzeum astronomických a navigačních přístrojů. Mezi jinými je možno vidět ceněný lodní chronometr, který vynalezl anglický tesař a hodinář John Harrison (1693 - 1776). Tento chronometr byl přelomovým v dějinách námořní přepravy, neboť umožňoval bezpečnou plavbu na dlouhé vzdálenosti [22].

John Flamsteed (1646 - 1719) se stal ředitelem hvězdárny na přímlovu samotného Newtona, ten po něm na oplátku chtěl včasné předávání výsledků měření. Možná si Flamsteed myslel, že geniální Newton obratem ruky odvodí významné důsledky daných dat, ke kterým by mohl dospět časem i on sám, a proto si musel nejdříve vyslechnout nepříjemnou domluvu ze strany jen o čtyři roky staršího kolegy [1].

V této observatoři byl jedno období počítán Greenwichský hlavní (střední) čas, neboli Greenwich Mean Time - GMT, udávající čas v časovém pásmu základního poledníku, který je založen na rotaci Země. Později byl nahrazen časem založeným na atomových hodinách, které jsou na rotaci Země téměř nezávislé, pomineme-li vliv dilatace času a přestupné sekundy. Jedná se o souřadnicový čas nazývaný Coordinated Universal Time - UTC, který je základem občanského času, kdy jednotlivá časová pásma jsou definována svými odchylkami od UTC [22].



Obr. č. 8 Royal Greenwich Observator.
Zdroj [40].

2.1.4 Vědecké osobnosti

Novověká filozofie a věda se od středověké liší svým pojetím předmětu zkoumání – bytí, jsoucna. Pro Aristotela a středověké myslitele je jsoucno živé, může se měnit a pohybovat podle své přirozenosti z nějaké příčiny. Prvotní příčinou, prvotním „nehybným“ hybatelem je v křesťanské teologii Bůh. Novověk přestává zkoumat svět v celku, učenci vnímají jsoucno jako rozlehlý stroj nebo také jako hmotný objekt. Na začátku vědecké revoluce se tak rodí moderní věda. Svět jako stroj je možné ovládnout. A právě věda měla ukázat člověku cesty k ovládnutí přírody. Filozofie se štěpí na více oborů jako je matematika, chemie, optika, astronomie, medicína. Empirismus přinesl myšlenku ověřitelného vědeckého experimentu [31].

Zdokonalují se dalekohledy a mikroskopy, vyrábějí se různé měchy, čerpadla, ventily. Díky tomu více pokusů vedlo k překvapivým výsledkům a stará statická představa světa se tedy zhroutila. Do lidského podvědomí přichází nová moderní představa světa. Mezi významné zakladatele nového myšlenkového směru patří zakladatel empirismu a experimentální metody, anglický filozof Francis Bacon [21].

Francis Bacon (1561 – 1626) [11] vystudoval práva, zastával funkci lorda kancléře, byl nesmírně ctížádostivý a pracovitý. Poté co byl za brání úplatků zproštěn funkce, věnoval se pouze vědě. Rád pozoroval a ověřoval experimenty. Provedl základní rozdělení věd, uvědomoval si potřebu správné metody při stanovení cíle vědeckého bádání. V roce 1597 pronesl známou větu „*Scientia potestas est*“, neboli „*Vědění je moc*“. Upřednostňoval indukční metodu poznávání. Ve svém díle „*Novum Organum*“ napsal, že všechny znalosti k nám přicházejí prostřednictvím přírodních objektů, my máme schopnosti je interpretovat. V pravdivém a úplném poznání nám však brání idoly (rodu, jeskyně, trhu a divadla), což jsou omyly naší mysli, falešné představy. V knize *Nová Atlantis* z roku 1620 popisuje ideální společnost, ve které má rozhodující slovo věda a vládnoucí skupinou jsou vědci. Francis Bacon zdůrazňoval zkušenost (empirii) a pokus (experiment), naproti tomu francouzský filozof René Descartes (1596 – 1650) zdůrazňoval rozumové (racionální) poznání. Baconova filozofie je spojena s hospodářskými potřebami doby. Věda byla záležitostí nejen učenců, ale i podnikavých lidí, obchodníků, mořeplavců, majitelů manufaktur a státníků. Období od poloviny 17. století do poloviny 18. století se nazývá velké století vědy [21].

Mezi další významné vědce novověku patří **William Gilbert (1540 – 1603)** [11], lékař královny Alžběty I. a po její smrti i krále Jakuba I., považovaný za otce elektřiny a magnetismu. Studoval magnetismus a měl zájem ho využívat v lékařství, námořnictví a při výrobě kompasů. Zkoumal magnetickou přitažlivost a vysvětloval dráhy planet. V roce 1600 vydal knihu „*De Magnete, Magneticisque Corporibus et de Magno Magnete Tellure - O magnetu, magnetická tělesa a veliký magnet zemský*” [21].

William Harvey (1578 – 1657) [11] objevil princip krevního oběhu v lidském těle a v roce 1603 prohlásil, že „*krev bez přestání proudí a obíhá dokola, a to v důsledku tlukotu srdce...*” Bylo to úžasné pozorování, srdce vévodí tělu člověka. Se svojí publikací díla „*Anatomické pojednání o pohybu srdce a krve*”, podobně jako Isaac Newton u svých děl, otálel. Kniha vyšla po 25 letech a u mnohých lékařů se stala terčem posměchu. V tomto spisu zvrátil tvrzení starověkého lékaře Galéna (129 - ?), že krev je vedena v žilách střídavě tam a zpět. Harvey zjistil, že tento pohyb nedovolují chlopně, které v žilách jsou, takže krev je vedena pouze jedním směrem. Popsal, že krev je pumpována do celého těla a cévami se vrací zpět. Byl tedy člověkem, který jako první popsal správně funkci krevního oběhu. Byl zakladatelem embryologie. Po jeho smrti, ke své škodě, museli posměváčci přiznat, že měl pravdu [21].

Filozof **Thomas Hobbes (1588 – 1679)** [11] kromě svých vědeckých prací je také autorem díla „*Leviathan*“, v kterém popisuje přirozený stav lidstva jako válku všech proti všem. Dostává se do rozporu s pocitem sebezáchovy, s potřebou jistoty. Snaží se překonat pocit strachu, člověk se vědomě vzdá svých práv ve prospěch vládce, který mu něco dovolí a nějaká práva mu vrátí. Stát podle Hobbese vzniká jako tzv. společenská smlouva, jako dohoda mezi lidmi. Ovládní nemohou svůj souhlas odvolat (absolutismus). Tato smlouva váže jak vládce, tak ovládaného [21].

2.2 Evropský kontinent

2.2.1 Politická situace na evropském kontinentu

Jedním z charakteristik 17. st. je třicetiletá válka. Válka je vyvrcholením sporů mezi římskokatolickou církví a stoupenci reformace, především kalvinisty a luterány. Další příčinou války byl boj o politickou nadvládu v Evropě. Válka začala stavovským povstáním v Čechách. Její dění v Evropě ovlivňoval boj o moc mezi nizozemskými provinciemi a Španělskem (nizozemská revoluce). Vlastní mocenské zájmy hájila tak katolická Francie, která se z obavy z přílišné rozpínavosti Habsburků připojila k protestantům [24].

Vyvrcholením třicetileté války byl vpád Švédů do Čech a dobytí Prahy [26]. Před úplným dobytím ji zachránilo vystoupení akademické legie studentů i profesorů obou pražských vysokých škol v Karolinu i v Klementinu. Za svou statečnost Jan Marek Marci získal šlechtický přídomek z Kronlandu. Roku 1654 se stal osobním lékařem císaře Ferdinanda III. a v roce 1662 univerzitním rektorem. Vše je spečetěno uzavřením tzv. Vestfálského míru, který znamenal příklon k absolutismu a také striktní dodržování pravidla „*cuius regio, eius religio*“, „čí země, toho náboženství“. Ve většině zemí to znamenalo návrat ke katolickému náboženství. Úbytek obyvatelstva, v průměru o 30 % a mužů dokonce o 50 %, vedl k druhému nevolnictví. Tím byla zajištěna produktivní pracovní síla, byly opět vydávány příkazy omezující stěhování, které měly sedláky připoutat k půdě, přibývalo roboty [24].

Barokní doba je vymezena na jedné straně třicetiletou válkou a na druhé straně nástupem osvětské panovnice Marie Terezie na trůn (1740) [26].

2.2.2 Vědecké instituce

V roce 1530 založil ve Francii král František II. Královskou kolej nazývanou „*Kolej tří jazyků*“, protože se zde vyučovala řečtina, hebrejšтина a latina. Později přibýlo právo, matematika a medicína. V roce 1870 dostala název *Collège de France* a dodnes je nejprestižnější francouzskou vědeckou institucí, jejímž posláním je „*učit vědění, které právě vzniká*“, tedy spojit bádání a výuku. Jejím heslem je „*Docet omnia*“, neboli „*učím všemu*“. Collège de France pořádá pravidelné přednášky přístupné veřejnosti, nemá však žádné zapsané studenty, žádné studijní obory a neuděluje žádné tituly. Většina profesorů jsou Francouzi, dvě místa se obsazují hostujícími profesory. Když se nějaké místo uvolní, rozhodují profesori o tom, kdo na ně má být povolán. Profesura na Collège de France je ve Francii vrcholem vědecké kariéry [21].

Roku 1700 se Leibniz zasloužil o zřízení první německé společnosti věd v Prusku, která byla roku 1701 přejmenována na Královskou pruskou akademii věd (Königlich-Preußische Akademie der Wissenschaften) [31].

2.2.3 Vědecké osobnosti

Polský učenec **Mikuláš Koperník (1473 – 1543)** vydal v roce 1543 dílo „*Šest knih o obězích sfér nebeských*“, ve kterém tvrdí, že středem vesmíru je Slunce a kolem něho se otáčejí ostatní planety včetně Země. Naproti tomu šlechtic **Tycho Brahe (1546 – 1601)** tvrdí, že středem vesmíru je Země, kolem které obíhají Slunce s Měsícem. Všechny ostatní planety pak obíhají kolem Slunce. V roce 1572 objevil Tycho Brahe supernovu v souhvězdí Kasiopeji, jejíž zrod popsal ve spisku „*De nova stella - O nové hvězdě*“. Dánský král pro něho vybudoval laboratoř a observatoř na ostrově Hven, kde Brahe dvacet let pracoval. V roce 1599 byl pozván do Prahy a stal se císařským astrologem. Nechal postavit observatoř v Benátkách nad Jizerou. Je pochován v Praze. Pověsti o tom, že byl otráven, vyvrátili vědci v roce 2010 na základě průzkumu jeho pozůstatků [21].

Od začátku 17. století začíná být pozorování nebeských těles a celého vesmíru snazší díky dalekohledům, které se vyrábějí převážně v Nizozemí [21].

Johannes Kepler (1571 – 1630), německý matematik, astrolog a astronom, v letech 1600 až 1612 žil v Praze na dvoře Rudolfa II. Byl asistentem Tychona Braheho, po jeho smrti byl na habsburském dvoře matematikem a astrologem. Kepler, pocházející z chudé rodiny, byl prvním protestantským vědcem. Zjistil, že oběžné dráhy planet nevytváří kruhy, ale elipsy. V roce 1609 vychází jeho kniha „*Nová astronomie*“, ve které definuje první ze tří zákonů o oběhu planet [31].

Italský dominikán, filozof, spisovatel a astronom **Giordano Bruno (1548 – 1600)** tvrdil, že Slunce není středem vesmíru, ale pouze jednou z mnoha hvězd, že vesmír je nekonečný, existuje nekonečně mnoho sluncí s planetami, které mohou být i obydlené. Pro své názory byl vyhnán z Neapole, žil pak v mnoha městech, např. v Ženevě, v Paříži i v Londýně. Právě v Londýně sepsal v roce 1584 svoji stěžejní práci „*O nekonečnu, vesmíru a světech*“. V roce 1588 pobýval půl roku v Praze. Nakonec byl v roce 1591 vyzván k návratu do Itálie, do Benátek, ale rok po návratu ho jeden z jeho žáků udal. Byl zajat, vydán inkvizici a souzen v Římě. Protože odmítl odvolat svá tvrzení, byl 17. února 1600 upálen [21].

Italský profesor **Galileo Galilei (1564 – 1643)** byl rovněž obviněn z kacířství. Unikl však trestu upálení, protože před soudem své názory odvolal. Ve skutečnosti se jich však nevzdal. Jeho dílo podpořilo rozvoj experimentální fyziky i matematiky a položilo základy zákonů o pohybu. Do středu pozornosti se dostala otázka, zda vlastností hmoty je klid nebo pohyb [21].

René Descartes (1596 – 1650) byl francouzský filozof. Studoval v Paříži matematiku a filozofii. Účastnil se bojů během třicetileté války, poté se usadil v Holandsku. Konec života však strávil ve Švédsku, kde také zemřel. Dosavadní filozofii podrobil kritice, byl stoupencem dualismu – podle jeho učení existuje hmotná substance v podobě těla a duchovní substance v podobě vědomí. Podstatou filozofie je uvědomit si vlastní existenci. Je autorem výroku „*Cogito, ergo sum*“, „*Myslím, tedy jsem*“. Zatímco člověka vnímá dualisticky, zvířata ne, považuje je za živé stroje. Příroda je pak považována za složitý mechanismus. Descartes usuzoval z deduktivní metody, experimenty nepovažoval za nutné. Kritériem pravdivosti pak pro něho byla intuice, vlastní přesvědčení vědce, že má pravdu. Jeho základním dílem je „*Rozprava o metodě*“ z roku 1637. Descartova filozofie byla oproti Baconově filozofii více duchovní, avšak namířená proti zastaralým metodám myšlení [21].

Po Newtonovi byl druhým nejvýznamnějším fyzikem 17. století vědec nizozemského původu **Christiaan Huygens (1629 - 1695)**. Tento muž objevil prstence kolem Saturnu (teoreticky objasnil až Maxwell) a objevil jeho měsíc Titan. Dále se zabýval měřením času, vynalezl kyvadlové hodiny. Jedno z jeho děl týkajících se času je z roku 1673 – „*Horologium oscillatorium sive de motu pendularium*“. V optice zkoumal světlo a přišel s tím, že je tvořeno vlněním (Huygensův princip). Objevil odstředivou sílu a zákon o kolizích vesmírných těles. Měl vliv na vývoj moderního kalkulu a experimentoval v oblasti vnímání zvuku [21].

Zmíňme ještě **Gottfrieda Wilhelma von Leibnize (1646 - 1716)**, neboť sehrál v životě Newtona významnou roli. Byl to německý filozof, vědec, matematik, teolog a polyhistor. Spolu s René Descartem a Baruchem Spinozou byl jedním ze tří největších racionalistů 17. století a předchůdců moderní logiky a analytické filozofie. V sedmnácti letech získal bakalářský titul. Jeho práce nesla název „*De principio individuationis - O principu individuace*“. Poté studoval v Jeně, kde sepsal roku 1666 práci „*Dissertatio de arte combinatoria - Rozprava o umění kombinatoriky*“. Ve dvaceti letech se stal doktorem práv na univerzitě v Altdorfu. Nejdříve vykonával diplomatické a knihovnické služby. Navázal rovněž kontakt s ruským carem Petrem Velikým, kterému přednesl dalekosáhlé plány na podporu věd a na kulturní výměnu mezi národy. Snažil se o sjednocení křesťanských církví, ale tento pokus se nezdařil kvůli nesourodosti Francie a Německa [31].

Ve filozofii navazuje Leibniz na Reného Descarta, který předpokládal, že všechny přírodní jevy lze vyložit pojmy rozlehlosti a pohybu a že základem světa jsou dvě substance - materiální a duchovní. Leibniz tvrdí, že pohyb je něco čistě relativního. Závisí pouze na stanovisku pozorovatele, které těleso se jeví v pohybu a které ne. Descartovo pojetí substancí kritizuje ještě v druhém ohledu, z hlediska kontinuity a dělitelnosti. Matematický prostor je kontinuum a je nekonečně dělitelný. Kontinuum ve smyslu matematiky je ideální představa, nemá skutečné části. Skutečná látka není totožná s pouhou rozlehlostí. Skutečnost může sestávat jen z pravých částí a ty nemohou být libovolně dělitelné. Toto pojetí hmoty je velice podobné staré teorii atomů, jak ji vytvořili atomisté. Leibniz spojuje mechanický pojem atomu s aristotelovským pojmem entelechie, oduševňující a formující síly. Dospívá tak ke svému pojmu monády (dále nedělitelné částčky; jedinečná část bytí i nehmotná jednotka). Tento pojem si vypůjčil od Giordana Bruna [31].

2.2.4 Český vědec Jan Marek Marci

Jan Marcus Marci, česky Jan Marek Marci z Kronlandu (1595 - 1667) byl renesančním lékařem, fyzikem, matematikem a jedním z posledních českých polyhistorů. Marci r. 1625 obhájil na pražské univerzitě dizertační práci z oboru medicíny, věnovanou čtyřem závažným nervovým chorobám: epilepsii, závratí, mrtvici a obrně. V následujícím roce byl jmenován mimořádným, později řádným profesorem lékařství, stal se hlavním „fyzikem“ (dnes bychom řekli hygienikem) českého království [27], [28].

V roce 1635 vydal spis „*Idearum operatritium idea*“, v kterém rozvádí své názory na plození živých bytostí, embryogenezi, na rozdíly mezi předměty neživými, živočichy a člověkem. Skutečnost, že člověk, ač jako individuum smrtelné, má přesto od Boha propůjčenu nesmrtelnost ve svém nekonečně se opakujícím plození. Zamýšlel se nad otázkou dědičnosti, nad tím, jak po splnutí mužského a ženského semene (spermie nebyly ještě objeveny) splynou i jejich duše v jednu, která se stane součástí senzitivní duše matky. Přitom semeno musí již obsahovat ideu budoucího organického těla se všemi podrobnostmi (dnes bychom řekli genetickou informací) a vývojový program. Budoucí orgány musí existovat v semenu „in potestate“. „*Má semeno duši?*“ ptá se Marci a odpovídá na tuto otázku kladně [27], [28].

Ve své rozsáhlé práci se zabývá i dalšími problémy, například teorií paměti, kterou se snaží vysvětlovat jako radiaci podle zákonů optiky. Dnes hovoříme o „holografické paměti“. Marci je poplatný i novoplatonské mystice světla a vůbec fascinací fenoménem světla jako vyšší, takřka oduševnělé substance. Kromě toho je pro něho typické neustálé propojování poznatků z medicíny s fyzikou a filozofií, jeho pohled je vždy renezanční. Připomeňme ještě, že své dílo, inspirované zbožným údivem nad vznikem nové lidské bytosti začal Marci koncipovat začátkem r. 1631 v Českých Budějovicích, kam musel ze své lékařské funkce doprovázet vládní úřady, neboť Praha byla dočasně obsazena Sasy. Právě v té době jeho manželka čekala v Praze své první dítě a Marci na ně oba láskyplně myslel. Filozoficko-lékařské názory, které Marci ve své první velké práci publikoval, zejména učení o duši a plození, byly ovšem neortodoxní a narazily na oficiální jezuitskou kritiku, která za určitých okolností mohla být nebezpečná [27], [28].



