

UNIVERZITA HRADEC KRÁLOVÉ

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyziky

**VÝZNAMNÉ HISTORICKÉ
EXPERIMENTY JAKO MOTIVACE
VE VÝUCE FYZIKY**

Diplomová práce

Autor: Bc. Anežka Veselá
Studijní program: N1701 – Fyzika
Studijní obory: Učitelství fyziky pro střední školy
Učitelství matematiky pro střední školy
Vedoucí práce: RNDr. Michaela Křížová, Ph.D.

Hradec Králové

2017

UNIVERZITA HRADEC KRÁLOVÉ

Přírodovědecká fakulta

Zadání diplomové práce

Autor:	Bc. Anežka Veselá
Studijní program:	N1701 – Fyzika
Studijní obor:	Učitelství fyziky pro střední školy, Učitelství matematiky pro střední školy
Název práce:	Významné historické experimenty jako motivace ve výuce fyziky
Název práce v AJ:	Significant historical experiments as motivation in teaching physics.
Cíl a metody práce:	Cílem diplomové práce je ukázat, jak je možné využít materiály z historie fyziky a techniky jako motivaci při výuce fyziky. V teoretické části bude pojednáno o motivaci a roli experimentů ve výuce fyziky a bude uveden přehled významných osobností fyziky 16. a 17. století, které uskutečnily objevy a experimenty důležité pro rozvoj této vědy. V praktické části pak budou podrobně uvedeny návody na historické experimenty proveditelné v současné době s novými pomůckami. Přínos vybraných fyziků bude poté zpracován ve formě přehledného plakátu, který bude možné využít při výuce fyziky.
Garantující pracoviště:	Katedra fyziky PřF UHK
Vedoucí práce:	RNDr. Michaela Křížová, Ph.D.
Oponent:	prof. Ing. Bohumil Vybíral, CSc.
Datum zadání práce:	2016
Datum odevzdání práce:	2017

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně, a že jsem v seznamu použité literatury uvedla všechny prameny, ze kterých jsem vycházela.

V Hradci Králové dne

.....

podpis

Poděkování

Děkuji vedoucí diplomové práce, paní RNDr. Michaelle Křížové, Ph.D., za trpělivost, spolupráci a čas, který mi věnovala při konzultacích, a především za cenné rady a připomínky.

Dále děkuji prof. Ing. Bohumilu Vybíralovi, CSc. za vstřícnost, cenné připomínky a poskytnutou literaturu.

Anotace:

VESELÁ, Anežka. *Významné historické experimenty jako motivace ve výuce fyziky*. Hradec Králové, 2017. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové. Vedoucí diplomové práce Michaela Křížová. 115 s.

Diplomová práce předkládá přehled významných osobností fyziky, které uskutečnily objevy a experimenty důležité pro rozvoj této vědy. Nejprve jsou uvedeny základní informace z života fyzika a poté jsou v práci popsány jeho neznámější experimenty. Dále práce porovnává, jak byl experiment prováděn v historii a jak jej může využít pro výuku dnešní učitel fyziky. Dává také návod na jejich provedení a zařazení do výuky. Přínos vybraných fyziků je poté zpracován ve formě přehledného plakátu.

Klíčová slova: fyzika, demonstrace, experiment, motivace, historie fyziky

Annotation:

VESELÁ, Anežka. *Significant historical experiments as motivation in teaching physics*. Hradec Králové, 2017. Diploma Thesis at Faculty of Science University of Hradec Králové. Thesis Supervisor Michaela Křížová. 115 p.

This diploma thesis presents an overview of important personalities of physics who made discoveries and experiments important for the development of this science. First, the basic information from the life of physics is presented, and then the best known experiments are described. In addition, the work compares how the experiment was conducted in history and how it can be used by the teacher of physics today. It also gives instructions on how to make and place them in education. The contribution of selected physicists is then processed in the form of a transparent poster.