Obr. č. 9 Jan Marek Marci.
Zdroj [44].

3. Newtonova vědecká činnost

3.1 Matematika

3.1.1 Newtonovy matematické dovednosti

Díky svému cestování Isaac Barrow seznámil Newtona s matematikou, vévodící evropskému kontinentu. Ve Francii již uzrála půda pro zavedení infinitesimálních metod do matematiky. Mezi přední matematiky patří Blaise Pascal a Pierre de Fermat¹⁰. Newton ve svých 23 letech pochopil a dovedl používat metodu výpočtu derivací algebraických funkcí, právě již zmíněného Fermata. Newton vytvořil z jednotlivých samostatných metod jiných autorů jednotný systém-kalkulus [30].

Isaac Barrow ovlivnil Newtona svým upřednostňováním syntetické geometrie, což se projevilo trvalým používáním geometrie a geometrických schémat i tam, kde se dnes používají vzorce. Příkladem je odvození plošné rychlosti, které je uvedeno v kapitole 3.1 *Mechanika* na str. 59 [30].

Newton studoval a popsal logaritmické i exponenciální řady, navrhl vzorce pro součty konečných úseků harmonické posloupnosti. Isaac Newton, jak je zmíněno u knihy *Principia*, často otálel s vydáním svých spisů. Např. „*Analýza nekonečných řad*“, sepsaná latinsky v roce 1669, byla vydána anglicky až v roce 1711. Podobně tomu bylo u „*Metody fluxí a nekonečné řady*“ sepsané latinsky v roce 1671, vydané anglicky roku 1736 [7].

V oblasti matematiky se Isaac Newton neodmyslitelně zapsal těmito po něm pojmenovanými pojmy [30]:

- Newtonův interpolační polynom,
- numerické řešení nelineárních rovnic Newtonovou metodou, také nazývané jako Newtonova metoda tečen.

¹⁰ Blaise Pascala (1623-1662) známe především z mechaniky tekutin. V roce 1642 sestrojil pro svého otce první mechanický kalkulátor, umožňující sčítání a odčítání, známý pod jménem *Pascalina*. Je tvůrce binomické věty, binomických koeficientů, které uspořádané do trojúhelníku tvoří nám známý Pascalův trojúhelník. Patří mezi zakladatele teorie pravděpodobnosti, zavedl tzv. charakteristický trojúhelník (Δx , Δy , Δz). Právník Pierre de Fermat (1601 - 1665) jej užíval také. Pomocí něho se konstruuje tečna ke křivce. Fermat napsal roku 1637 pojednání „*Methodus ad Disquirendam Maximam et Minimam - Metoda nalezení maxim a minim*“ [11].

3.1.2 Zobecnění binomické věty

Newton v roce 1664 [1] zobecnil binomickou větu v řadu do formy nekonečné mocninné řady, platné pro libovolné reálné exponenty. Jde o pravidlo, jak umocnit dvojčlen na libovolnou mocninu, která nemusí být nutně přirozeným číslem.

$$(1 + x)^s = \binom{s}{0} + \binom{s}{1}x + \binom{s}{2}x^2 + \binom{s}{3}x^3 + \dots \quad (1)$$

$$(1 + x)^s = 1 + sx + \frac{s(s-1)}{2!}x^2 + \frac{s(s-1)(s-2)}{3!}x^3 + \dots \quad (2)$$

Zde x a s jsou obecně reálná nebo dokonce komplexní čísla. Tyto nekonečné řady konvergují právě když $|x| < 1$.

Probereme některé speciální případy:

Pro $s = -1$ přejde řada (2) do geometrické řady:

$$\frac{1}{1+x} = 1 - x + x^2 - x^3 + \dots \quad (3)$$

Pro $x = -x^2$, $s = -1/2$ obdržíme:

$$\frac{1}{\sqrt{1-x^2}} = 1 + \frac{1}{2}x^2 + \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}x^4 + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}x^6 + \dots \quad (4)$$

Tato řada přejde po integraci v řadu pro $\arcsin x$. Dosadíme-li v integrované řadě za $x = 1/2$, dostaneme řadu, která konverguje k $\pi/6$. Pomocí tohoto rozvoje této řady Newton vypočetl v roce 1665 s přesností na deset desetinných míst *Ludolfovo číslo* [7].

3.1.3 Fluxe a fluenty

Jak již bylo zmíněno Isaac Newton o morových prázdninách vůbec nezahálel. V roce 1665 učinil velké objevy právě v matematice. 13. listopadu téhož roku vydal spis „*Úvaha o fluxích a jejich aplikacích na problém tečen a křivosti čar.*“ Newton analyticky zjišťoval tečny křivek a křivosti čar. Ve svých výpočtech nutně potřeboval nekonečně malé, ale nenulové rozměry i čísla. Tak přichází s fluxí a fluentem¹¹ [1].

3.1.3.1 Výpočet fluxe

V této kapitole si ukážeme výpočet fluxe na funkci $f(x) = cx^n$, $n \in \mathbb{N}$, $o \neq 0$ [30]:

$$\begin{aligned} \frac{f(x+o) - f(x)}{o} &= c \cdot \frac{(x+o)^n - x^n}{o} = c \cdot \frac{\left[x^n + \binom{n}{1} x^{n-1} o + \binom{n}{2} x^{n-2} o^2 + \dots + o^n \right] - x^n}{o} = \\ &= c \cdot \frac{o \cdot \left[nx^{n-1} + \binom{n}{2} x^{n-2} o + \dots + o^{n-1} \right]}{o} = c \cdot \left[nx^{n-1} + \binom{n}{2} x^{n-2} o + \dots + o^{n-1} \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Nyní položíme $o = 0$:

$$j^{\&}(cx^n) = cnx^{n-1}. \quad (6)$$

Tímto způsobem určíme fluxe polynomu jako lineární kombinace mocnin i s obecnou mocninou a s pomocí binomického rozvoje [30].

Dosadíme do rovnice (1) pro $a = 1$ s předpokládáme $x \neq 0$:

$$(1+x)^n = 1 + n \cdot x + \frac{n \cdot (n-1)}{2!} \cdot x^2 + \frac{n \cdot (n-1) \cdot (n-2)}{3!} \cdot x^3 + \dots \quad (7)$$

Na pravé straně máme nekonečnou řadu a chceme zjistit zda tato řada konverguje. Pak jako předtím dostaneme [30]:

$$\begin{aligned} \frac{f(x+o) - f(x)}{o} &= cx^n \cdot \frac{\left(1 + \frac{o}{x}\right)^n - 1}{o} = cx^n \cdot \frac{\left[1 + n \cdot \left(\frac{o}{x}\right) + \binom{n}{2} \left(\frac{o}{x}\right)^2 + \dots + \left(\frac{o}{x}\right)^n\right] - 1}{o} = \\ &= cx^n \cdot \frac{n \left(\frac{o}{x}\right) + \binom{n}{2} \left(\frac{o}{x}\right)^2 + \dots + \left(\frac{o}{x}\right)^n}{o} = cx^n n \frac{o}{x \cdot o} [1 + o(\dots)] \Rightarrow cnx^{n-1}. \end{aligned} \quad (8)$$

¹¹ Fluxe je derivace fluenty, která je tak primitivní funkcí k fluxi.
Fluent = plynoucí (v čase), tedy funkce času $f(t)$.

Problém je v tom, že k tomu, abychom takto upravili levou stranu, musíme předpokládat, že $o \neq 0$, ale když dostaneme rovnici (9) naopak předpokládáme, že $o = 0$ [30]:

$$\frac{f(x+o) - f(x)}{o} = f'(x) + o(\dots). \quad (9)$$

Napřed o veličině o předpokládáme, že je nenulová, pracujeme s ní. Teprve když získáme vhodný výraz, řekneme, že je nulová. To je z hlediska logiky nepřijatelné, proto se fluxe stala terčem velké kritiky. O 150 let později tento problém vyřešila limita, která je definicí derivace funkce f v bodě x . Funkci f můžeme označit např. $Df(x)$. Nadeřinovali jsme novou funkci f' . Symbolem D jsme vyjádřili přiřazení $f \rightarrow f'$. O symbolu D dále můžeme říci, že je operátorem derivací. Rovnost $Df(x) = f'$ nás vede k získání „opačné“ neboli inverzní funkce. K funkci g chceme najít takovou funkci G , pro kterou platí, že $DG = g$, nebo $G = D^{-1}g$. Funkci G se nejčastěji říká primitivní funkce nebo také neurčitý integrál (v ang. *antiderivative*). Isaac Newton tuto funkci nazval **fluente** a v jeho symbolice by byla zapsaná: $O^{\&}=g$ [30].

3.1.3.2 Spor s Leibnizem

Za vznikem systému fluxí nestál jenom Isaac Newton, ale také Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716). Německý diplomat, matematik a filozof, zabývající se podobnými matematickými problémy jako Newton, vytvořil svoji verzi infinitesimálního počtu. Tuto verzi zveřejnil v roce 1684, o tři roky dříve, nežli vyšla *Principia*. Fakta o tom, kdo z obou pánů dříve přišel na kalkulus, nejsou úplně jednoznačná. Newton měl řadu výsledků hotových z období morové epidemie, což mohl dokázat svým deníkem a svými spisy, kterými se nijak netajil. Leibniz, jakožto diplomat, navštívil na svých cestách Londýn. Nevynechal ani Royal Society, jejímž členem byl od roku 1671 Newton. Je doloženo, že Leibniz se důkladně seznámil s Newtonovými rukopisnými poznámkami (stať *De Analysi per Equationes Numero Terminorum Infinitas* ze spisu „*De Quadratura Curvatorum*“ vydaného v roce 1704). Je pravdou, že teorie obou vědců se od sebe liší. Oba dva popisují stejné jevy a mají stejné výsledky, ale metodika práce vykazuje podstatné rozdíly [1], [7].

Stoupenci obou táborů vedli vášnivé spory i po smrti obou hlavních aktérů. Ale ještě za jejich života v roce 1711 měla nezávislá komise posoudit daný spor. Problematické ale je, že danou komisi jmenoval prezident Royal Society sir Isaac Newton. Komise tehdy rozhodla v Newtonův prospěch. Nutno dodat, že v polovině 19. století se našly v Leibnizově pozůstalosti výpisky z Newtonových rukopisných poznámek [7].

Dnes, s odstupem času, se můžeme domnívat, že teorii o fluxích vymysleli oba velcí vědátři nezávisle na sobě. Leibniz sice nahlédl do Newtonových rukopisných poznámek a mohl je porovnat se svými závěry, ale musel mít jasno v základní struktuře svého postupu, který je v metodice značně odlišný od Newtona. O plagiátorství ze strany Leibnize se tedy nedá hovořit. Infinitesimálního počet byl velkým mezníkem v oblasti matematiky [7].

3.1.3.3 Matematické symboly

Na Leibnizovy práce navázali Bernoulliové, švýcarský matematik a fyzik Leonhardo Paul Euler (1707 - 1783) a další evropští budovatelé infinitesimálního počtu a vytvořili matematickou analýzu, jak ji známe dnes. Naproti tomu Newtonovo pojetí ustrnulo a v Anglii vznikly nové práce z analýzy až po převzetí kontinentální symboliky a metod. V 19. století se plně prosazovala snaha matematiků přijmout Leibnizovy pojmy pro diferenciální a integrální počet z lat. *calculus differentialis et integralis* a podpořit psaní jeho symboliky. Např. derivací dx/dy , místo nekonečně malé veličiny „ o “. Newton byl orientován fyzikálně, derivaci (fluxi) vnímal jako rychlost změny. Leibnizův symbol integrálu $\int$ se původně psal velkým písmenem S jako „suma“. Za zvláštní tvar vděčíme Henrymu Oldenburgovi (1619 - 1677), Newtonovu pomocníkovi a sekretáři Royal Society, který připravoval do tisku publikace, S psal svým typickým, protáhlým a úzkým rukopisem. Podle Newtona značíme první derivaci funkce f podle času s jednou tečkou (u jiných nezávisle proměnných se tečka neuvádí), tj. $\dot{f}$, a podle Josepha Louise Lagrange (1736 - 1813) symbolem f' [7], [30].

3.1.4 Newtonův interpolační polynom

První tři části této kapitoly (3.1.4.1 - 3) a tabulka č.1 jsou psané podle zdroje [32].

3.1.4.1 Zápis

Interpolační polynom $N_n(x)$ určený body (x_i, f_i) , pro $i = 0, 1, \dots, n$ můžeme zapsat ve tvaru:

$$N_n(x) = f_0 + f[x_0, x_1](x - x_0) + \dots + f[x_0, \dots, x_n](x - x_0) \dots (x - x_{n-1}) \quad (10)$$

Nebo ve tvaru, kde a_i jsou neznámé koeficienty:

$$N_n(x) = a_0 + a_1(x - x_0) + a_2(x - x_0)(x - x_1) + \dots + a_n(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{n-1}) \quad (11)$$

Možný je i úspornější zápis:

$$\omega_{n+1}(x) = \prod_{i=0}^n (x - x_i) = (x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_n) \quad (12)$$

3.1.4.2 Stručný důkaz

Mějme interpolační polynom $N_j(x)$ určený body (x_i, y_i) , pro $i = 0, 1, \dots, j, j \leq n$:

$$N_n(x) = N_0(x) + N_1(x) - N_0(x) + N_2(x) - N_1(x) + \dots + N_n(x) - N_{n-1}(x) \quad (13)$$

Proveďme rozdíl:

$$\begin{aligned} N_j(x) - N_{j-1}(x) &= \sum_{i=0}^j \frac{y_i \omega_{j+1}(x)}{(x - x_i) \omega'_{j+1}(x_i)} - \sum_{i=0}^j \frac{y_i \omega_j(x)}{(x - x_i) \omega'_j(x_i)} = \dots \\ &\dots = \omega_j(x) \sum_{i=0}^j \frac{y_i}{\omega'_{j+1}(x_i)} = \omega_j(x) f[x_0, \dots, x_j]. \end{aligned} \quad (14)$$

Každý rozdíl $N_j(x) - N_{j-1}(x)$ pro $j = 0, 1, \dots, n$ lze vyjádřit pomocí difference:

$$N_j(x) - N_{j-1}(x) = (x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{n-1}) f[x_0, \dots, x_j] \quad (15)$$

Z poslední rovnice (15) a z rovnice (13) plyne, že Newtonův interpolační polynom lze psát ve tvaru (10).

3.1.4.3 Poměrná difference

Poměrná difference prvního řádu:
$$f(x_i, x_{i+1}) = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \quad (16)$$

Poměrná difference k -tého řádu definovaná rekurentním vzorcem:

$$f(x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+k}) = \frac{f(x_{i+1}, \dots, x_{i+k}) - f(x_i, \dots, x_{i+k-1})}{x_{i+1} - x_i} \quad (17)$$

3.1.4.4 Praktické využití

a) výpočet

Používáme-li k výpočtu poměrných diferencí rekurentní vztah, je výhodné, vše si uspořádat do tabulky:

Tabulka 1 - schéma výpočtu poměrných diferencí

$x_i \ y_i$	$f[x_i, x_{k+1}]$	$f[x_i, x_{k+1}, x_{k+2}]$	...
$x_0 \ y_0$			
	$>$	$f[x_0, x_1]$	
$x_1 \ y_1$		$>$	$f[x_0, x_1, x_2]$
	$>$	$f[x_1, x_2]$	
$x_2 \ y_2$			$> \dots f[x_0, \dots, x_n]$
...		$>$	$f[x_{n-2}, x_{n-1}, x_n]$
	$>$	$f[x_{n-1}, x_n]$	
$x_n \ y_n$			

Newtonův interpolační polynom je vhodný pro praktické účely. Např. máme danu tabulku naměřených vstupních x_i a výstupních y_i hodnot - viz tabulka č.2. Chceme z dat vytvořit polynom, abychom mohli dopočítat chybějící data s nějakou nepřesností nebo zjistit průběh funkce, nabývání maxim a minim, atd.

Tabulka 2 - naměřených hodnot

x_i	-3	0	1	2
y_i	-13	2	3	12

Tabulka 3 - příklad výpočtu poměrných diferencí

x_i	y_i	$f[x_i, x_{k+1}]$	$f[x_i, x_{k+1}, x_{k+2}]$	...
-3	-13			
		$\frac{2 - (-13)}{0 - (-3)} = 5$		
0	2		$\frac{1 - 5}{1 - (-3)} = -1$	
		$\frac{3 - 2}{1 - 0} = 1$		$\frac{4 - (-1)}{2 - (-3)} = 1$
1	3		$\frac{9 - 1}{2 - (-3)} = 4$	
		$\frac{12 - 3}{2 - 1} = 9$		
2	12			

Newtonův interpolační polynom třetího stupně bude vypadat následovně:

$$N_3(x) = y_0 + a_1 \cdot (x - x_0) + a_2 \cdot (x - x_0) \cdot (x - x_1) + a_3 \cdot (x - x_0) \cdot (x - x_1) \cdot (x - x_2) = \quad (18)$$

$$= -13 + 5 \cdot (x - (-3)) + (-1) \cdot (x - (-3)) \cdot (x - 0) + 1 \cdot (x - (-3)) \cdot (x - 0) \cdot (x - 1) = x^3 + x^2 - x + 2$$

Z naměřených dat jsme vypočetli Newtonovou metodou interpolační polynom ve tvaru:

$$N_3(x) = x^3 + x^2 - x + 2 \quad (19)$$

b) chyba polynomiální interpolace [32]

Otázkou je, s jakou přesností aproximuje Newtonův interpolační polynom N_n danou funkci v bodech různých od bodů x_i , pro $i = 0, \dots, n$. Zformulujeme tvrzení o vztahu mezi poměrnou diferencí n -tého řádu a hodnotou n -té derivace v bodě $\xi \in (x_0, x_n)$. Z věty o střední hodnotě vyplyne pro $\xi \in (a, b)$:

$$f^{(n)}(\xi) = \frac{f(b) - f(a)}{b - a} \quad (20)$$

Předpokládejme, že $f(x) \in C^n[a, b]$, x_i , pro $i = 0, \dots, n$ jsou navzájem různá čísla ležící v intervalu $[a, b]$. Pak existuje $\xi \in (a, b)$ takové, že:

$$f^{(n)}(\xi) = n! f[x_0, \dots, x_n] \quad (21)$$

Důkaz zde provádět nebudeme.

Poznámka [32]:

Jestliže lze najít pro $(n+1)$ -ní derivace funkce f odhad $f^{(n+1)}(\xi) \leq M_{n+1}$ pro všechna $x \in \langle a, b \rangle$, kde M_{n+1} je maximum z $(n+1)$ -ní derivace, pak chybu $Ex^\sim$ aproximujeme ohraničením shora a bude pro ni platit:

$$|Ex^\sim| \leq \frac{M_{n+1}}{(n+1)!} |(x - x_0) \cdot (x - x_1) \cdot \dots \cdot (x - x_{n-1})| \quad (22)$$

3.1.5 Interpolace na ekvidistantní síti uzlů

Předpokládáme, že body $x_0, \dots, x_n$ jsou ekvidistantní, tj. existuje $h \neq 0$ pro které platí [32]:

$$x_i = x_0 + i h, \quad (23)$$

číslo h nazveme *krokem*. Jestliže uzlové body mají tuto vlastnost, využijeme je k výpočtu koeficientů Newtonova interpolačního polynomu (obyčejné difference).

Obyčejná difference k -tého řádu na množině bodů (x_i, f_i) , pro $i = 0, \dots, n$ definovaná rekurentně vzorcem:

$$\Delta f_i = f_{i+1} - f_i, \quad i = 0, \dots, n-1 \quad (24)$$

$$\Delta^k f_i = \Delta^{k-1} f_{i+1} - \Delta^{k-1} f_i. \quad (25)$$

Na ekvivalentní množině uzlů je možné difference nahradit obyčejnými diferencemi.

Platí mezi nimi věta :

Na ekvidistantní množině uzlů (x_i, f_i) , pro $i = 0, \dots, n$ platí:

$$f[x_0, \dots, x_n] = \frac{\Delta^n f_0}{n! h^n}. \quad (26)$$

Důkaz se provádí pomocí matematické indukce.

Nyní dosadíme do vztahu (23) rozdíl $x - x_i$ a získáme tvar (27):

$$x - x_i = x_0 + s h - (x_0 + i h) = (s - i) h . \quad (27)$$

Newtonův interpolační polynom bude mít tvar:

$$\begin{aligned} P_n(x) = P_n(x_0 + sh) = f_0 + s h f[x_0, x_1] + s(s-1) h^2 f[x_0, x_1, x_2] + \dots \\ \dots + s(s-1) \dots (s-n+1) h^n f[x_0, \dots, x_n] . \end{aligned} \quad (28)$$

Využijeme-li vztah pro obyčejnou a poměrnou diferencí, získáme vztah, o kterém hovoříme jako o **Newtonově interpolačním polynomu pro interpolaci vpřed** [32]:

$$P_n(x_0 + sh) = f_0 + s \frac{\Delta f_0}{1!} + s(s-1) \frac{\Delta^2 f_0}{2!} + \dots + s(s-1) \dots (s-n+1) \frac{\Delta^n f_0}{n!} . \quad (29)$$

Uvažujeme-li uzly v opačném pořadí $x_n, x_{n-1}, \dots, x_0$ dostaneme interpolační polynom ve tvaru:

$$P_n(x) = f_n + f[x_{n-1}, x_n] \cdot (x - x_n) + \dots + f[x_0, \dots, x_n] (x - x_n) \dots (x - x_1) . \quad (30)$$

Opět dosadíme do vztahu (23) rozdíl $x - x_i$ ale tentokrát získá interpolační polynom tvar (32):

$$x - x_i = x_n + s h - (x_0 + i h) = h(n + s - i) . \quad (31)$$

$$\begin{aligned} P_n(x) = P_n(x_0 + sh) = f_n + s h f[x_{n-1}, x_n] + s(s+1) h^2 f[x_{n-2}, x_{n-1}, x_n] + \dots \\ \dots + s(s+1) \dots (s+n-1) h^n f[x_0, \dots, x_n] . \end{aligned} \quad (32)$$

Newtonův interpolační polynom pro interpolaci vzad vypadá takto [32]:

$$P_n(x_n + sh) = f_n + s \frac{\Delta f_{n-1}}{1!} + s(s+1) \frac{\Delta^2 f_{n-2}}{2!} + \dots + s(s+1) \dots (s+n-1) \frac{\Delta^n f_0}{n!} . \quad (33)$$

3.1.6 Numerické řešení nelineárních rovnic Newtonovou metodou

3.1.6.1 Zápis

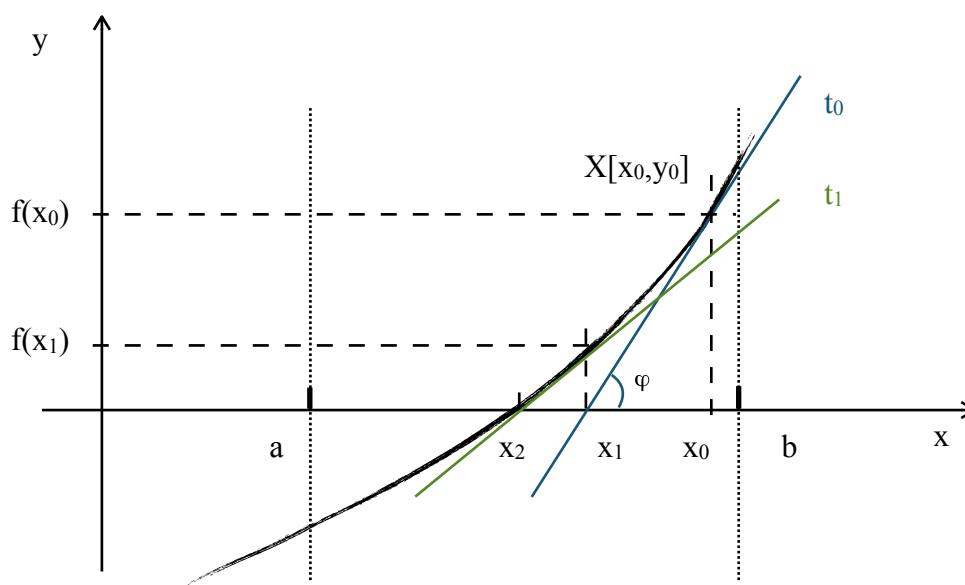
Uvažujme rovnici ve tvaru $f(x) = 0$, kde $f(x)$ je nějaká „rozumná“ funkce reálné proměnné. Budeme hledat reálná čísla α_n , $n = 0, 1, \dots$ pro která platí $f(\alpha_n) = 0$. Taková čísla nazýváme kořeny rovnice $f(x) = 0$. Předpokladem je, že na intervalu $\langle a, b \rangle$ je právě jeden kořen. Numerický výpočet kořene α spočívá v konstrukci posloupnosti [32]:

$$\{x_n\}_{n=0}^{\infty}. \quad (34)$$

Efektivnost metody je dána rychlostí konvergence dané posloupnosti ke kořenu α .

Za numerické řešení budeme považovat takový člen posloupnosti x_k , pro který bude platit, že $|x_k - \alpha| < \varepsilon$. Tím je i předem stanovena velikost chyby [32].

Newtonova metoda pro hledání kořenů rovnice $f(x) = 0$ je založena na názorné geometrické interpretaci, viz obrázek č. 10. Průsečík tečny sestrojené ke grafu funkce v daném bodě x_k s osou x může být lepší aproximací hledaného kořene než x_k samotné. Protože se jedná o aproximaci danou průsečíky tečen s osou x , někdy se používá pro tuto metodu označení **Newtonova metoda tečen**.



Obr. č. 10 Grafické znázornění Newtonovy metody tečen.

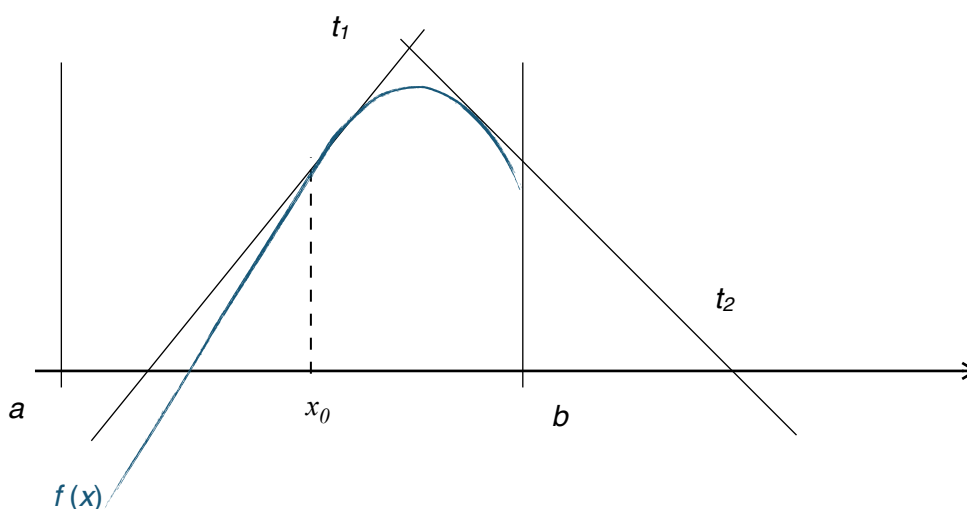
Nechť x_k je k -tá aproximace kořene α . Rovnice tečny ke grafu funkce $f(x)$ v bodě x_k má tvar [32]:

$$y - f(x_k) = f'(x_k)(x - x_k). \quad (35)$$

Průsečík tečny s osou x je bod $x = x_{k+1}$, který je $(k + 1)$ - ní aproximací kořene. Do rovnice tečny dosadíme $y = 0$, $x = x_{k+1}$, dostaneme **Newtonův vzorec pro řešení nelineárních rovnic** [32]:

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_k)}. \quad (36)$$

Důkaz zde opět provádět nebudeme.



Obr. č. 11 Grafické znázornění Newtonovy metody - špatná volba intervalu $\langle a, b \rangle$.

Tato metoda nemusí vždy konvergovat nebo může konvergovat k jinému kořenu, který leží v jiném intervalu - viz obr. č. 11. Posloupnost iterací definovaná vztahem (36) bude konvergovat ke kořenu α pro rovnici ve tvaru $f(x) = 0$, právě když funkce $f(x)$ je spojitá na intervalu $\langle a, b \rangle$. Na témže intervalu platí $f(a) \cdot f(b) < 0$ a $f'(x) \neq 0$ pro všechna $x \in (a, b)$, funkce je ryze monotonní. Dále je funkce na stejném intervalu buď konvexní nebo konkávní, tj. $f''(x) \neq 0$ pro všechna $x \in \langle a, b \rangle$.

Důležitá je u této metody volba bodu x_0 , viz obr. č. 10. Bod $x_0 \in \langle a, b \rangle$ je ten konec, pro nějž platí: $f(x_0) \cdot f''(x_0) > 0$. V našem případě je funkce rostoucí a konvexní, takže pro ni platí:

$f(x) \cdot f''(x) > 0$). Začneme-li v druhém konci, může se stát, že průsečík tečny s osou x je daleko od kořene α .

3.1.6.2 Praktické využití

Newtonovou metodou tečen nalezněte na intervalu $\langle 1, 2 \rangle$ přibližnou hodnotu kořene rovnice:

$$x^3 - x - 1 = 0. \quad (37)$$

Newtonova metoda bude konvergovat ke kořeni α za těchto podmínek:

1) Funkce $f(x)$ musí být na intervalu $\langle 1, 2 \rangle$ spojitá, funkční hodnoty v koncových bodech musí mít opačná znaménka, tj. $f(a) \cdot f(b) < 0$. Ověříme:

$$f(1) = 1^3 - 1 - 1 = -1, \quad f(2) = 2^3 - 2 - 1 = 5, \quad f(1) \cdot f(2) = -5 < 0 \quad (38)$$

Vyšlo nám, že funkce $f(x)$ je na intervalu $\langle 1, 2 \rangle$ spojitá.

2) Určíme první a druhou derivaci rovnice (37):

$$f'(x) = 3x^2 - 1, \quad f''(x) = 6x, \quad (39)$$

První a druhá derivace nemění na intervalu $\langle 1, 2 \rangle$ své znaménko, v našem případě je:

$$f'(x) > 0, f''(x) > 0. \text{ Zároveň } f'(x) \neq 0.$$

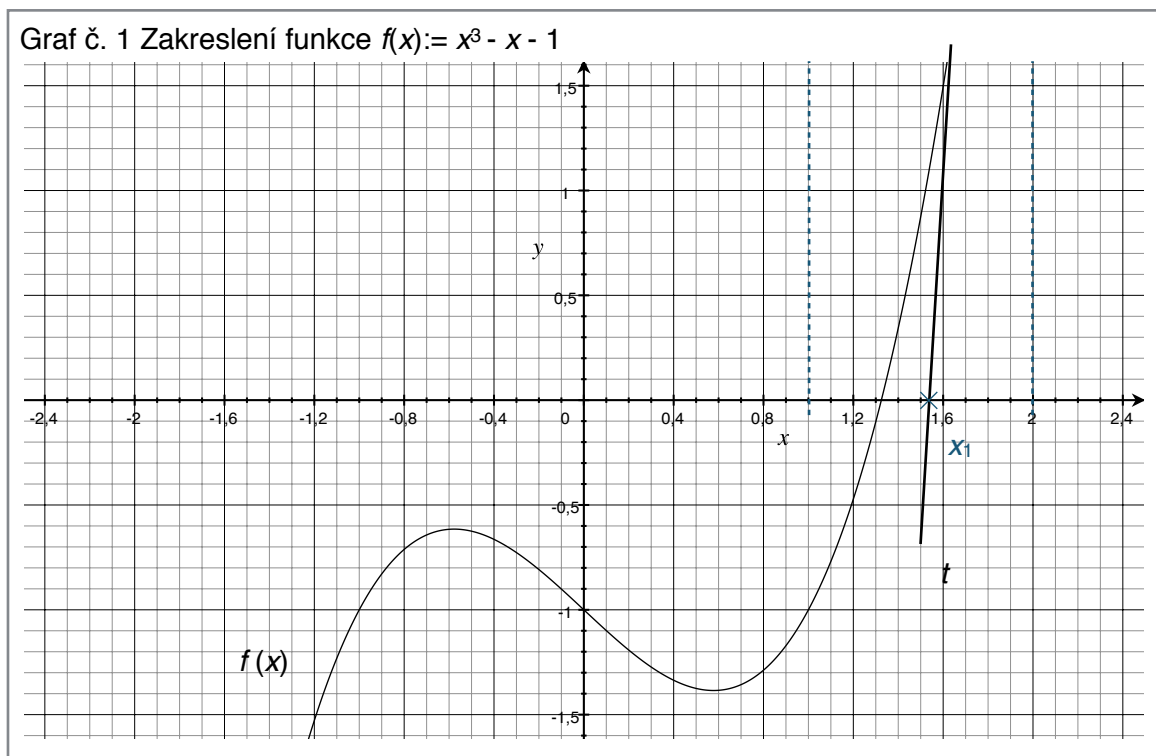
3) Rozhodneme, který ze součinů $f(x) \cdot f''(x)$ je větší než nula. Podle toho zvolíme x_0 :

$$f(1) \cdot f''(1) = -1 \cdot 6 = -6 < 0, \quad f(2) \cdot f''(2) = 5 \cdot 12 = 60 > 0. \quad (40)$$

Vyšlo nám jako výchozí bod $x_0 = 2$. Postupně budeme dosazovat do vzorce (36):

Ukážeme si výpočet bodu x_1 . Tento bod je zakreslen i v grafu č. 1.

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)} = 2 - \frac{5}{11} = \frac{17}{11}. \quad (41)$$



Další body za nás vypočetl rychleji program *Numbers*, viz tabulka č. 4:

Tabulka 4 - hledání kořene α

x_0	2
x_1	1,54545454545455
x_2	1,35961491591518
x_3	1,32580134500585
x_4	1,32471904941713
x_5	1,32471795724586
x_6	1,32471795724475
x_7	1,32471795724475
x_8	1,32471795724475
x_9	1,32471795724475
x_{10}	1,32471795724475

Z tabulky č. 4 je vidět, že již v sedmém kroku jsme se velice přiblížili k hledanému kořenu α .

Přibližná hodnota kořene je $\alpha = 1,324717957244750$.

3.2. Mechanika

3.2.1 Historie

Právě v 16. a 17. století se rodí základy mechaniky, založené na experimentech a obecných fyzikálních zákonech [27].

V roce 1639 Jan Marek Marci publikoval spis s názvem „*De proportionibus motus seu regula sphygmica ad celeritatem et tarditatem pulsuum*“, který bychom mohli přeložit jako „*O úměrnosti pohybu neboli o sfygmickém (nárazovém) pravidle k bezchybnému určování rychlosti a pomalosti nárazů z jejich pohybu vyvolaného geometrickými tíhami*“. Je to první systematické pojednání o mechanice, které v Čechách vyšlo, nepočítáme-li Keplerovy astronomické práce. V roce 1648 vydal Marci druhý spis „*O úměrnosti pohybu přímočarých obrazců a kvadratur kruhu na základě pohybu*“. Vše rozvinul a filozoficky zobecnil v rozsáhlém díle „*Otho-Sophia*“, „*Nauka o nárazu*“, kterou vydal po Marciho smrti v roce 1680 jeho žák Jakub Jan Václav Dobřenský z Černého mostu [27].

Galileo Galilei již ve svých raných dílech koncem 16. století, ale především ve slavném „*Dialogu*“ (1632) a „*Discorsi*“ (1638) formuloval zákon setrvačnosti, zákon nezávislosti pohybů, rovnoprávnost vztažných soustav pohybujících se navzájem rovnoměrně přímočaře, zákony volného pádu, závislost doby kyvu kyvadla na jeho délce a další. Důležitým poznatkem bylo také to, že všechna tělesa padají ve vakuu se stejným zrychlením nezávisle na tom, jak jsou těžká, což bylo v přímém rozporu s aristotelovskou fyzikou. Marek Marci všechny tyto poznatky ve svém díle uvádí. Snaží se je zdůvodňovat pomocí geometrických úvah a s použitím Archimédových zákonů o rovnováze na páce. Je samozřejmě otázkou, nakolik Marci znal Galileiho výsledky (ve své první práci z r. 1639 Galileiho necituje) a nakolik se k nim dopracoval vlastní cestou, ostatně i Galilei měl své předchůdce. V každém případě se Marci pokusil uvést tyto mechanické poznatky do uceleného systému na způsob Eukleidových základů. Některé jeho argumenty, např. zdůvodnění skutečnosti, že tělesa pohybující se po těživách kružnice ležící ve svislé rovině dospějí z horního bodu kružnice do libovolného bodu na jejím obvodu za stejnou dobu, jsou rozhodně originální. Z dnešního hlediska jistě nejsou jeho úvahy exaktní, ale je třeba uvážit, že v Marciho době nebyl k dispozici matematický aparát umožňující formulovat a řešit pohybové rovnice, nebyly ještě vymezeny základní fyzikální pojmy. Sám Marci někdy pod termínem „impulz“ rozumí sílu, někdy moment síly, hybnost či rychlost [27].