Key words: physics, demonstration, experiment, motivation, history of physics

Obsah

ÚVOD	9
1 MOTIVACE.....	11
1.1. MOTIVAČNÍ FAKTORY	11
2 EXPERIMENT	14
2.1. VĚDECKÝ EXPERIMENT	14
2.2. EXPERIMENT JAKO METODA VÝUKY FYZIKY.....	15
3 VÝZNAMNÉ OSOBNOSTI KLASICKÉ FYZIKY	22
3.1. GALILEO GALILEI (1564–1642).....	23
3.2. JOHANNES KEPLER (1571–1630)	28
3.3. JAN MARCUS MARCI (1595–1667).....	31
3.4. EVANGELISTA TORRICELLI (1608–1647)	33
3.5. BLAISE PASCAL (1623–1662).....	35
3.6. ROBERT BOYLE (1627–1691).....	37
3.7. CHRISTIAAN HUYGENS (1629–1695).....	39
3.8. ROBERT HOOKE (1635–1703).....	43
3.9. ISAAC NEWTON (1642–1727).....	45
3.10. PROKOP DIVIŠ (1698–1765).....	49
4 HISTORICKÉ POKUSY V SOUČASNÉ ŠKOLE	52
4.1. GALILEŮV PADOSTROJ.....	52
4.2. GALILEO GALILEI A KYVADLO	55
4.3. GALILEŮV TERMOSKOP.....	56
4.4. GALILEŮV DALEKOHLED	58
4.5. KEPLERŮV DALEKOHLED	59
4.6. KEPLEROVA CAMERA OBSCURA	60
4.7. MARCIOHO KYVADLO PRO MĚŘENÍ TĚPU	61
4.8. MARCIOHO RÁZY	63
4.9. MARCIOHO EXPERIMENTY Z OPTIKY	66
4.10. TORRICELLIHO ZÁKON: VÝTOK KAPALINY Z NÁDOBY	69
4.11. TORRICELLIHO POKUS	70
4.12. PASCALŮV ZÁKON	72
4.13. PASCALOVA HYDRAULICKÁ ZAŘÍZENÍ.....	73
4.14. PASCALŮV POKUS S DŘEVĚNÝM SUDEM	74
4.15. BOYLOVA VÝVĚVA	75
4.16. MAGDEBURSKÉ POLOKOULE OTTO VON GUERICKA.....	78
4.17. KYVADLOVÉ HODINY CHRISTIAANA HUYGENSE.....	80
4.18. HOOKEOVY PRUŽNÉ DEFORMACE	80
4.19. HOOKŮV HUSTOMĚŘ	81
4.20. NEWTONOVY ZÁKONY.....	82
4.21. NEWTONOVA TRUBICE	84
4.22. NEWTONOVA SKLA.....	84

4.23.	NEWTONOVA SPEKTRA.....	85
4.24.	DIVIŠŮV POVĚTRNOSTNÍ STROJ	88
4.25.	POKUSY Z ELEKTROSTATIKY	89
4.26.	REFLEXE Z PRAXE	91
ZÁVĚR.....		94
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ		95
SEZNAM OBRÁZKŮ		102
PŘÍLOHA		105

Úvod

V současné době nepatří fyzika mezi oblíbené školní předměty, přestože s jejími technickými aplikacemi se dennodenně setkáváme a bez nich si už život nedokážeme představit. U řady lidí tato nepřízeň pochází již ze školy, kde jim možná byly základy fyziky vykládány příliš nezajímavě. Kromě toho znalost fyziky, potažmo úzce související matematiky, vyžaduje úsilí a pochopení, díky čemuž je i předmětem, ze kterého mají lidé strach. Přesto je fyzika a její dějiny, stejně jako jiné vědy, nedílnou součástí lidské kultury.

A tak je třeba hledat cesty ke zlepšení tohoto trendu. Důležitou součástí výuky je správná motivace, aby fyzika žáky bavila. Tato diplomová práce se proto zabývá využitím různých materiálů z historie fyziky a techniky právě jako motivačního prvku. Téma historie fyziky je velmi obsáhlé a není mu v současné školské fyzice věnována pozornost, kterou si zaslouží.

V teoretické části práce pojednává o motivaci a roli experimentů ve výuce fyziky a uvádí přehled významných osobností fyziky 16. až 18. století, které uskutečnily objevy a experimenty důležité pro rozvoj této vědy. Dějiny fyziky totiž ukazují mimo jiné fyziku jako lidskou vědu – výsledek práce konkrétních lidí, seznamují žáky s celým procesem vzniku nových poznatků, ne pouze s výsledkem poznávacího procesu a nabízejí mnoho zajímavých námětů pro práci se žáky – od řešení netradičních fyzikálních úloh po realizaci experimentů.

Výsledkem praktické části diplomové práce je zpracování experimentů spojených s vybranými osobnostmi fyziky. U jednotlivých pokusů jsou uvedeny potřebné pomůcky, případně postup, jak si je vyrobit. Postupy a poznámky k výrobě jsou podloženy osobní zkušeností autorky při výrobě didaktických prostředků a provedení experimentu během výuky na čtyřletém a osmiletém gymnáziu. Dále je naznačeno vhodné zařazení konkrétního experimentu do vyučování.

Dalším výstupem jsou přehledné plakáty zobrazující nejvýznamnější výsledky vybraných fyziků a důležité životní mezníky, doplněné obrázky a fotografiemi. Jejich

objevy jsou totiž často spojeny se zajímavými životními peripetemi. Cožpak lze poznávat literaturu a díla umělců bez znalosti jejich osobních osudů? Stejně tak by to mělo být i s osobnostmi na poli fyziky a všech ostatních oborů.

1 Motivace

Motivovanost žáků k učení je důležitá pro výuku všech předmětů, tím spíše u předmětů méně oblíbených. Pojem motivace souhrnně označuje motivy a jejich působení a zkoumá jej obecná psychologie. Slovo motiv pochází z latinského motus, což znamená pohyb. Motiv se proto definuje jako faktor uvádějící do pohybu, a to jak fyzického, tak duševního. Pud či potřeba vyjadřují biologickou stránku motivu, zatímco pojmy jako přání nebo postoj zdůrazňují tu prožitkovou.

Ve škole se motivace definuje jako odhodlání žáka učit se a je jedním z nejdůležitějších faktorů jeho výkonu. Motivovanost žáka ovlivňuje nejen jeho zájem a náladu, ale také únavu a uchování učiva v paměti. Žákova motivace k učení není vrozená, ale naučená, a tudíž ji lze vyučovat. Některé faktory ovlivňující motivaci ovlivnit nelze, patří k nim například rodina, prostředí či zkušenosti. Existuje však řada metod, jak lze motivaci žáka zvýšit. [1], [2]

1.1. Motivační faktory

Mezi faktory, které může učitel ve svých hodinách regulovat, patří průvodní pocity, míra nejistoty ohledně výsledku, úspěch nebo zájem o učivo. Průvodní pocity během vyučování mohou být příjemné, nepříjemné či neutrální. Zdravý rozum nám říká, že příjemné prostředí (výzdoba třídy, pohodlí, pochvaly, ocenění snahy apod.) zvyšuje pravděpodobnost dosažení úspěchu. Větší úsilí mohou u žáků vyvolat i nepříjemné pocity (hrozba zkoušení, úkolu, nevhodné prostředí, přetopená místnost apod.), které však z dlouhodobějšího hlediska mohou mít nežádoucí vedlejší účinky (příště se žák může podobné situaci nebo tématu snažit vyhnout). Při používání nepříjemných průvodních pocitů bychom se měli po zlepšení výkonu žáka vrátit k příjemným.

Míra nejistoty dosažení výsledku v učení by neměla být ani příliš vysoko, ani příliš nízko. Určitá úroveň nervozity je žádoucí a potřebná k tomu, aby žák vyvinul určité úsilí se něco naučit. Na druhou stranu nesmí překračovat hranici, kdy by žák veškerou energii spotřeboval na zvládnutí starostí.