Pro Marciho vědecký styl je charakteristická poplatnost renezanční verbální argumentace, jeho zdůvodňování jsou dalekosáhlá a obtížně sledovatelná. Snažil se všechny jevy jednoznačně vysvětlit, byl však zřejmě předmětem zaujat až poeticky a soustavně hledal i praktické aplikace vědeckých poznatků. Navrhl využití kyvadla k měření tepu pacientů a krátkých časových intervalů v astronomii; jak známo, kyvadlové hodiny poprvé sestrojil Christian Huygens až v padesátých letech. Marci se inspiroval řemeslnou technologií a vojenskou technikou své doby, byl dychtivým pozorovatelem života a snažil se své poznatky experimentálně ověřovat. Bohužel přesnější popis prováděných experimentů nezanechal [27].

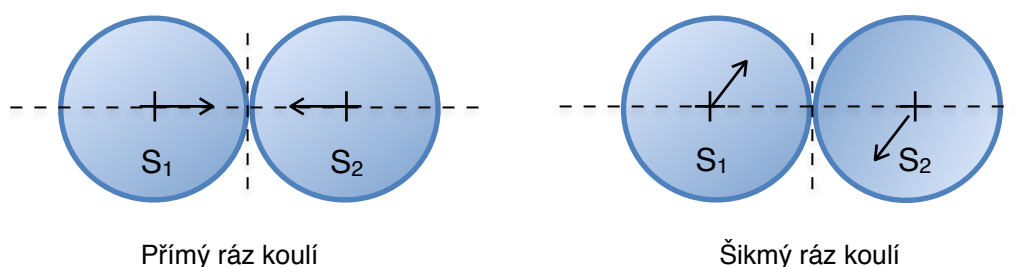
Hlavní Marciho přínos v mechanice je bezesporu v jeho analýze srážek pružných a nepružných těles. Marci si uvědomil, že při vzájemné srážce dvou těles nezáleží na jejich velikosti, nýbrž na jejich hmotnosti, rychlosti a vlastnostech materiálu. Přesně vymezil rozdíl mezi rázem přímým, kdy se koule pohybují před srážkou i po ní v téže přímce, a rázem šikmým. Chápal srážku jako proces, kdy mechanický pohyb postupně zaniká a opět se zcela nebo částečně rodí. Rozlišil tři situace, kdy se tělesa po srážce pružně odrazí a restituují svůj tvar, kdy se deformují a kdy se, jsou-li křehká, rozbijí. Jeho myšlenky tak vlastně předjímají dnešní teorii pružnosti, plasticity a dislokace [27].

Podrobně se pak věnoval pružným srážkám dvou koulí. Zformuloval osm základních tvrzení. První čtyři pro případ, kdy pohybující se pružná koule narazí na jinou, nehybnou. Další pro situaci, kdy se obě koule před srážkou pohybovaly. Tyto své závěry zřejmě ověřoval i pokusy s dřevěnými koulemi. Kulečník, tehdy oblíbená zábava vyšších kruhů, byl pro něj zároveň i užitečným fyzikálním zařízením [27].

Marciho tvrzení týkající se výsledků srážek koulí jsou z fyzikálního hlediska v podstatě správná, nejsou ovšem formulována kvantitativně. Hovoří-li Marci o tom, že jedna koule má velký impuls a druhá malý, nejsou tyto vztahy matematicky přesně definovány. To dokázal až o dvacet let později v roce 1669 Christian Huygens, který již znal zákony zachování mechanické energie a hybnosti. Proto také mohl Huygens řešit úlohu, co se stane, narazí-li na sebe dvě koule, z nichž jedna je třikrát těžší než druhá a obě se pohybují stejnou rychlostí proti sobě. Zjistil, že těžší koule se zastaví a druhá se odrazí dvojnásobnou rychlostí. K tomuto výsledku se ovšem Marci svými kvalitativními metodami dopracovat nemohl [27].

Naproti tomu si Marci jasně uvědomoval, že narazí-li koule přímým rázem do stejné koule stojící, zastaví se a předá stojící kouli celou svou hybnost. Podobně seřadíme-li stejné koule podél přímky tak, aby se dotýkaly, a necháme narazit další takovou kouli na jednu z krajních koulí řady, zůstane celá řada v klidu a až poslední koule na druhé straně odletí stejnou rychlostí, jakou měla narazivší koule. To je pro nás dnes samozřejmé, ale René Descartes ve svém spise „*Principia philosophiae*“ z roku 1644 takovou možnost popírá [27].

Marci se zabýval dalšími mechanickými problémy, jako je šikmý ráz těles, vícenásobný odraz (ploché kaménky, „žabky“ na vodě), vliv odporu prostředí na pohyb těles, pohyb kapalin a plynů, ale opět pouze v kvalitativní, intuitivní rovině [27].



Obr. č.12 Ráz koulí podle Jana Marciho.
Zdroj [22]

Narazí-li na sebe dvě koule, můžeme v bodě jejich dotyku vést společnou tečnu a normálu obou koulí. Leží-li směry rychlostí obou koulí v této normále, je to ráz přímý. Koule se budou pohybovat před rázem i po něm v jedné přímce. V opačném případě mluvíme o rázu šikmém, kdy koule po srážce změní směr svého pohybu [27].

3.2.2 Kartézské zákony pohybu

3.2.2.1 Mechanika Reného Descartese

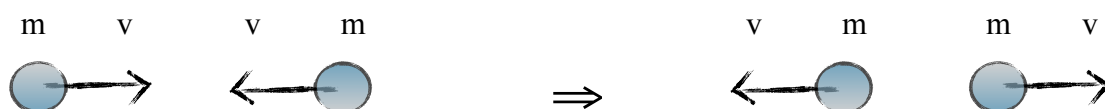
René Descartes (1596 – 1650) formuloval zákon setrvačnosti ve dvou postulátech:

- 1) Těleso zůstává v klidu, dokud na něj nepůsobí žádná síla. Těleso (v pohybu) setrvává v tomto pohybu konstantní rychlostí, dokud neinteraguje s něčím, co změní jeho pohyb.
- 2) Každé pohybující se těleso se snaží zachovat pohyb v přímém směru.

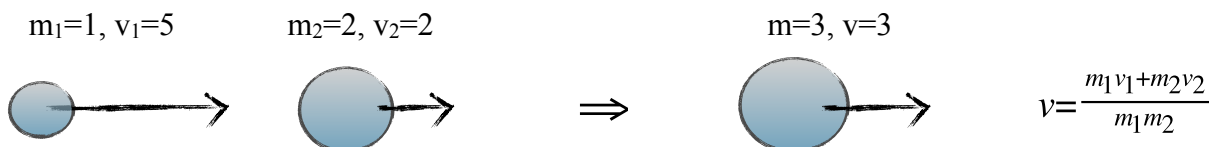
Galileo Galilei pokládal kruhový pohyb za přirozený a k jeho udržení není nutná síla. Jako příklad dával hvězdnou oblohu. Nicméně René Descartes tvrdil opak, že k udržení kruhového pohybu je nutná síla.

Pro srážky těles formuloval René Descartes osm pravidel. Zde jsou schématicky uvedené čtyři z nich:

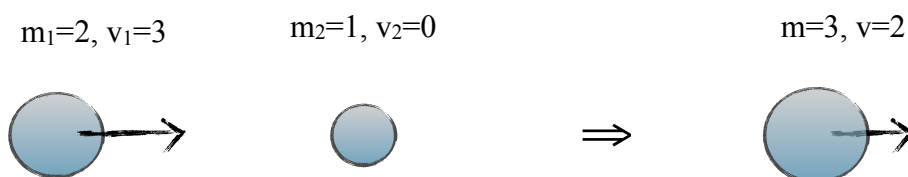
a) pružné srážky



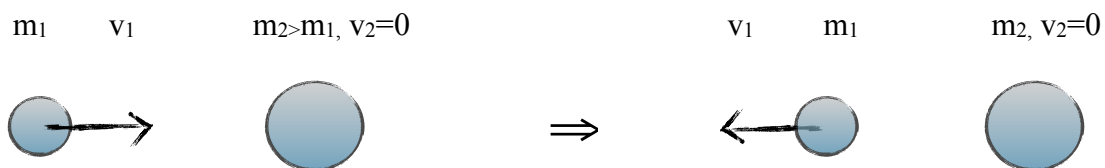
b) nepružné srážky



c) nepružné srážky



d) chybné pravidlo



Obr. č. 13 Srážka těles.

Jestliže se těleso srazí s jiným tělesem a má menší sílu k pokračování ve svém pohybu, než má druhé těleso v bránění pohybu, pak změní směr bez ztráty pohybu. Má-li naopak toto těleso sílu větší, pak druhé těleso strhne se sebou a přitom ztratí tolik pohybu, kolik ho udělí druhému tělesu.

Tedy například srazí-li se těleso s tělesem větším, které je v klidu, odrazí se zpět bez ztráty rychlosti.

Většina z osmi Descartových postulátů je neplatná. Descartes si byl vědom, že některé jeho výroky nesouhlasí se skutečností, příčinu ale viděl spíše v chybně prováděných experimentech než ve své teorii. Descartes na rozdíl od Jana Marka Marci nerozlišoval mezi pružnými a nepružnými srážkami. Dále nebral v potaz vektorový charakter hybnosti - rychlost chápal v absolutní hodnotě jako skalár. Ze svých zákonů se Descartes snažil vysvětlit všechny jevy - mluvíme o mechanickém výkladu světa.

3.2.2.2 Mechanika Christiaana Huygense

Christiaan Huygens (1629 - 1695) měl dvě hypotézy:

1) Princip setrvačnosti:

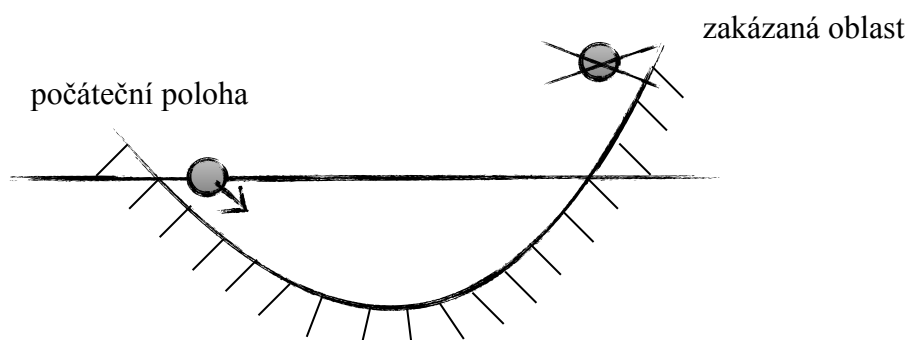
Těleso ponecháno samo o sobě se pohybuje rovnoměrně v přímém směru.

2) Princip superpozice pohybů:

Podle tohoto principu např. těleso při volném pádu v jistém okamžiku získá rychlost, na kterou v následujícím okamžiku superponuje další rychlost.

Symbolicky: $v(t + \Delta t) = v(t) + g \cdot \Delta t$. (42)

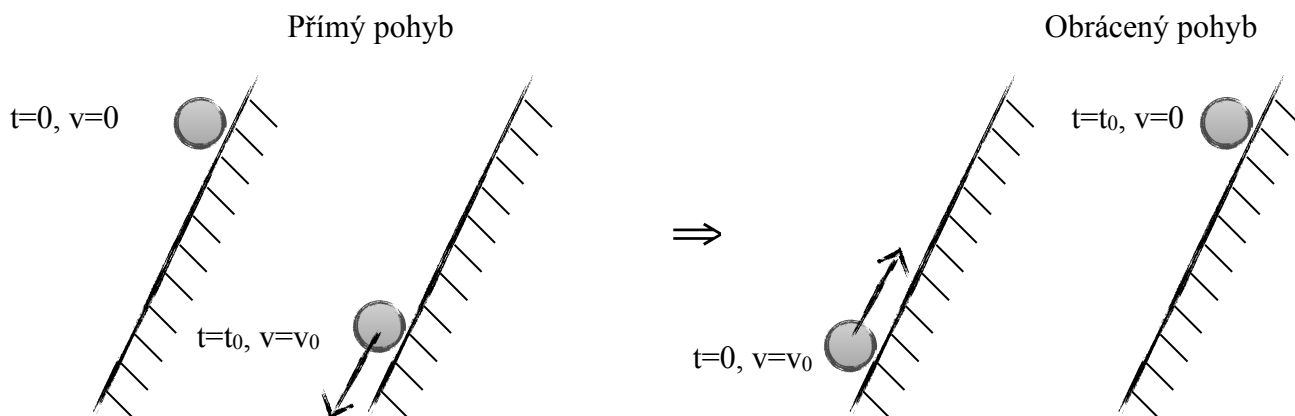
Podobně jako Descartes i Huygens vycházel ze systému postulátů (hypotéz), např.:



Obr. č. 14 Pohyb tělesa pod vlivem tíhové síly.

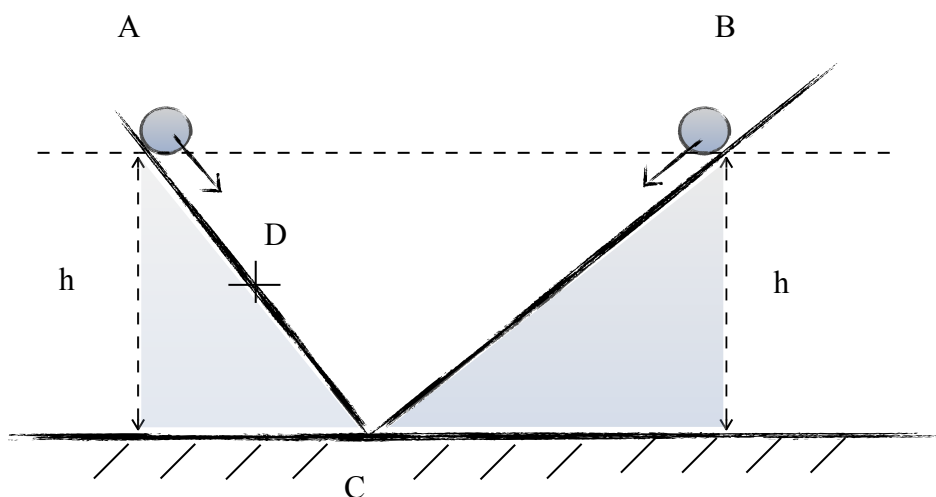
a) Pokud se libovolný systém těles pohybuje pouze pod vlivem tíhových sil, pak společné těžiště systému se nikdy nemůže dostat výše, než bylo na začátku pohybu, viz obrázek č. 14.

b) Další postulát vyjadřuje, že za ideálních podmínek je pohyb vratný. Na obr. 15 je tento postulát schematicky znázorněn.



Obr. č. 15. Pohyb vratný.

Důsledek: Uvažujme dvě nakloněné roviny AC a BC v různých sklonech. Dvě malé koule jsou spuštěny z bodů A , B nakloněných rovin ze stejné výšky h . Pak u paty C budou mít koule stejné rychlosti, viz obrázek č. 16.

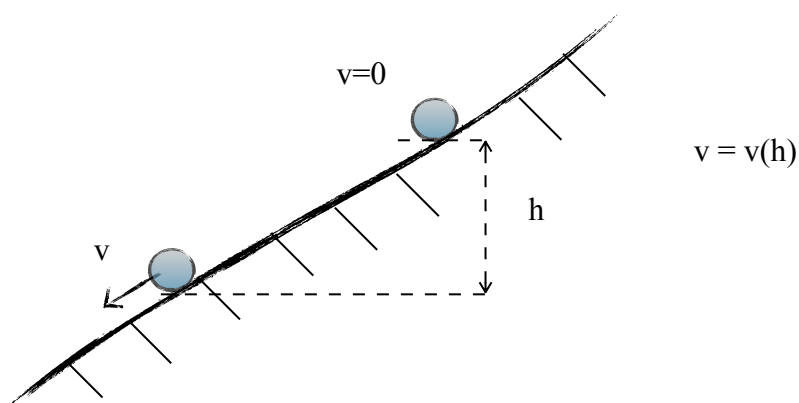


Obr. č. 16 Pohyb těles po nakloněné rovině.

Důkaz sporem: Necht' např. koule, spuštěná z bodu B , má v bodě C menší rychlost než koule, vypuštěná z bodu A . Nechme tuto kouli stoupat vzhůru po nakloněné rovině AC . Vzhledem k její menší rychlosti vystoupí do bodu D , který se nachází někde mezi body A a C . Podle postulátu o vratnosti pohybu koule, spuštěná z bodu D , vystoupí do bodu B .

To je ale spor s postulátem o těžišti, neboť těžiště koule je v bodě B výše, než bylo na počátku pohybu v bodě D . Podobně se dá dokázat i obecnější tvrzení: *Rychlost koule pohybující se po zakřivené ploše závisí pouze na její počáteční a okamžité výšce.*

Jako ilustraci Huygensových metod si uvedme ještě jeden příklad. Dokážeme, že doba pohybu po nakloněné rovině je úměrná její délce.



Obr. č. 17 .Doba pohybu po nakloněné rovině

a) Důkaz ve stylu Huygense

Hmotné body spuštěné z bodu O, budou mít v bodech X_1, X_2 stejnou rychlost $v = v(t)$.

Odtud získáme:

$$\text{Po sečtení dostaneme: } dt_1 = \frac{ds_1}{v} = \frac{dh}{v \cdot \sin \alpha_1}, \quad dt_2 = \frac{ds_2}{v} = \frac{dh}{v \cdot \sin \alpha_2} \quad (43)$$

$$dt_1 : dt_2 = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1}, \quad dt_1 = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} \cdot dt_2 \quad (44)$$

$$t_1 = \sum_{n=1}^{\infty} dt_1, \quad t_2 = \sum_{n=1}^{\infty} dt_2 \quad (45)$$

$$t_1 = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} \cdot t_2 = \frac{\frac{h}{s_2}}{\frac{h}{s_1}} \cdot t_2 = \frac{s_1}{s_2} \cdot t_2 \quad (46)$$

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{s_1}{s_2} \quad (47)$$

b) Současný důkaz

$$s_1 = \frac{1}{2} \cdot (g \cdot \sin \alpha_1) \cdot t_1^2 = \frac{1}{2} \cdot \left(g \cdot \frac{h}{s_1} \right) \cdot t_1^2 \quad (48)$$

$$s_1^2 = \frac{g \cdot t}{2} \cdot t_1^2, \quad s_2^2 = \frac{g \cdot t}{2} \cdot t_2^2 \quad (49)$$

$$\frac{s_1^2}{s_2^2} = \frac{t_1^2}{t_2^2} \quad (50)$$

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{s_1}{s_2} \quad (51)$$

3.2.2.3 Mechanika Isaaca Newtona

a) pohybové zákony [43]

Celá klasická mechanika, včetně nebeské mechaniky, je založena na těchto třech zákonech:

Lex. I. Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.

Každé těleso (o hmotnosti m) setrvává v klidu nebo v pohybu rovnoměrném přímočarém (s rychlostí v), pokud není tento stav přinuceno změnit v důsledku sil na něj působících. Tento zákon nazýváme *zákonem setrvačnosti*.