Pocit úspěšnosti je faktorem zvyšujícím motivaci žáků a je možné jej dosáhnout, jestliže vynaložíme úsilí a cítíme určitou míru nejistoty z výsledku. Úspěch žáka závisí na jeho vlastní pili a schopnosti, na které učitel vliv nemá. Může však ovlivnit úroveň obtížnosti učiva, přizpůsobit ji konkrétní situaci, a také vlastní pedagogické dovednosti. „Laťka“ by měla být dostatečně nízko, aby byl žák motivován k pokusu ji přeskocit, ale zároveň dostatečně vysoko, aby si nebyl úplně jistý, že to zvládne. Při úspěšném zdolání jedné úrovně se žák posunuje na vyšší a roste jeho sebevědomí. Tento postup by měl probíhat co nejrychleji, proto by se žák měl své výsledky dozvědět bezprostředně, případně co nejrychleji po výkonu. Žák bude díky tomu pozitivně motivován pro další práci. Stejně tak jako úspěch zvýší motivaci i sebevědomí jedince, tak neúspěch vede ke snížení sebedůvěry, větší nespokojenosti a zhoršují se výsledky. Předejít tomuto nežádoucímu jevu učitel může dodržováním několika zásad. Žáci mají přesné zadání práce a vědí, že mohou učitele požádat o pomoc. Některé úkoly musí být splnitelné pro každého žáka, jiné zaměstnat ty nejschopnější. Učitel by měl dostatečně oceňovat a chválit žáky, jestliže dosáhnou při učení jakéhokoli úspěchu.

Zájem o předmět také prokazatelně ovlivňuje žákovu snahu učit se. Zvyšovat jej lze několika způsoby. Například projevením zájmu o svůj obor, „zapálený“ učitel může své žáky snadno inspirovat. Jedním z nich je také přiblížení učiva k životu žáka, použitím jeho jména, předmětu jeho zájmu, příkladů ze života třídy, poukázáním na spojitost se skutečným světem apod. Dalším způsobem je zdůraznění originality nebo odlišnosti probíraného učiva od předchozí nebo problémové úlohy. Pozornost žáků se zvýší také jejich aktivním zapojením do výuky (referáty, projekty), obměňováním činnosti žáků, a neobvyklými úkoly.

Uvedené motivační faktory jsou většinou pouze krátkodobé, v období dětství a dospívání jsou však silnější než dlouhodobé. Jako dlouhodobý motivační faktor lze označit využití učiva v praxi či snahu dosáhnout určité kvalifikace. Pokud žák nevidí při vyučování přímé využití učiva, ztrácí motivaci ke studiu. Smysluplnost učení lze zvýšit učební praxí, exkurzemi nebo návštěvami odborníků ve vyučování. Získání kvalifikace pro výkon budoucího povolání nebo k postupu do další etapy vzdělávání je také

dlouhodobým cílem. Může však motivovat k práci i během roku, je-li tato práce například součástí závěrečného hodnocení. [2], [3]

Právě zájem o fyziku je třeba zvyšovat, neboť oblíbenost tohoto předmětu podle mezinárodního průzkumu TIMSS 2007, který kromě jiného porovnával oblíbenost matematiky a dalších přírodovědných předmětů u žáků 8. tříd základních škol, klesá. I proto je cílem této diplomové práce poskytnout učitelům fyziky návody na motivační experimenty spojené s historií fyziky. [4]

Vnitřní a vnější motivace

Vnitřní motivace je žákova vlastní touha a zájem učit se. Pokud je vnitřně motivován, pak je jeho hlavním cílem uspokojení z učení. Takových však není mnoho, většina žáků potřebuje motivovat z vnějšku (známka, ocenění, získání znalostí, pochvala, splnění úkolu). Oba druhy motivace jsou efektivní, ale vnitřní motivace je stálým stimulem, zatímco vnější má krátkodobější efekt a po dosažení výsledku obvykle úsilí ustává. [2]

2 Experiment

Zájem o fyziku a motivaci ke studiu tohoto předmětu ovlivňuje vyučující. Kromě jiných možností může využít ke zvýšení zájmu žáků právě experimenty. V této kapitole se zabýváme nejprve experimentem jako vědeckou metodou a následně experimenty ve školní praxi.

2.1. Vědecký experiment

Reálné děje jsou zpravidla velmi složité a svět kolem nás můžeme poznávat dvojitou metodou. První z nich je pozorování a druhá experiment. Při pozorování je pozorovatel oddělen od pozorovaného děje a nezasahuje do něj. Nezbytným předpokladem pro rozvoj fyziky však byly právě experimenty, které jsou ovlivněny člověkem, který je provádí za určitých podmínek. Od dob Aristotela byly proto experimenty považovány za něco zcela nepřipustného, a prováděny byly spíše ojediněle (například Archimedeem). Až v renesanci došlo k jejich opětovnému rozkvětu.