Lex. II. Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressæ, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Změna hybnosti je úměrná působící síle a odehrává se ve stejném směru, ve kterém tato síla působí.

Za předpokladu, že těleso má konstantní hmotnost, můžeme odvodit tento zákon síly v obvyklém tvaru:

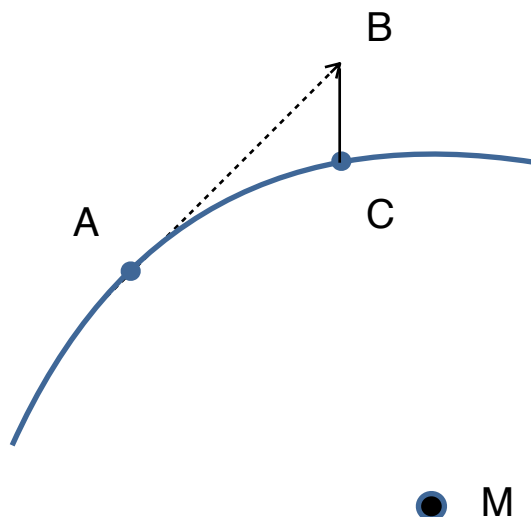
$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m \cdot \vec{v}) = \frac{dm}{dt} \vec{v} + \frac{d\vec{v}}{dt} m = \frac{dm}{dt} \vec{v} + m \vec{a} = 0 + m \vec{a} \quad (52)$$

$$\vec{F} = m \vec{a} \quad (53)$$

Lex. III. Actioni contrariam semper et æqualem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æquales et in partes contrarias dirigi.

Proti každé akci vždy působí stejně velká reakce, neboli: vzájemná působení dvou těles jsou vždy stejně velká a míří na opačné strany. Tento poslední zákon nazýváme *zákonem akce a reakce*. Matematicky vyjádřeno:

$$-\vec{F}_1 = \vec{F}_2 \quad (54)$$



Obr. č. 18 Pohyb tělesa v gravitačním poli.
Zdroj [43].

b) centrální síla

Na obr. 18 je znázorněn pohyb tělesa o hmotnosti m v gravitačním poli tělesa o hmotnosti M , $m \ll M$. Pokud by na těleso m v bodě A nepůsobila gravitační síla, pohybovalo by se rovnoměrně přímočaře do bodu B . Gravitační síla vyvolá „pád“ tělesa do bodu C . Kombinací obou pohybů obdržíme křivočarý pohyb, ve speciálním případě pohyb po kružnici [43].

Newton pro tento účel zavedl pojem *centrální* a nezávisle na Huygensovi odvodil její tvar. Planety obíhající kolem Slunce a obecně všechny křivočaré pohyby vyžadují, aby na těleso působila nějaká síla. V případě planet tato síla směřuje k pevnému bodu, ale i všechny obdobné křivočaré pohyby vyžadují, aby ve smyslu zákona setrvačnosti na těleso působila nějaká síla. Tomu vyhovuje představa, že na hmotný bod působí síla, která trvale působí ve směru k jistému bodu. Jde-li o pohyb po kružnici, je tento bod středem kružnice. Síla takto definovaná je síla centrální neboli dostředivá. Tato síla působící na těleso o hmotnosti m pohybující se okamžitou rychlostí v na dráze o poloměru r vyvolá dostředivé zrychlení a_c , které je dáno vztahem [43]:

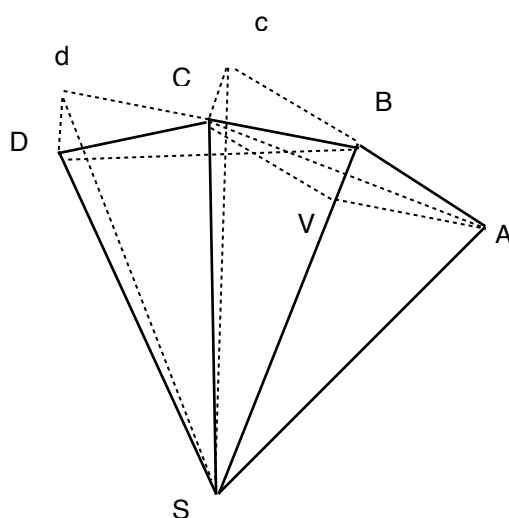
$$a_c = \frac{v^2}{r}, \quad (55)$$

pro centrální sílu platí [43]:

$$\vec{F}_c = m\vec{a}_c = m\frac{v^2}{r}. \quad (56)$$

c) odvození plošné rychlosti

Newton odvozoval všechny vztahy pomocí klasické geometrie. Příkladem může být odvození Keplerova zákona plošné rychlosti. S tímto problémem se na Newtona obrátil Halley, když Sir Christopher Wren ze žertu vypsál cenu pro toho, kdo vyřeší souvislost mezi tíží a tvarem planetárních drah [8].



Obr. č. 19 Odvození plošné rychlosti.
Zdroj [8].

Na těleso, které je v čase $t = 0$ v bodě A , působí dostředivá síla z centra S . V určitém časovém intervalu opíše průvodič tělesa plochu ABS . Kdyby nebylo zrychlení, v druhém stejně velkém časovém intervalu by opsalo plochu BcS . Víme, že $AB = cB \Rightarrow ABS = BcS$. Když se těleso dostane z bodu B , nebude v důsledku dostředivého zrychlení ve směru BV pokračovat po dráze Bc , ale po dráze BC . Úsečky cC a BV jsou rovnoběžné. Trojúhelníky SBC a SBC tak mají společnou stranu SB a stejnou výšku na tuto stranu, neboť protilehlé body c a C leží na rovnoběžce k této straně. Trojúhelníky SBC a SBC se rovnají, neboť mají stejnou základnu a stejnou výšku. Z toho pro obsahy trojúhelníků plyne [8]:

$$BCS = BcS = ABS \quad (57)$$

Pro pohyb v poli centrální síly je tak splněný zákon konstantních ploch. Jak je běžné v integrálním a diferenciálním počtu zjemňováním se dojde k nekonečnému počtu trojúhelníků s nekonečně malými stranami AB , BC , $\dots$.

Vlivem dostředivé síly, která se nepřímo úměrně zmenšuje s druhou mocninou vzdálenosti, se těleso pohybuje po kuželosečce. K tomu, aby mohl vyslovit tuto větu použil 28 pomocných vět. Zde si jednu z nich uveďme jako ukázkou, bude to věta č. 11 [8].

Těleso se pohybuje po křivce AB . AD je průmět dráhy ve směru tečny, $AC = DB$ je průmět ve směru normály v bodu A , tedy ve směru působení centrální síly. Bodem B vedeme kolmici na sečnu AB , která protne polopřímku AC v bodě G . V bodě b , který je v prostředku oblouku AB , vedeme úsečky $Ac = bd$, $cb = Ad$. Kolmice na sečnu Ab protne přímku AC v bodě g . Necht' se body B, D přibližují k bodu A . Posledním průsečíkem kolmice na sečnu se svislicí AC bude bod J . Pro velmi malé GJ je rozdíl $AG - Ag$ zanedbatelně malý. V tomto případě můžeme oblouk AB nahradit kružnicemi nad průmětem AG nebo Ag .

Potom jsou úhly při vrcholu B nebo b pravé. Pak platí [8]:

$$|AB|^2 = |AC| \cdot |AG| = |BD| \cdot |AG| , \quad (58)$$

$$|Ab|^2 = |Ac| \cdot |Ag| = |bd| \cdot |Ag| , \quad (59)$$

Upravíme-li v podíl [8]: $|AB|^2 / |Ab|^2 = |AG| \cdot |BD| / |Ag| \cdot |bd|$. (60)

Protože JG je menší než libovolně zvolená veličina, bude se podíl AG / Ag přibližovat k 1.

Pak[8]:

$$|AB|^2 / |Ab|^2 = |BD| / |bd| . \quad (61)$$

Tento průmět nekonečně malé dráhy do silového centra je úměrný druhé mocnině délky oblouku. Na nekonečně malé trajektorii je čas úměrný velikosti (obloukové) dráhy. Ze vztahu (61) vyplývá, že velikost BD je úměrná druhé mocnině času. Newton v dalších poučkách dokázal, že dostředivá síla je úměrná průmětu dráhy do směru této síly [8].

3.3 Optika

3.3.1 Spektrum

Isaaca Newtona napadlo v jednom lednovém dni roku 1666 učinit pokus se světlem. Dokonale zabeđnil celou místnost. Do jedné okenice vyvrtal malou dířku tak, aby jí mohlo pronikat sluneční světlo. Tento paprsek namířil na protější stěnu, kde se mu zobrazila jasná skvrna. Pak postavil do jeho cesty trojboký hranol a objevila se mu na stěně duha. Newton byl první, kdo jednotlivé barvy přisoudil samotnému bílému světlu. Rozklad světla hranolem byl v té době již dobře znám. Řada vědců před Newtonem, např. anglický minorita Roger Bacon [7] (1214 - 1294), italský jezuita Francesco Maria Grimaldi [7] (1618 - 1663) a také Jan Marcus Marci, viděla duhu, ale předpokládali, že barvy vznikají dodatečně interakcí světla s látkou. Newton uvedl ve své knize „*Nová teorie světla a barev*” v roce 1672, že se jedná o neuspořádaný shluk paprsků. Světlo se podle této teorie skládá z nesmírně malých, rychle se pohybujících částic (korpuskulí), které vysílá světelný zdroj. Tyto částice se pohybují prostorem přímočaře, pronikají průhlednými látkami, odrážejí se od látek neprůhledných jako pružné kuličky. Když vstoupí do oka, vyvolají vjem vidění. Jeho teorie vychází z mechaniky [6].



Obr. č. 21 Newtonovy pokusy se světlem.
Zdroj [5].

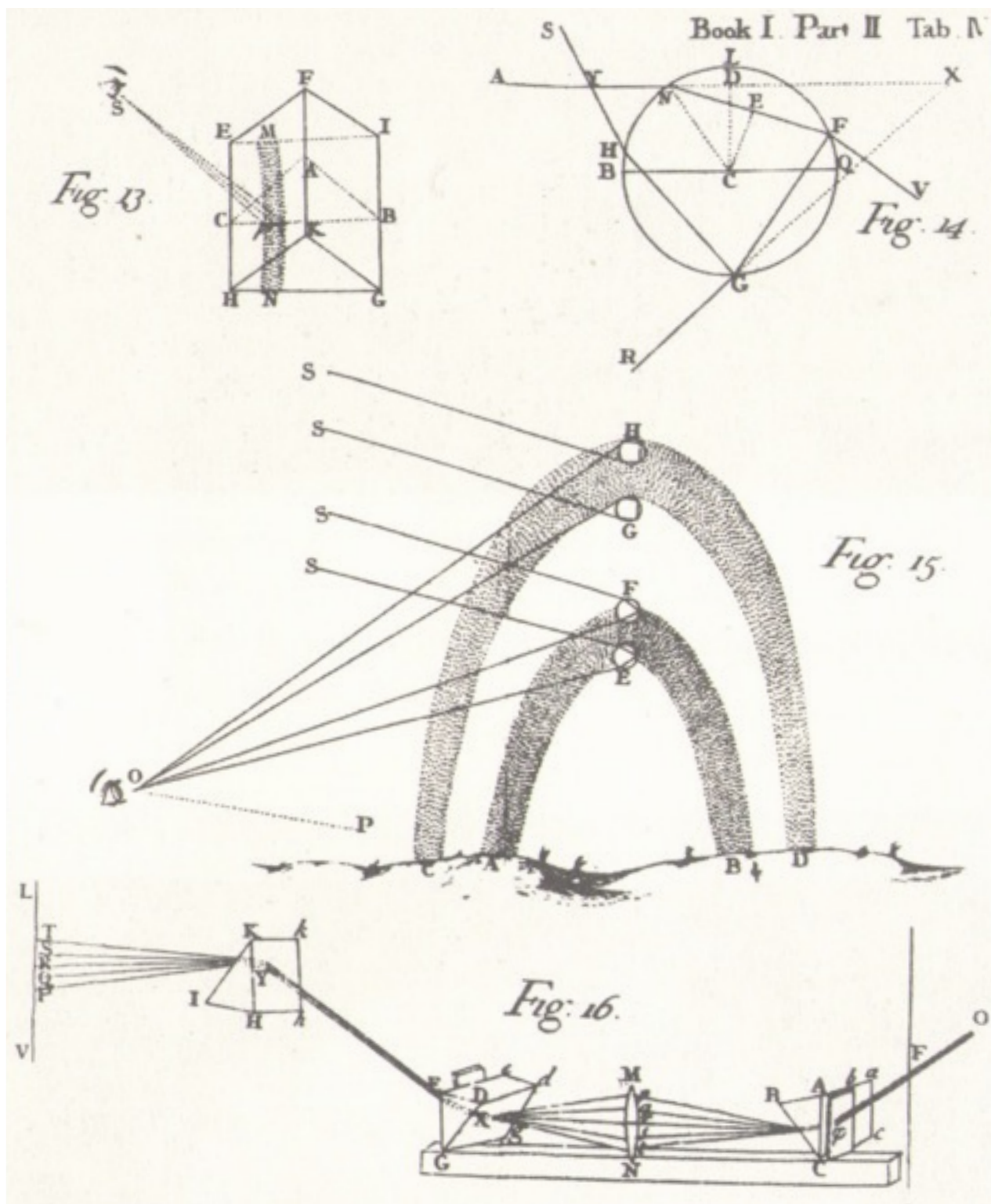
„Často jsem s obdivem přihlížel, že všechny barvy spektra, sbíhající se, a pak se znovu směřující, jak byly ve světle předtím, než dopadly na hranol, znovu vytvářely světlo, úplně a dokonale bílé a nelišící se nijak znatelně od přímého slunečního světla. Je tomu tedy vskutku tak, že bělost jest obvyklá barva světla a světlo že je neuspořádaný shluk paprsků různých barev, jak různě smíšené tryskají ze světelných těles” [6].

Vzal druhý hranol, postavil ho obráceně, hranou nahoru a duha mu zmizela, zůstala jen jasná skvrna. Když druhý hranol odstranil, opět se objevila duha. Tímto pokusem dokázal, že jde o světlo složené. Složené, které se dá rozkládat a zase skládat. Správně usoudil, že světelný paprsek není bezbarvý, že se v něm skrývají všechny barvy duhy. Sedm svítivých barev nazval **spektr****em**. Z latiny se přeloží do českého jazyka jako vidmo, vidina, přízrak nebo přelud. Charakter světla se při průchodu sklem nijak nezmění, pouze se fyzikálně rozděluje [6].

Dnes již nikdo nezjistí, zda Isaac Newton věděl, že jev disperze světla při lomu byl dávno znám. Jisté je, že od něj pochází název *spektrum*, převratná *koncepce složitosti bílého světla*, pojem *analýza a syntéza světla*, které objevil jako první. Sedm let o nich mlčel, až do 6. února 1672, kdy poslal svůj první samostatný článek londýnské Královské společnosti [1].

V roce 1648 Jan Marek Marci z Lanškrouna vydal v Praze spis „*Thaumantias sive liber de arcu coelesti deque colorum apparentium natura, typis Academicis*“, neboli „*Kniha o duze*“ [27], který nese název podle řecké Iris Thaumantias, dcery boha Thaumanta. Iris byla krásná a pestrá barevná, byla poslem bohů a zosobněním duhy, zázraků a tajemných světelných jevů na obloze a moři. Když byl za svou statečnost jmenován šlechticem z Kronlandu (je to přesmyčka historického názvu Lanškroun), nechal vyzdobit svůj erb duhou [1].

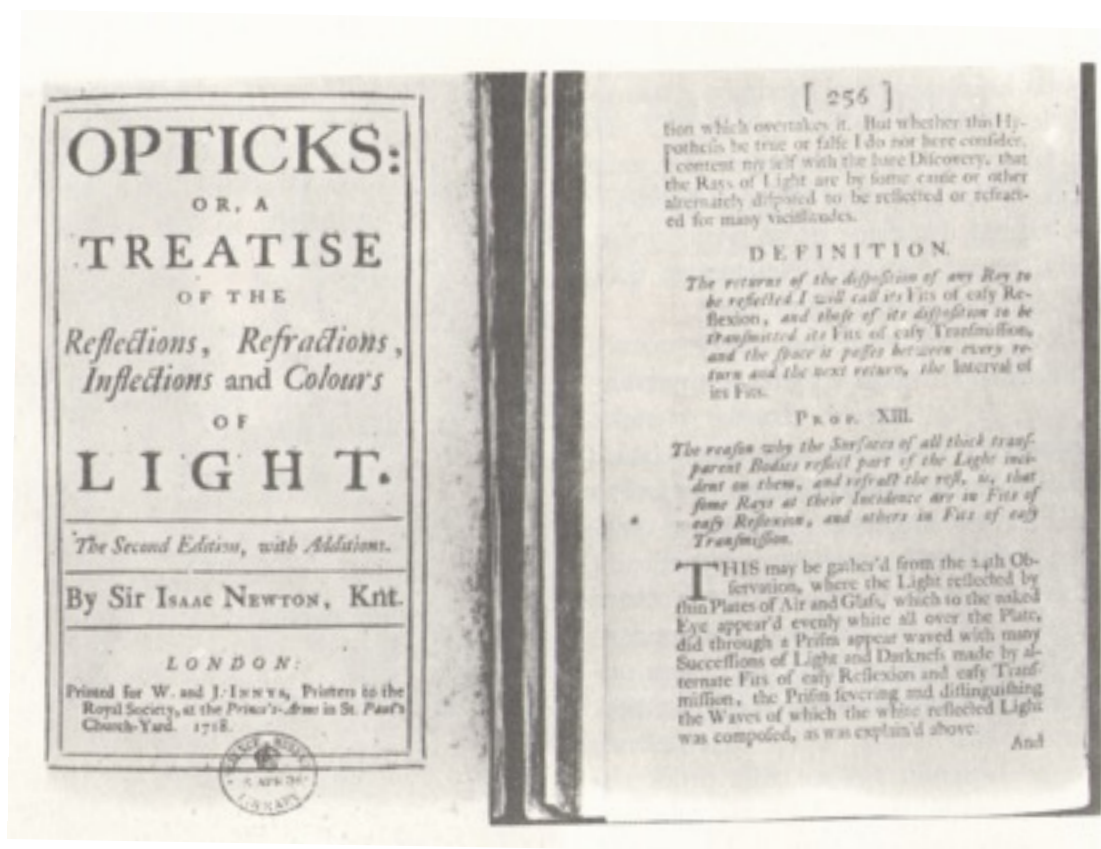
V tomto spise je popsána disperze světla při lomu paprsku. Není vyloučeno [1], že Newton byl obeznámen s tímto spisem, který se mohl dostat do Anglie, neboť v té době byla dcera anglického krále Alžběta Stuartovna [11] (1596 - 1662) ženou našeho zimního krále Fridricha Falckého [11] (1596 - 1632) a styky mezi našimi zeměmi byly značně živé. Dále je známo, že Královská společnost se chystala jmenovat Marka svým zahraničním členem, ale nemohla to pro jeho nečekané úmrtí učinit [27].