Fyzikální experiment neboli pokus je vědecká poznávací metoda, kdy se uměle navozují děje za předem stanovených podmínek tak, aby bylo možné je opakovat za stejných nebo vhodně obměněných podmínek. Samotnému experimentu předchází teoretická hypotéza či zákonitost a daný pokus je prováděn s cílem ji potvrdit nebo vyvrátit. Součástí teoretické přípravy je také předvídání průběhu a výsledků.

Již při navrhování experimentu musí mít fyzik jistou představu, jak děj probíhá. Tedy vytváří hypotézu, kterou experiment buď potvrdí nebo vyvrátí. V průběhu pokusu má zásadní význam objektivní měření vzájemných závislostí fyzikálních veličin. Výsledky získané experimentem obvykle formulujeme jako fyzikální zákon, často popsany matematickým modelem, a jejich správnost ověřujeme dalšími pokusy. Měření fyzikálních veličin je nutné opakovat a statisticky určit přesnost měření.

Fyzikální věda rozlišuje dva druhy experimentů podle účelu, ke kterému slouží. Pomocí *objevného (heuristického) experimentu* lze nalézt dosud neznámou zákonitost. *Ověřovací (verifikační) experiment* má ověřit platnost fyzikálního zákona, který byl již

objeven nebo zjistit meze platnosti zákona za jiných podmínek. Z jiného hlediska lze experimenty dělit na *kvalitativní*, prokazující existenci či neexistenci jevu, a *kvantitativní*, který slouží k nalezení fyzikálních zákonitostí a formulování fyzikálních zákonů a teorií.

Dále lze rozlišovat *experimenty reálné*, při nichž pozorujeme reálně probíhající fyzikální děje a fyzikální veličiny měříme reálnými přístroji v reálném čase, a *experimenty myšlenkové*, které probíhají v podobě úvah a logických výroků. Postup a výsledky myšlenkového pokusu se dedukují za idealizovaných podmínek ze známých zákonů. Podobně se uskutečňují *počítačové experimenty* a *simulace*, které umožňují vytvořit fyzikální obraz světa ve složitých a mezních situacích, jež by byly pomocí reálných experimentů těžko uskutečnitelné. Tato práce se orientuje právě na pokusy reálné. [5], [6], [7]

2.2. Experiment jako metoda výuky fyziky

Jak ve vědě, tak i ve škole, je experiment významným prostředkem získávání nových poznatků. Metody vyučování fyziky jsou rozmanité a odborná literatura nabízí různé způsoby jejich klasifikace. Podle toho, zda experiment koná učitel nebo žáci, jej lze zařadit do názorně-demonstračních nebo praktických metod.

Školní pokusy mají oproti těm vědeckým navíc didaktickou funkci a můžou být i významným motivačním prvkem. V této kapitole se budeme zabývat rozdělením experimentů prováděných ve škole podle různých hledisek a jejich popisem.

Demonstrační a frontální pokusy, laboratorní úlohy

Demonstrační pokus slouží žákům jako doplnění výkladu nebo k objevení, objasnění či ověření nových fyzikálních poznatků. Jak uvádí Emil Kašpar [8], nemusí být prováděn pouze učitelem, jako demonstrační může sloužit jakýkoli experiment sloužící k výkladu učiva, například i frontální pokusy prováděné žáky. Svoboda a Kolářová [5] rozdělují školní pokusy na *demonstrační*, prováděné učitelem, a *žákovské*, konané žákem nebo skupinou žáků během vyučování nebo jako součást domácí přípravy.

Termín *demonstrace* někdy také označuje demonstrační pokus, má však i další významy. Demonstrací může být například statický model, nebo vzorek nějaké látky, či jiná pomůcka, kterou učitel žákům ukáže, aniž by docházelo k fyzikálnímu měření. Dále lze jako demonstraci pojmenovat promítání videa, poslech audio nahrávky nebo ukázka jiných grafických materiálů za použití didaktické techniky (nástěnné obrazy, fotografie, grafy, nákresy apod.).

Individuální žákovský pokus provádí jeden žák, například pokud prezentuje činnost vlastního výrobku, v rámci zkoušení, při laboratorní úloze atd. *Frontální žákovský pokus* konají všichni žáci ve třídě současně, nejčastěji ve skupinách nebo dvojicích (podle počtu pomůcek, jakým škola disponuje). Učitel pokus organizuje a řídí práci žáků a ti získají dovednosti při zacházení s jednoduchými pomůckami. Je to hlavní forma experimentální činnosti žáků. Frontální pokusy jsou prováděny současně s demonstrací učitele, mohou na ni navazovat, doplňovat ji nebo nahrazovat. Speciálním případem jsou tzv. paralelní frontální pokusy, které mají stejný obsah, ale probíhají s různými pomůckami nebo za různých podmínek. Příkladem může být ukázka tření na různých površích, měření ohniskové vzdálenosti různých čoček nebo práce s různými hodnotami napětí.

Demonstrační pokus prováděný učitelem má nevýhodu v tom, že žáci se účastní experimentu pouze pasivně jako pozorovatelé. Učitel obvykle využije pomoci jednoho nebo dvou žáků, ale zbytek třídy se provádění pokusu neúčastní. Oproti tomu při frontálním pokusu jsou žáci přímo spolutvůrci vzdělávacího procesu. Je však náročnější na čas i přípravu učitele.

Laboratorní úloha je obvykle náročnější než frontální pokusy prováděné během hodiny fyziky, proto je jí obvykle věnována samostatná hodina. Většinou se zařazují na závěr příslušného tematického celku a žáci je konají buďto samostatně nebo v menších skupinkách (záleží na množství pomůcek). Celá třída má stejné zadání i pomůcky, ale každá skupinka pracuje vlastním tempem. Žáci vykonávají laboratorní úlohu podle návodu z učebnice nebo připraveného učitelem, výstupem je písemný protokol o provedení úlohy. [5], [8]

Kvalitativní a kvantitativní pokusy

Smyslem *kvalitativního pokusu* je ukázat existenci určitého jevu nebo procesu bez odvozování zákonů ve formě matematického vztahu, např. odpuzování souhlasně nabitých těles. Naproti tomu výsledkem *kvantitativního pokusu* je zjišťování vztahů,



Obr. 1 – Kvalitativní pokus: odpuzování souhlasných elektrických nábojů [foto: autorka]

měření hodnot veličin, záznam a interpretace výsledků a chyby měření.

Příkladem pokusu kvalitativního je demonstrace Pascalova zákona pomocí Pascalova ježka, respektive proděravěné PET lahve, nebo pokusy z elektrostatiky, například odpuzování souhlasných nábojů (Obr. 1). O kvantitativní pokus se jedná, předvádíme-li závislost doby kmitu matematického kyvadla na druhé mocnině jeho délky a dalších parametrech pomocí měření nebo například závislost odporu vodičů na teplotě.

Experimenty podle didaktické funkce

Podle didaktické funkce Kašpar [8] školní pokusy rozděluje do osmi skupin. Některé pokusy však mohou být zařazeny i do více než jedné z nich podle toho, v jaké situaci je učitel během výuky využije.

a) Heuristické pokusy

Žáci při něm induktivně odhalují dosud neznámé fyzikální jevy či zákonitosti a napodobují činnost experimentálního fyzika. Příkladem takového objevitelského pokusu může být zvonící budík (nebo jiný zdroj zvuku) ve vývěvě, žáci tak „objeví“, že ve vakuu se zvuk nešíří (Obr. 2).



Obr. 2 – Heuristický pokus: ve vakuu se zvuk nešíří [foto: autorka]

b) Ověřovací pokusy

Ověřovací pokus přichází na řadu v případě, že byl daný fyzikální vztah nebo zákon odvozen deduktivně nebo sdělen žákům jako hotová informace během výkladu

učitele a ověřujeme tak jeho platnost. Například: ověřujeme vztah pro výsledný odpor rezistorů zapojených paralelně nebo sériově.

c) Motivační pokusy

Jsou zařazeny před výklad nového poznatku pro upoutání pozornosti. Může mít podobu zajímavého jevu, který dokážeme objasnit po nalezení příslušných fyzikálních zákonů, nebo zkušenosti z běžného života žáků. Výhodné jsou pokusy s netradičními pomůckami nebo nečekaným závěrem. Pokud se přímo z motivačního pokusu odvozuje nějaký fyzikální zákon, měl by být zopakován i při výkladu daného jevu. Příkladem může být pozorování jevu difúze (sáček čaje v horké vodě, Obr. 3) před kapitolou o kinetické teorii látek.