Obr. č. 22 Newtonův náčrt vzniku duhy, pořadí barev a tvar duhového oblouku.
Zdroj [6].

Z Newtonova deníku: „Za těchto okolností nelze dále debatovat, zda existují barvy ve tmě, ani zda jsou vlastnostmi předmětů, které vidíme. ... Neboť, protože jsou barvy vlastnostmi světla, majíce jeho paprsky za svůj vnitřní a bezprostřední subjekt, jak můžeme myslit, že tyto paprsky jsou také vlastnostmi, aniž by jedna vlastnost mohla být subjektem jiné a ji podporovat, což ve skutečnosti znamená nazývat ji substancí. ... Ale není tak snadné určit dokonaleji, co je světlo, jakým způsobem se láme a jakými způsoby nebo účinky vytváří v našich myslích představu barev. Ale nebudu mísit dohady s jistotami” [6].

Při rozkladu světla hranolem Newton viděl nezávisle na povaze zdroje sedm spektrálních barev přesně v tom pořadí jaké má duha a tedy prohlásil, že spektrum plamene svíčky, Slunce, ale i rozžhavených kovů je principiálně stejné a spojité. Omyl byl v tom, že spektrum je posloupnost obrazů vstupního otvoru, a že při volbě otvoru jako úzké štěrbin by bylo spektrum výraznější (difrakce rozostřuje - roztahuje do šířky) a s případnými mezerami. K tomuto objevu přišel až v roce 1813 německý optik Joseph von Fraunhofer [7] (1787 - 1826), který na vstupu do spektroskopu umístil štěrbinu a na výstupu dalekohled. Takto zjistil existenci tmavých mezer ve slunečním spektru, tedy dokázal nespojitost spektra [1].



Obr. č. 23 Titulní strana Newtonova „Traktátu o obrazech, lomech, ohybech a barvách světla”. Na pravé straně je definice podstaty světla jako proudu částic. Zdroj [6].

3.3.2 Spor s Hookem

Hooke kritizoval Newtonovo tvrzení oprávněně, neboť novou korpuskulární teorií světla nebylo možné objasnit všechny výsledky známých pokusů, zejména ohyb světla a vznik barev na tenkých vrstvách. Nevraživost Hooka a Newtona se prohlubovala nejen z důvodu optiky, ale i mechaniky. Dokonce jednou při přednášce o světle vykázal Newton Hooka ze sálu. Nenávist to byla doslova až za hrob, proto když Hooke zemřel, nechal Newton odstranit jeho portréty z akademické pudy Royal Society. Teprve rok po Hookově smrti v roce 1704 vydává hlavní optická díla „*Optics, or a treatise of the reflexions, inflexions and colour of light*“, neboli „*Traktát o odrazech, lomech, ohybech a barvách světla*“. Touto publikací Isaac Newton předal světu nové fyzikální odvětví **optiku** [6], [15].

3.3.3 Lidské oko

Newton přemýšlel nad tím, jak lidské oko vnímá tyto barvy. Jeho úslovím bylo, že nevymýšlí hypotézy, ale dělá pokusy a z nich usuzuje závěry. Měl dost sporů, které vznikly díky pokusům s hranoly. V roce 1671, kdy světu předal zrcadlový dalekohled, se Newton stal členem Royal Society. Jeho kolega Robert Hooke s velkými sympatiemi přijal Newtonův vynález dalekohledu, ale velice podrážděně reagoval na Newtonův list z onoho 6. února 1672, v kterém rozebíral teorii barev [6].

„Předpokládám, že podobně jako tělesa různých rozměrů, hustoty a dalších rozdílných vlastností vydávají například při úderu zvuky v různých tóninách, a tedy způsobují i vibrace vzduchu různé hodnoty, tak i světelné paprsky, když se střetnou s povrchem, který je silně lomí, vzbuzují v éteru vibrace různé hodnoty. Nejsilnější vibrace dávají vzniknout vjemu nejsilnějších barev, to jest červené a žluté, nejslabší vjemu modré a fialové, střední vjemu barvy zelené, souhrn vibrací dává barvu bílou - zrovna tak, jako se zvuky různých tónů přenášejí kmitáním vzduchu na sluchový orgán se smyslovými buňkami. Neboť příroda se podobá vždycky sobě samé.“ Toto tvrdil Newton [6].

O sto let později Thomas Young (1773 - 1829) popřel Newtonovo tvrzení, že oko obsahuje velké množství částic, z nichž každá reaguje na určitou barvu. Zamyslel se nad tím, že není možné, aby v oku bylo tolik druhů fotoreceptorů citlivých na velké množství odstínů. Vypracoval teorii tří nervových vláken. Podrážděním určitého z nich vzniká vjem určité barvy. Těmi třemi základními barvami by mohla být červená, žlutá a modrá, ale později se opravil na červenou, zelenou a modrou [6].

Jeho teorii doplnil fyziolog Hermann von Helmholtz (1821 - 1894), a tak se mluví o Youngově-Helmholtzově [34] teorii barevného vidění lidským okem. Těchto teorií existuje však několik. Zrakový vjem je v současnosti posuzován jako složitý fyzikální, neurofyziologický a psychický proces zprostředkovaný zrakovým orgánem [6].

3.3.4 Goethovy námitky

Newton má co se týče barev i svého odpůrce - Johanna Wolfganga Goetha (1749 - 1832). Ten v roce 1810 vydal „*Nauku o barvách*“, které si posléze cenil více než svých básní. Z pozorování odlesků na sněhu vydedukoval, že barva je příbuzná stínu, se stíny se spojuje a v nich se i zjevuje. Barva je pouze zakalení jednoho bílého světla. Dokonce si vypůjčil Newtonův hranol k opakování jeho pokusů, ale žádné pokusy s hranoly neudělal. Hranol poté, co se přes něj podíval na Slunce a žádné barvy neviděl, vrátil a začal psát polemiky. Nesouhlasil se třemi základními barvami - červenou, zelenou a modrou, neboť když malíř smíchá červenou a zelenou vždy vznikne hnědá nebo šedohnědá a ne tedy Newtonem předpokládaná žlutá barva o vlnové délce např. 560 nm. Goethe osočoval Newtona z toho, že vstupním otvorem se světlo mrzačí, na hranolu pak láme a že tedy spektrum nemůže být přírodní jev [1], [6].

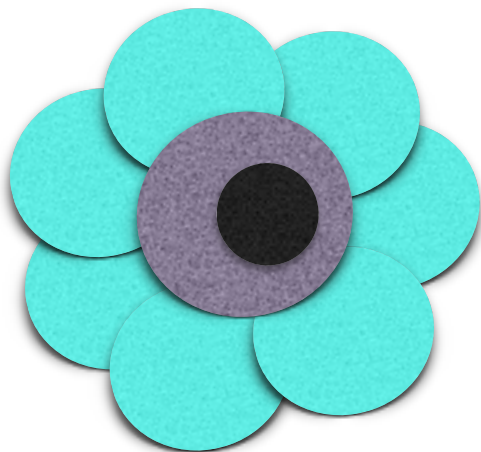
Goethe tomu říkal „tajemný fenomén“. Údajně tomu tak říkal záměrně, neboť trocha tajemna nikdy neuškodí. V roce 1831 se k danému problému vyjádřil takto: „*Víme obecně velmi dobře, že zelená barva vzniká smíšením žluté a modré. Nežli však bude moci někdo říci, že chápe zelenou v duze nebo zeleň listí či zeleň mořské vody, vyžádá si to všestranné přezkoumání říše barev a takovou úroveň poznání, jež z toho vyplyne, že k ní dosud sotva kdo dospěl*“ [6].

Johann Wolfgang Goethe o sobě prohlašoval, že právě on objasnil lidstvu tajemství barev. Škoda, že tou dobou už Isaac Newton nežil. My dnes víme, že barva je relativní, že záleží na schopnosti předmětu odrážet světlo a záleží i na spektrálním složení světla a zrakovém orgánu, který obraz přijímá. Bez světla přece žádná barva neexistuje [1], [6].

Ještě se vrátíme k barvám. „*Jasně zbarvené peří některých ptáků vzniká vlivem tenkosti průhledných částí pera, tedy vlivem tenkosti velmi jemných paprsků, které vyrůstají na stranách hrubších postranních větviček těchto per*“, jak si Isaac Newton všiml. Tento jev byl o dvě stě let později objasněn pomocí interference barev [6].

3.3.5 Paobraz

Vyzkoušejte si. Na dvacet sekund se upřeně zadívejte do středu květiny, která je zobrazena na obrázku č. 24, pak pohlédněte na bílou plochu vedle obrázku. Uvidíte červenou květinu se žlutobílým středem. To co vidíte je paobraz.



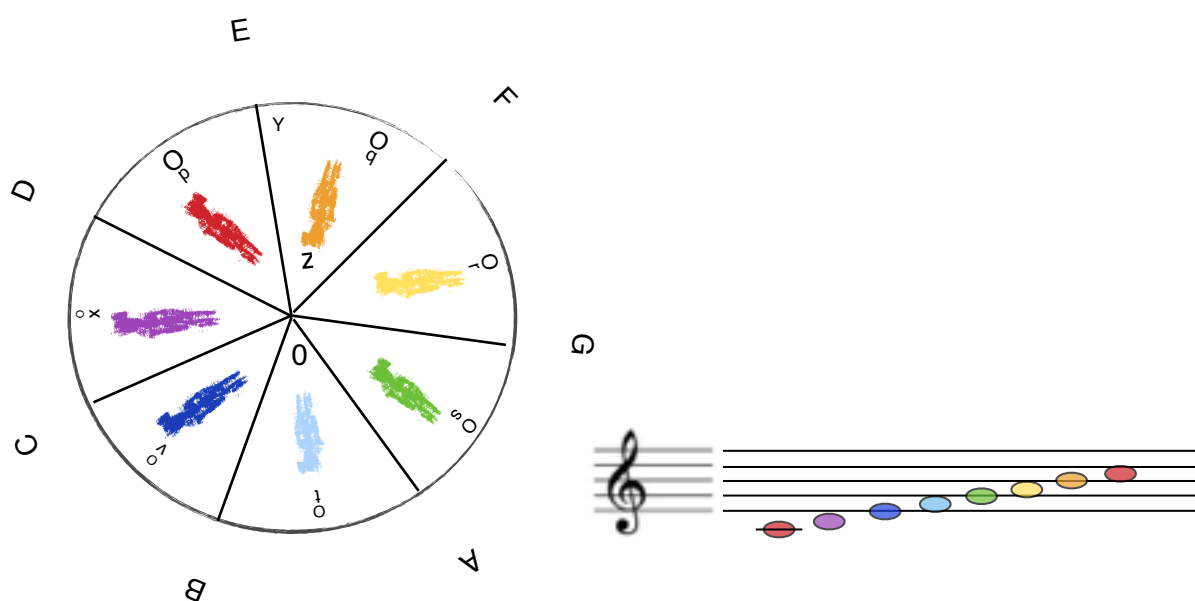
Obr. č. 24 Paobraz.

Mnozí fyzikové včetně Newtona zkoumali tento jev. Dnešní teorie má základ v neurofyzilogické koncepci. Po zakončení podnětu vyvolávajícího podráždění vykazuje buňka po určitou dobu útlum. Je to jakási stopa zrakového vjemu v negativní podobě a trvá několik vteřin. Hledíme-li přibližně dvacet sekund na obraz výrazně seskupených barev. Pak hned upřeme zrak na bílou plochu, objeví se nám obrazec v doplňujících barvách. Co bylo červené, je zelené. Co bylo modré, je žluté. Co bylo fialové, je oranžové. A co bylo černé, vidíme jako bílé [6].

3.3.6 Synestézie = barevné vidění tónů

Hovoříme zde o zvláštním způsobu vnímání. Slovo synestézie vzniklo z řeckého *syn* = spojení a *aesthesia* = cítění, vjem. Jedná se tedy o psychologický jev, při kterém dochází k obohacování smyslového prožitku doprovázeného smyslovou kvalitou, neboli vjem jednoho smyslu vyvolá vjem jiného smyslu. Tyto vjemy jsou v mysli. Hovoříme o tzv. barevném slyšení, vizuálním vjemu barvy doprovázeném dotykovým nebo chuťovým pocitem. Syntetická [35] souhra různých smyslových modalit je závislá na individuálních dispozicích člověka a jeho zkušenostech, jejím výsledkem jsou synestetické vjemy navoditelné u citlivých jedinců i slovně. Některé osoby uvádějí, že ve změněných stavech vědomí, např. po požití LSD, doopravdy chutnaly zvuky nebo slyšely světlo, popřípadě zcela přestaly rozlišovat mezi kvalitativní stránkou barev a zvuků apod. [11].

„Což harmonie a disharmonie barev nevznikají z proporcí chvění, které jsou přenášeny vlákny nervu optického do mozku, tak jako harmonie a disharmonie zvuků vznikají z chvění povětří? Vždyť některé barvy dávají příjemný hled, jiné naopak nepříjemný“ [6].



Obr. č. 25 Newtonův kruh barev - spectrum locus a barevné tóny na notové stupnici. Nakresleno podle zdroje [1].

3.3.7 Světlo

Položme si s Newtonem otázku: „Co je světlo?“

Tato otázka trápila už Aristotela (384 - 322 př.n.l.). Nesouhlasil s názory svého předchůdce Démokrita (asi 460 - 370 př.n.l.), že světlo je proud částic, který je neustále vysílán předměty. Tvrdil, že se jedná o něco „průhledného“, co se šíří podobně jako vlny na vodní hladině. Newton se tuto otázku snaží řešit v rámci korpuskulární hypotézy. Naproti tomu holandský učenec Christiaan Huygens (1629 - 1695), který v Paříži roku 1690 vydává „*Traité de la lumière*“, neboli „*Traktát o světle*“, v kterém prohlašuje, že z každého bodu svítícího tělesa se šíří elementární vlny, které se překrývají ve fronty vln. Tedy světelné paprsky se nemohou skládat z částic, korpuskul, jak se domnívá Isaac Newton [6].

Více než sto let trval spor, zda se jedná o vlnovou teorii nebo korpuskulární teorii. Angličan Thomas Young (1773 - 1829) provedl v roce 1801 pokus se svíčkou, kdy nechal procházet světlo dvěma uzounkými otvory v neprůhledné překážce. Na stínítku se objevily světlé a tmavé pruhy udávající místa křížení světelných vln. Ale Youngův matematický důkaz obsahoval značné množství chyb. O čtrnáct let později Francouz Augustin Jean Fresnel (1788 - 1827) bezchybně zdůvodnil a stejným pokusem ověřil, že světlo se chová jako vlna. Světlo je tedy chvění, ale čeho? A jak se světlo šíří ve vakuu [6] ?

To objasnil počátkem 60. let 19. století Skot James Clark Maxwell (1831 - 1879) ve svých čtyřech diferenciálních rovnicích, ve kterých vyslovil novou teorii o elektromagnetickém poli. V Maxwellových představách šlo o spojitě vlnění. Tato teorie byla velmi úspěšná a rozšířila se i na oblast záření neviditelného, tj. na oblast elektromagnetického záření v širším slova smyslu. O experimentální ověření elektromagnetické teorie světla se zasloužil německý fyzik Heinrich Hertz (1857 - 1894), který v roce 1888 prokázal existenci elektromagnetického vlnění. Když francouzský fyzik Dominique Arago (1786 - 1853) psal Newtonův životopis, z velké úcty k němu, vynechal jeho korpuskulární teorii. Zdánlivě spor ukončil francouzský fyzik, vynálezce gyroskopu a obloukové lampy Jean Bernard Léon Foucault [11] (1819 - 1868), který v roce 1850 zjistil, že světlo se ve vodě šíří pomaleji než ve vzduchu, což bylo ve shodě s tehdejší vlnovou teorií a v protikladu s korpuskulární teorií. Ale historie pokračuje [1], [6].

Německý fyzik Max Planck (1858 - 1947), který studoval záření absolutně černého tělesa, v roce 1900 zjistil z analýzy vzorce pro tepelné záření, že výměna energie mezi zářením neprobíhá spojitě, ale po kvantech. Přišel s nám již známým vzorečkem, kde ε je energie v kvantech, h je Planckova konstanta ($h = 6,626070 \cdot 10^{-34}$ Js [11]), f je frekvence:

$$\varepsilon = hf \quad (62)$$

O pět let později přichází Einstein s tím, že záření má diskrétní nebo-li nespojitou povahu a záleží na jeho frekvenci, zda se nespojitost záření projeví, či nikoli. Planck dlouho (až do roku 1923, kdy vše objasnil Comptonův jev) pokládal tuto představu za absurdní. Podle Plancka a Einsteina považujeme elektromagnetické záření za proud fotonů, které jsou vyzařovány a šíří se prostorem přímočaře bez zprostředkujícího prostředí. Avšak u elektromagnetických vln, např. rozhlasových je frekvence vlnění relativně malá. Kvantum záření hf vysílané zdrojem do prostoru je mizivě malé. Za takových podmínek je ovšem velmi obtížné postihnout nespojitý raz vysílaného záření. Jinak je tomu např. u záření rentgenového, které má velmi malou vlnovou délku, ale velmi vysokou frekvenci, takže kvantum energie hf rentgenového záření je relativně velmi velké, a proto i kvantové působení je výrazné.

Korpuskulární povaha se výrazněji projevuje u krátkovlnného záření s velkou frekvencí, kdežto vlnová povaha se výrazněji projevuje u dlouhovlnného záření, tj. s malou frekvencí. Avšak ani vlnová, ani korpuskulární představa sama o sobě nedává úplný obraz o povaze světla. Jen obě hlediska dohromady umožňují objasnění všech světelných jevů. U optických jevů se projevuje jistá dvojakost – dualismus. Tato dvojakost se vyskytuje nejen u optických jevů, ale např. u elektronových svazků. Kvantová fyzika tento dualismus překonává (ani klasická částice, ani klasická vlna, ale kvantová částice).

Podle současných představ se projevuje dvojí povaha záření: korpuskulární i vlnová.

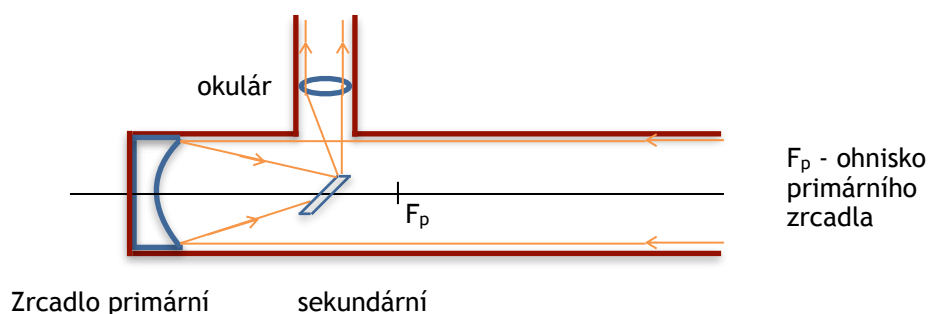
3.3.8 Dalekohled

Newton už jako bakalář rád pozoroval Měsíc a komety. Neváhal za optické přístroje utratit značnou částku peněz. Velmi ho mrzelo, že dalekohledy jsou nedokonalé. Nejprve si myslel, že je to tím, že si pořizuje levné dalekohledy s malým zvětšením, ale záhy zjistil, že celkově dalekohledy mají dvě závažné optické vady neboli aberace. Jedna z nich je chromatičnost = barevnost a druhá sférická = kulová vada. Francouz René Descartes v roce 1637 popisuje ve své práci „*La dioptrique*” právě zmiňovanou druhou vadu [1], [8].

Tato vada spočívá v tom, že bod pozorovaného předmětu leží na optické ose čočky sférického tvaru a zobrazí se ne jako bod, ale jako malá ploška. Tento obraz je tedy neostrý. Zjednodušeně tvrdil, že je to způsobeno sférickou plochou čočky. Od té doby se nesprávně říká této vadě sférická. Správným termínem je vada otvorová nebo aperturní aberace, protože roste s velikostí otvoru, kterým vstupuje světlo do optické soustavy téměř nezávisle na tvaru ploch omezujících čočky. René Descartes se mylně domníval, že vadu lze odstranit asférickým tvarem čočky, tedy volbou nekulových ploch 2. stupně - paraboloidů, elipsoidů, hyperboloidů nebo složitých Descartových ploch [1].

Newton začal přes analytickou geometrii studovat tyto plochy a pokoušel se brousit skla těchto složitých tvarů. Záhy zjistil, že touto metodou lze ovlivnit jen vadu otvorovou, nikoliv však chromatičnost, jenž byla u dalekohledů závažnější, neboť způsobuje nepříjemné barevné kontury obrazů pozorovaných předmětů. Newton měl podezření, že příčina barevné vady je v samé podstatě světla jako takového a v jeho procesu lomu. Broušení skel zanechal a přešel na pozorování světla přes hranol, kde ho fascinovala barevná spektra [1].

Po čase se Newton opět ke konstrukci dalekohledu vrátil a tyto vady odstranil tím, že vytvořil reflektor s primárním parabolickým zrcadlem. Ohnisko vyvedl rovinným zrcadlem mimo tubus dalekohledu, kde umístil okulár. Toto vede ke kuriozitě, že do dalekohledu se hledí nikoli ve směru optické osy, ale kolmo k tomuto směru pozorování. Nejtěžší bylo vytvořit vhodnou slitinu, která by měla velkou odrazivost, byla dobře leštitelná a odolávala nepřízní počasí. Zde se uplatnila jeho zručnost z dětství a alchymistické zkušenosti získané v laboratořích lékárníka Clarka v městečku Grantham. Po minimálně osmdesáti tavrách zhotovil měděné zrcadlo s příměsí arsenu a cínu. Psal se rok 1668 a byl zde první exemplář dalekohledu. Zvětšoval přibližně 38-krát, průměr objektivu byl kolem 2,5 cm o délce 15 cm, obraz měl zastřený. Newton po třech letech vylepšování zkonstruoval druhý exemplář, který zaslal Královské vědecké společnosti do Londýna. Společnost jeho dalekohled s nadšením přijala. Předvedla ho králi Karlu II. a svým přisedajícím zahraničním členům. Na základě tohoto vynálezu ho 11. ledna 1672 zvolila za svého člena [1] [8].



Obr. č. 26 Newtonův dalekohled nakreslený podle zdroje [11].

Dalekohled je tvořen tubusem. V něm se nalézají dvě zrcadla. Primární zrcadlo má parabolický tvar a je uloženo ve spodní části tubusu. Přijímá přicházející světlo a odráží ho do svého ohniska, kde je umístěno malé sekundární zrcadlo, které odráží paprsky do okuláru umístěného na boku přístroje, tedy mimo tubus. Optická soustava dvou zrcadel a okulárů způsobuje, že vzniklý obraz je převrácen stranově a pólově, což pro astronomická pozorování není k závadě.

Robertu Hookeovi (1635 - 1703) nelze odepřít objev první rostlinné buňky, kterou našel v roce 1660 v korkové vrstvě a nazval ji cellula. K jejímu objevení mu pomohl jím sestrojený, vylepšený mikroskop, který měl oddělený objektiv, okulár a osvětlovací zařízení. Nelze mu však dokázat, že vynalezl zrcadlový dalekohled v roce 1664, tedy dříve než Isaac Newton. Hooke udává, že z důvodu morové epidemie se nemohl o dalekohledu nikdo dozvědět [15].



Obr. č. 27 Newtonův dalekohled nakreslený podle zdroje [5].

3.4 Éter

V té době mělo mnoho vědců problém s přijetím Newtonových myšlenek, a proto on sám přišel s hypotézou éteru, jakožto tajemného prostředí bez hmoty a hustoty, které gravitační přenos umožňovalo. Éter proniká veškerými tělesy, směřuje stále k zemi a táhne tato tělesa za sebou [7], [36].

Newton se o éteru nezmiňuje v knize o *Optice* (1704). Ani v prvním vydání knihy *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, ale až ve druhém vydání z roku 1713. Zmínku o éteru najdeme v posledním odstavci *Obecného poučení*, skoro na samém konci knihy. Původně Newton nepřipouštěl, že by byl éter v meziplanetárním prostoru, pouze připouštěl jeho vliv na vzájemné působení těles na blízkou vzdálenost. Dále podle jeho zákona, kdy všechna tělesa se navzájem přitahují silou stejně velikou, ale opačně orientovanou, musí i éter jednoznačně mířit do ostatních těles. Je nutno podotknout, že Isaac Newton nepokládal hypotézu éteru za správnou. Vymyslí-li se jedna hypotéza, musí se učinit další a to je bez konce, proto se nadále držel své teze: „*Hypotézy nevymýšlím.*” „*Abych se však při výkladu hypotézy éteru vyhnul rozvlácnosti a nastínil vhodnou představu, budu o ní někdy mluvit tak, jako bych ji přijal a věřil v ni.*” Používá ji, ale s úplným přesvědčením nevěří, že éter existuje [7], [36].

„*Předpokládá se, že existuje jakési éterové prostředí, které má v mnohém totéž složení jako vzduch, ale je daleko více zředěné, jemné a pružné. Dosti významným argumentem pro existenci takového prostředí je i to, že pohyb kyvadla ve skleněné nádobě s odčerpaným vzduchem je téměř tak rychlý jako ve vzduchu*” [36].

Později Newton využil éteru v optice, kdy světlo se šíří éterem. Stejně tak Huygens, Hooke i Grimaldi, když každý z nich vytvářel svoji teorii světla, sahal po éteru. Huygens, který si hájil vlnovou teorii světla, nutně potřeboval prostředí, kterým se vlny šíří. Chápal, že éter přenáší světlo i gravitační síly. Nebylo možné, aby existoval světlonosný éter a gravitační éter odděleně. Jak víme, Newton odmítal vlnovou teorii, on sám viděl světlo jako částice, korpuskule. Poprvé se o éteru zmiňuje v roce 1672, při srovnání své korpuskulární teorie s teorií vlnovou, kdy napsal, že vlnění éteru je stejně užitečné a potřebné u obou. Původně se domníval, že pro šíření částic ve vesmírném prostředí není třeba éteru a že jeho korpuskulární teorie světla ho ani nepotřebuje. Jeho vlastní pokusy s pozorováním zvláštní periodické změny barev barevných kroužků v tenkém prostoru mezi vypouklou čočkou a plochou deskou ukázaly, že světlo je spojeno s jakousi periodičností. K objasnění tohoto jevu, dnes nazývaného Newtonovy kroužky, korpuskulární hypotéza nepomohla. Vycházelo mu, že v povaze světla je přeci něco vlnového. A když vlnového, nelze se bez éteru obejít [7], [36].

Podívejme se na definici éteru. Toto slovo pochází z řečtiny a vyjadřuje v dějinách filozofie a fyziky představu o nevažitelné a smyslům nedostupné substanci, jež tvoří nejjemnější součást prahmoty nebo pralátky. V řecké mytologii byly jako éter označovány nejvyšší a nejčistší vrstvy vzduchu, kde měli sídlit bohové. Nejprve se éter ztotožňoval se vzduchem nebo s ohněm, ale v době Isaaca Newtona byl vykládán jako nevažitelné prostředí, z jehož vlastností lze vykládat různé fyzikální jevy. Éter nikdo nikdy neviděl, ale učenci předpokládali, že se jedná o velmi zředěný plyn. Natolik zředěný, že nebrzdí odvěké pohyby planet, ale přitom je přitahuje k sobě navzájem, zejména ke Slunci. Proniká-li éter do jádra Země, Slunce, hvězd a planet, kondenzuje a mění se v obyčejné plyny a kapaliny. Přitom je velmi pružný, protože když přenáší světlo, pohybuje se do taktu se světelnou vlnou. Přitom je tekutý jako kapalina a olejnatý jako olej, neboť přilíná k pórům těles, aby mohla proběhnout přitažlivost [11], [36].

„Nejsou chybné všechny hypotézy, ve kterých je světlo připisováno tlaku nebo pohybu šířícímu se nějakým tekutým prostředím?“, ale o jedenáct let později v roce 1717 v druhém vydání traktátu *„Opticks“* si Newton klade osm otázek týkajících se teorie světla. Při jejich objasnění musí použít hypotézu éteru. V dalších vydáních *„Opticks“* v letech 1721 a 1730, které redigoval osobně, ponechal tyto odpovědi beze změny [36].

O sto padesát let později se ruský chemik a tvůrce chemické tabulky prvků Dmitrij Ivanovič Mendělejev (1834 - 1907) [37] zamýšlel nad chemickým složením éteru. Zprvu se domníval, že je to suma zředěných plynů v nasyceném stavu. Pokusy prováděl při nízkých tlacích. V článku *„Pokus o chemické pojetí světového éteru“* píše: *„Zdá se mi možné, že světový éter není zcela stejnorodý plyn, nýbrž směs několika plynů blízkých nasycenému stavu, to znamená, že stejně jako naše pozemská atmosféra je složen ze směsi několika plynů.“* Tyto myšlenky měly blízko k myšlenkám mladého Isaaca Newtona. Mendělejev éter umístil do nulové skupiny své tabulky prvků a dal mu název newtonium. Éter jako nositel gravitačních sil a Huygensových podélných světelných vln by mohl být plynem s rozmanitými vlastnostmi. Položme si otázku: *jak zvládá šíření příčných světelných vln, které se šíří jen v tuhých tělesech?* Toto šíření v 19. století objevil francouzský inženýr, stavitel mostů a silnic Augustin Jean Fresnel. Ten prohlásil a okamžitě svými výpočty potvrdil, že tento tuhý éter je mnohem pružnější než ocel. Tato pružnost není pozadu za dřívějším plynným éterem. Inu podle Einsteina éter je *„černou ovčí v rodině fyzikálních substancí“* [36].

Augustin Jean Fresnel byl zaujat proti Newtonově korpuskulární teorii světla. Jeho objevy a matematické dedukce, vycházející z experimentálních výsledků Thomase Younga, vedly k rozšíření vlnové teorie světla na širokou skupinu optických jevů. Roku 1817 Young vyslovil domněnku, že světlo je vlnění, které má malou příčnou složku a dominantní podélnou složku. Fresnelovi se roku 1821 podařilo matematicky ukázat, že polarizaci lze vysvětlit pouze tehdy, pokud světlo je úplně příčné, bez jakékoliv podélné složky. Podélné je zvukové vlnění. Společně s Françoisem Aragoem (budoucím premiérem) studoval zákony interference polarizovaných paprsků. Podařilo se mu získat kruhově polarizované světlo s pomocí skleněného hranolu. Dnes známé pod jménem Fresnelův hranol. Roku 1819 byl jmenován komisařem pro majáky, pro které vyvinul speciální čočku, jako náhradu za zrcadla. Ta je v dnešní době nazývána Fresnelovou čočkou. V roce 1823 byl jednomyslně zvolen členem francouzské akademie a o dva roky později se stal členem londýnské Královské společnosti. Zemřel na tuberkulózu v roce 1827 [36].

James Clerk Maxwell, který předpověděl existenci elektromagnetických vln podobných světlu, nepochopil, že samotnou svou podstatou nepotřebují žádné prostředí. Elektromagnetické jevy vysvětloval jako stavy napětí v éteru. A ani německý fyzik Heinrich Rudolf Hertz [11] (1857 - 1894), který tyto vlny objevil, také éter nezahlodil. Hendrik Antoon Lorentz [11] (1853 - 1928), který zjistil, že příčinou elektromagnetických jevů jsou elektrony, přidal éteru vlastnost nepohyblivosti. Éter byl pokládán za nositele elektromagnetického pole a za látku vyplňující absolutní prostor, avšak z hlediska Einsteinovy teorie relativity je elektromagnetické pole považováno za samostatnou realitu, která nepotřebuje žádného nositele. Einstein upozornil na to, že teorie relativity není na předpokladu existence éteru závislá [36].

Ještě poznámka k Newtonovi, ten éter využíval k popisu činnosti svalů živočichů a některých chemických jevů [36].

3.5 Astronomie

Mikuláš Koperník (1473 - 1543) v díle „*Šest knih o obězích sfér nebeských*” uvádí, že střed Země není středem světa, ale středem tíže a dráhy Měsíce. Všechny dráhy obklopují Slunce, jako by stálo v jejich středu, a proto střed světa leží poblíž Slunce. Poměr vzdálenosti Země-Slunce k výšce nebe stálíc je mnohem menší než poměr zemského poloměru ke vzdálenosti Slunce, takže tato vzdálenost je proti výšce nebe stálíc nepatrná. Všechny pohyby viditelné na nebi stálíc není reálný, tak jak je vidíme ze Země. Země se tedy otáčí s přidruženými elementy při denním pohybu jednou kolem svých pólů. Přitom zůstává nebe stálíc nepohnuté jakožto nejzazší nebe. Všechny pozorovaný pohyb Slunce nepřísluší jemu samému, nýbrž je důsledkem rotace Země a jejího pohybu po kruhové dráze kolem Slunce, který je vlastní všem planetám. A tak se Země pohybuje několikerým způsobem. Co se u planet jeví jako pohyb zpětný a pohyb vpřed, není samo sebou, neboť se tak jeví ze Země. Její pohyb sám o sobě tedy stačí k vysvětlení četných rozmanitých jevů na nebi [38].

Koperníkovi vděčíme za vztažnou soustavu spočívající v těžišti naší sluneční soustavy a orientovanou svými osami k nebi stálíc. Bez Koperníka by nebyly objeveny ani Keplerovy zákony, ani Newtonova gravitační teorie [38].

Z doby morových prázdnin a Newtonova nuceného pobytu na statku ve Woolsthorpe pochází velice známá historka, kterou ve stáří Newton potvrdil svému kolegovi (pietně nezveřejňováno do roku 1820). Bylo to tak, že jablko mu sice na hlavu nespadlo, ale při úplňku si všiml jablka na stromě a uvědomil si, že dosah zemské přitažlivosti nemá omezení. Síla udržující Měsíc na kruhové dráze kolem Země by mohla být totožná se silou působící pád jablka na Zemi. Též si uvědomil vztah mezi dostředivou silou působící na tělesa konající kruhový pohyb a třetím Keplerovým zákonem pro pohyb planet. Dostředivá síla byla již známa, neboť ji objevil Christian Huygens [1].

Došel k závěru, že těleso je přitahováno k centrálnímu tělesu silou nepřímo úměrnou druhé mocnině vzdálenosti obou těles. Provedl kontrolní výpočet a zjistil, že výsledek nesouhlasí s pozorováním, tedy tyto výpočty odložil skoro o 20 let, až do doby, kdy se upřesnila data týkající se popisu tvaru a dráhy Země [1], [8].

Newton vyšel z předpokladu, že eliptické dráhy planet se jen o málo odlišují od kruhových drah. Potom podle III. Keplerova zákona, kdy poměr druhých mocnin oběžných dob T_1 a T_2 dvou planet se rovná poměru třetích mocnin hlavních poloos r_1 a r_2 jejich trajektorií [8]:

$$\frac{r_1^3}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{T_2^2} = konst. \quad (63)$$

Vztah pro zrychlení, který Newton odvodil nezávisle od Huygense, je ve tvaru:

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \quad (64)$$

Předpokladem je to, že hmotnosti planet jsou zanedbatelné ve srovnání s hmotností Slunce ($1,9891 \times 10^{30}$ kg). Největší hmotnost (po Slunci) má ve Sluneční soustavě Jupiter ($1,899 \times 10^{27}$ kg). Jeho hmotnost je zhruba tisícina hmotnosti Slunce.

Kombinace vztahů (63) a (64) dává vztah:

$$a = \frac{k}{R^2} \quad (65)$$

kde k je konstanta úměrnosti závislá na volbě jednotek. Síla, kterou Slunce přitahuje planety, je nepřímo úměrná vzdálenosti a zmenšuje se s druhou mocninou vzdálenosti planet od Slunce [8].

Pak platí:

$$F = \frac{4\pi}{k} \cdot \frac{m}{r^2}, \quad (66)$$

kde síla F je nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti.

Jestliže zrychlení je úměrné hmotnosti bodu M , v našem případě hmotnosti Slunce, pak platí:

$$F_g = -G \frac{M m}{r^2}, \quad (67)$$

kde G je gravitační konstanta a vztah (67) nazýváme **všeobecný gravitační zákon**.

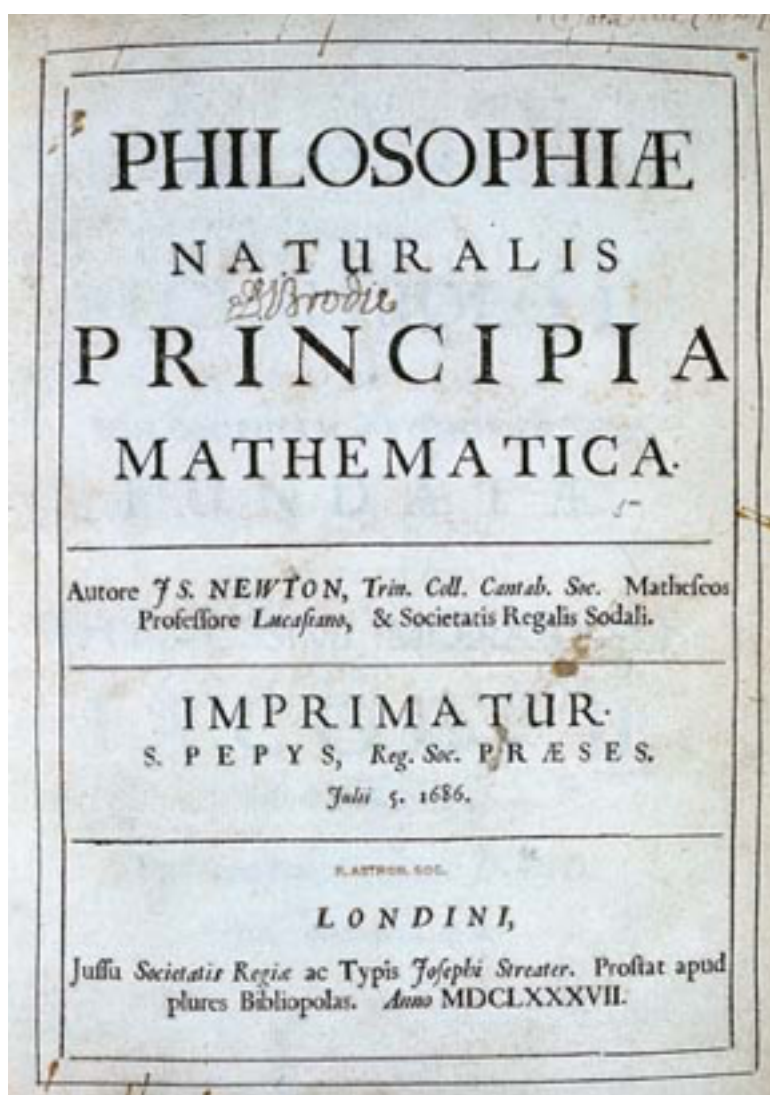
Takto Newton odvodil z Keplerových zákonů gravitační zákon. Deduktivní cestou to jde i naopak. Tedy ze vztahů (64) a (65) dostáváme III. Keplerův zákon (63) [8].

Pravděpodobně Johann Kepler a Robert Hooke tento závěr předpokládali, ale až Isaac Newton jej byl schopen zformulovat. Newton dokázal na základě tohoto zákona vypočítat tvar drah oběžnic. Nutno podotknout, že tímto zákonem odstranil protiklad mezi silami pozemskými a nebeskými a učinil tím první krok k sjednocení fyzikálních interakcí [15].

Robert Hooke se také zajímal o gravitaci, ale nežli by hledal důsledky jejího působení, tak hledal příčiny jejího vzniku. Podle Hooka vyvolávají gravitaci milióny záchvěvů uvnitř éteru a uvnitř velkých těles. Hook údajně přišel čistě intuitivně na některé myšlenky ohledně gravitace, ale byl si vědom, že je nedokáže matematicky zpracovat. Obrátil proto s prosbou na Newtona. Když vyšla kniha *Principia*, uznal Hooke Newtonovo autorství, ale mrzelo ho, že se o něm nezmínil někde v úvodu nebo v poznámce pod čarou [15].

4. Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica

5. července 1687 Newton vydal knihu „*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*” v překladu „*Matematické základy přírodní filosofie*”, knihu, která neměla ve světě předchůdce. Dříve existovala pouze statika, kinematika a jen pár poznatků z dynamiky od Galileo Galileia, Reného Descarta a Christiaana Huygense. Newton zde podává soustavný a na svou dobu úplný systém dynamiky hmotných bodů, tuhých těles a tekutin, tedy kapalin a plynů. Je zde nepřeberně velké množství vlastních, úplně nových výsledků položených na důkladnějším matematickém aparátu. „*Principia*” obsahující pohybové zákony, které tvoří základ klasické mechaniky, dále pak zákon univerzální gravitace, který je odvozen z Keplerových zákonů. V této knize poprvé veřejně zazněl pojem gravitace a byla i objasněna představa tohoto pojmu. Je však nutno podotknout, že o gravitaci mluvil už několik let a řada věcí vydaných v této knize byla dobře zpracována v rukopisech. O některých pokusech přednášel na zasedáních Royal Society. „*Principia*” jsou právem považována za jedno z nejvýznamnějších děl v historii vědy [1], [7].



Obr. č. 28 Titulní strana *Principia*. Zdroj [5].

Na začátku knihy jsou oslavné básně na Newtona. První svazek obsahuje mechaniku bodů a tuhého tělesa. Ve druhém svazku je hydromechanika. Ve třetím mechanický a astronomický obraz kosmu bez složitého matematického aparátu, neboť tento díl byl určen širším vrstvám publika a byla zde formována mechanistická a materialistická filosofie, ač sám Newton byl jejím odpůrcem [1].

S vydáním knihy *Principia* Newton značnou dobu otálel, až na popud a finanční náklady jeho dobrého přítele Edmunda Halleye knihu vydal. Věc se měla takto. V lednu 1684 architekt Sir Christopher Wren (1632 - 1723) ze žertu vypsál cenu pro své přátele, kdo vyřeší souvislost mezi tíží a tvarem planetárních drah. Robert Hooke prováděl pokusy s tíží v různých výškách do několika set metrů a tvrdil, že už problém vyřešil a řešení nikomu nedá, aby se i jiní snažili. Halley neváhal a zajel v srpnu na Trinity College za Newtonem s otázkou, jaký tvar by měly mít dráhy planet, kdyby se pohybovaly v prostoru, kde přitažlivosti ubývá s druhou mocninou vzdálenosti od centrálního tělesa. Řešením by přece měly být Keplerovy elipsy. Newton však Halleyovi pravil, že jsou to kuželosečky, tedy kromě elipsy i paraboly a hyperboly, protože to již vypočítal. Halley rychle pochopil, že je to řešení celého problému, a požádal o onen výpočet. Newton ho nemohl nalézt, ale během pár dní jej zopakoval, doplnil obecnější teorií a v listopadu zaslal do Londýna Halleyovi. Ten opětovně vyzval Newtona k zveřejnění jeho principů pohybu. Tak v roce 1684 vzniklo devět Newtonových přednášek „*De motu corporum in gyrum*” - „*Pohyb těles v oběžné dráze*”. Královská společnost vyzvala Newtona ke knižnímu vydání s tím, že uskuteční jeho důstojnou latinskou edici. S veškerým vypětím svých sil Newton pracoval na tomto díle, prakticky nespál a nejedl, zapomínal i na přednášky. Až na přelomu roku 1684-85 přišel se spisem „*Propositiones de motu*” - „*Téze o pohybu*”. Tento spis se stal o rok později jádrem prvního ze tří svazků *Principií*. Všechny tři svazky byly Královské vědecké společnosti předloženy 28. dubna 1686. Ta však neměla tolik prostředků, aby mohla velkolepé dílo vydat, proto iniciátor Halley, byť nebyl žádným boháčem, dané dílo v množství přibližně 300 kusů nechal vydat. Dílo se rozlétlo do celého světa, ale prý se našlo jenom pár moudrých hlav, které daným problémům rozuměly [1], [45].

Historičtí vědci se zamýšleli nad tím, proč Newton otálel s vydáním tak velkolepého díla a udávají tři důvody. Za prvé - Isaac Newton si byl vědom závažností problémů a nic nechtěl uspěchat. Za druhé - byl dlouho velmi vnitřně nejistý a bál se nepochopení nebo záporné kritiky svých současníků, kterým by musel čelit. Což zažil v optice a dále pak i s gravitačním zákonem. Třetí, ale málo pravděpodobnou domněnkou je náboženství. Newton byl věřící člověk, ale víme, že Evropou otřásaly zásahy inkvizice. Vždyť je to necelých devadesát let, co byl italský dominikán, filozof a astronom Giordano Bruno [11] v Římě upálen za své myšlenky, že Země dokonce ani Slunce nejsou středem vesmíru a že vesmír je nekonečný [7].

Zajímavostí je, že u každého Newtonova díla máme zpravidla různé verze autorských rukopisů s velkým množstvím oprav, škrtnů a změn. V díle *Principia* tomu tak není. Newtonův rukopis zde neexistuje, vše zapisoval podle jeho diktátu asistent jménem Humphrey Newton a prakticky bez oprav a chyb. Je to velice zajímavé a skoro až zarážející, protože např. takové dílo *Opticks* má zejména první dva rukopisy velice komplikované. Za Newtonova života vyšla *Principia* celkem třikrát, poprvé, jak již bylo zmíněno 5. července 1687, podruhé v roce 1713. Potřetí v částečně pozměněném a upraveném vydání, kde Newton vynechal jména vědců, s kterými se kdy dostal do sporu, v roce 1726 [1].

Jak bylo zmíněno, kniha měly velký ohlas v celém světě. Např. v Čechách Josef Stepling (1716 - 1778) odmítl přednášet na pražské univerzitě zastaralou aristotelovskou filosofii, dával přednost Newtonově fyzice a na jeho podnět jeho žák Jan Tesánek [46] (1728 - 1788) vydal v roce 1780 první díl *Principia* a v roce 1785 pak druhý díl a obě vydání byla doplněna obsáhlými komentáři. Rukopis třetího dílu, na kterém Tesánek pracoval až do své smrti, zůstal v pozůstalosti, z které se bohužel ztratil. Vydán stejně být nemohl, neboť obsahoval zobecněný a zpřesněný Koperníkův obraz vesmíru a ten byl na indexu římského svatého officia. Jan Tesánek získal díky této práci v Čechách přezdívku *komentátor velkého Newtona* a v cizině mu říkali *český Newton*. Pro české vědce byly Tesánkovy práce těžko srozumitelné, ale v zahraničí byl značně uznáván. Např. v Lipsku ho zvolili v roce 1778 za člena vědecké společnosti. Toto období [21] je průlomové pro českou vědu, neboť po letech temna nastupuje pokrok [1].

Zhruba o sto let později, v letech 1772 a 1788, přepsal část knihy, která se zabývá mechanikou a doplnil novými matematickými poznatky (za použití Lagrangeových rovnic prvního a druhého druhu, Lagrangeových multiplikátorů a diferenciálních rovnic) italsko-francouzský matematik a astronom Joseph Louis Lagrange [11] (1736 - 1813). Kniha nese název „*Lagrangian mechanics*” [7].

Isaac Newton je uznáván v Paříži. Je to zejména zásluhou velkého filozofa Voltaira (1694 - 1778): „*Na světě existuje jistý čertovský chlapík jménem Newton, který zjistil, kolik váží Slunce a jaké barvy jsou jeho paprsky, z nichž se skládá světlo. Tenhle člověk mi úplně zamotal hlavu.*” Však Voltaire ví, o čem mluví. Na několik let se uchýlil na venkov a přezkoumával Newtonovy pokusy a práce. Posléze jeho vzdělaná přítelkyně Gabrielle Émilie du Châtelet přeložila Newtonovo dílo do francouzštiny. „*V Paříži se maluje Země na pólech podlouhlá, v Londýně je zploštělá jako meloun. U karteziánů se vše děje tlakem, což se ostatním nechce zdát příliš jasným, u newtoniánců je ale vše založeno na přitahování, což není příliš jasnější. V Paříži je to tlak Měsíce, který vyvolává příliv a odliv moře, v Anglii je to naopak moře, které gravituje směrem k Měsíci, takže žádají-li Pařížané na Měsíci právě vysokou vodu, pánové v Londýně chtějí mít v téže době odliv. V Paříži je vidět vesmír zaplněný samými éterovými víry, zatímco zde provozují v témž prostoru své hry neviditelné síly,*” stručně Voltaire prohlásil o vědeckém dění, které hýbalo Evropou [1].

Závěr

Téma, týkající se života a díla Isaaca Newtona, je velice rozsáhlé. V této práci jsem tak nemohla přiblížit všechny jeho vědecké aktivity a objevy. V oblasti matematiky je zde nastíněna problematika fluentů a fluxí a s tím spojený spor o prvenství s Leibnizem. U Newtonova interpolačního polynomu jsem uvedla konkrétní příklad řešení, jak ze získaných dat vytvoříme příslušný interpolační polynom. Stejně tak u nelineárního řešení rovnic Newtonovou metodou tečen je uveden i praktický příklad.

Z Newtonových současníků v oblasti klasické mechaniky jsem se nejvíce zaměřila na Descarta, Huygense, a také na nepříliš známého českého učence Jana Marka Marciho. Porovnála jsem jejich přístupy při řešení problému srážky dvou těles a pohybu tělesa po nakloněné rovině. V práci je také stručné odvození zákona zachování plošné rychlosti v poli centrálních sil geometrickým způsobem, pomocí elementárních trojúhelníků, které Newton použil, když se na něj Halley obrátil s prosbou o řešení souvislosti mezi tíží a tvarem planetárních drah. V oblasti optiky nešlo zapomenout na vynález a konstrukci zrcadlového dalekohledu a na Newtonovu korpuskulární koncepci světla a s tím související pozdější Goethovu polemiku ohledně vzniku barev. Zmínka je i o studii paobrazu a synestézie. Z astronomie je proveden pouze rozbor gravitačního zákona a jeho motivační odvození z 3. Keplerova zákona. Podtéma *Měsíc v gravitačním poli Země* se mi nepodařilo uceleně zpracovat a tak jej v této práci nakonec neuvádím. Naproti tomu případ Newtonova vědra v souvislosti s Newtonovou koncepcí absolutního prostoru jsem nezpracovávala kvůli existenci velice zdařilé prezentace na internetových stránkách.

Při psaní práce jsem kromě zdrojů na internetu využívala zejména těchto knih: Malíšek: „*Isaac Newton*“, Pleskotová: „*Svět barev*“, Mareš: „*Příběhy matematiky*“ a Zajac: „*Historické pramene súčasnej fyziky*“. Čtenář má tak možnost doplnit si z těchto publikací některá fakta, na která v této práci nezbylo místo.

Čtenáři se omlouvám za ne zcela zdařilou formu vzorečků. Jde o nedostatek textového editoru, který jsem při psaní práce používala.

Práce je rovněž zpracována jako prezentace k přednáškám dějin fyziky či mechaniky na webových stránkách: <http://lenka.sedlce.cz>. Webové stránky jsem vytvořila v prostředí redakčního systému Wordpress.

Literatura

- [1] Malíšek Vl.: Isaac Newton - zakladatel teoretické fyziky. Praha: Prometheus 1999
- [6] Pleskotová P.: Svět barev. Praha: Albatros 1987
- [7] Mareš M.: Příběhy matematiky. Příbram: Pistorius & Olšanská, s.r.o. 2008
- [8] Zajac R., Šebesta J.: Historické pramene súčasnej fyziky 1. Bratislava: ALFA 1990
- [11] Kolektiv autorů Encyklopedického institutu ČSAV: Malá československá encyklopedie, I. - VI. svazek. Praha: ACADEMIA 1984 - 1987
- [15] František Jáchim, Časopis Rozhledy matematicko - fyzikální (ISSN 0035-9343), Ročník 81 (2006), číslo 4 článek Dva géniové, kteří se neměli rádi
- [23] Kolektiv autorů: Ilustrované dějiny světa. Praha: Svojtka & Co. 2003
- [26] Kolektiv autorů: Dějiny českých zemí v obrazech od pravěku po současnost. Praha: Albatros 1985
- [27] Štoll I.: Jan Marek Marci. Praha: Prometheus 1996
- [29] Rektorys K.: Přehled užití matematiky I. Praha: Prometheus 2000
- [36] Radunská I.: Cesty za poznáním. Praha: Albatros 1987
- [39] Kolektiv autorů: Pozvánka do vesmíru, Praha: Albatros 1985
- [43] Vanýsek Vl.: Základy astronomie a astrofyziky. Praha: ACADEMIA 1980

Internetové zdroje

- [2] <https://mapy.cz/zakladni?planovani-trasy&x=14.4631000&y=48.8305020&z=11>, dne 19.2.2016
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton, dne 13.10.2015
- [4] <https://en.wikipedia.org/wiki/Sizar>, dne 24.2.2016
- [5] <http://www.britannica.com/biography/Isaac-Newton>, dne 1.3.2016
- [9] <http://www.britannica.com/biography/Isaac-Barrow>, dne 1.3.2016
- [10] https://cs.wikipedia.org/wiki/Lukasiánský_profesor_matematiky, dne 4.4.2016
- [12] <http://www.zas.cz/download/newton-predn.pdf>, dne 7.4.2016
- [13] https://cs.wikipedia.org/wiki/Christopher_Wren, dne 5.4.2016
- [14] https://cs.wikipedia.org/wiki/John_Wallis, dne 5.4.2016
- [16] https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Montagu,_1st_Earl_of_Halifax, dne 6.4.2016
- [17] <http://www.irz.cz/node/88>, dne 6.4.2016
- [18] https://en.wikipedia.org/wiki/Georgius_Agricola, dne 6.4.2016
- [19] https://cs.wikipedia.org/wiki/Gulliverovy_cesty, dne 7.4.2016
- [20] <http://www.dejepis.com/ucebnice/anglicka-revoluce/>, dne 17.6.2015
- [21] <http://www.dejepis.com/ucebnice/veda-v-ranem-novoveku/>, dne 12.7.2015
- [22] https://en.wikipedia.org/wiki/Royal_Observatory,_Greenwich, dne 28.2.2016
- [24] <http://www.dejepis.com/ucebnice/tricetileta-valka/>, dne 17.6.2015
- [25] https://cs.wikipedia.org/wiki/Pierre_de_Fermat, dne 1.3.2016
- [28] <http://casopis.vesmir.cz/clanek/jan-marek-marci-z-lanskrouna>, dne 28.2.2016
- [30] <http://www.zas.cz/download/newton-predn.pdf>, dne 7.4.2016
- [31] https://en.wikipedia.org/wiki/Gottfried_Wilhelm_Leibniz, dne 25.3.2016
- [32] <http://www.slu.cz/math/cz/knihovna/ucebni-texty/Numericke-metody/Numericke-metody.pdf>, dne 14.4.2016
- [33] https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Hooke, dne 25.3.2016
- [34] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/545-teorie-trojbarevneho-videni>, dne 19.12.2015

- [35] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Synestezie>, dne 20.1.2016
- [37] https://ru.wikipedia.org/wiki/Менделеев,_Дмитрий_Иванович, dne 21.3.2016
- [38] <http://www.converter.cz/fyzici/kopernik.htm>, dne 30.1.2016
- [40] <http://www.royalobservatorygreenwich.org/articles.php?article=916>, dne 27.4.2016
- [41] https://en.wikipedia.org/wiki/Trinity_College,_Cambridge, dne 24.4.2016
- [42] <http://rsl.royalsocietypublishing.org>, dne 24.4.2016
- [44] https://www.google.cz/search?q=jan+marek+marci&client=safari&rls=en&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj-7P6wg6nMAhUDHxoKHZmkAfEQ_AUIBygB&biw=1200&bih=618, dne 25.4.2016
- [45] https://en.wikipedia.org/wiki/Philosophiæ_Naturalis_Principia_Mathematica, dne 15.3.2016
- [46] https://cs.wikipedia.org/wiki/Jan_Tesánek, dne 5.4.2016