Obr. 3 – Motivační pokus: difúze [foto: autorka]

d) Ilustrační pokusy

Ilustrační pokusy jsou kvalitativní pokusy, které mají za úkol seznámit žáky s tím, jak zkoumaný jev vypadá, například Brownův pohyb pylových zrněk ve vodě nebo vznik stojaté vlny na struně. Mohou mít i heuristickou funkci, při pozorování lomu bílého světla hranolem se žáci seznamují s tím, jak vypadá jeho spektrum, současně mohou zjistit, jaký je sled barev ve spektru, a která má největší úhel lomu apod. Naopak kvantitativní ilustrační pokusy se podobají ověřovacím, příkladem mohou být demonstrace rovnoměrného pohybu tělesa. Definici rovnoměrného pohybu ilustrujeme tak, že za stejné časové intervaly jsou přírůstky dráh stejné.

e) Pokusy uvádějící fyzikální problém

Tato skupina patří k modernímu vyučování, které se snaží stavět výuku na řešení problémů. Fyzikální problémy mohou být zadány jako úloha nebo vyjádřeny experimentem, což může být i významný motivační prvek. Ve škole se často jako problém zadávají myšlené pokusy, reálné méně často. Příkladem toho reálného je pokus se zapálením papíru: „Ukáže, že volný proužek papíru nad zapáleným kahanem snadno vzplane, ale když se proužek papíru navine na kovovou tyčku, tak se nedaří papír nad zapáleným kahanem zapálit.“ Žáci pak hledají odpověď na otázku

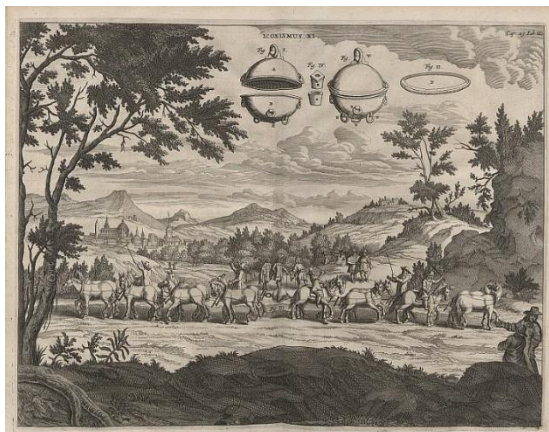
„Proč papír v druhém případě nehoří?“. Problémová úloha může být zadána během výkladu nového učiva i při opakování nebo zkoušení.

f) Aplikační pokusy

Pokus demonstrující aplikace nových poznatků jsou pro žáky spojením fyzikální teorie s praxí, a navíc objasněním často abstraktních poznatků na konkrétním technickém využití. Ve školách proto existují jednoduché demonstrační modely zařízení z praxe nebo jejich částí, která jsou většinou v reálu mnohem komplikovanější a často velmi nákladná. Uvedme například vývěvu, transformátor, optické přístroje, elektromagnetické relé nebo elektrický zvonek atd.

g) Historické pokusy

Historické pokusy jsou skupinou obsahující experimenty, které v historii fyziky měly velký význam pro pokrok ve vývoji myšlení. Příkladem může být Torricelliho pokus, Guerickeův pokus s magdeburskými polokoulemi (Obr. 4), Oerstedův pokus demonstrující indukční čáry magnetického pole pomocí kovových pilin nebo Faradayův pokus s elektromagnetickou indukcí. Více prostoru bude těmto pokusům věnováno v dalších kapitolách.



Obr. 4 – Guerickeův pokus s Magdeburskými polokoulemi [43]

h) Pokusy k opakování a prohlubování učiva

Opakující pokusy bývají obměnou pokusů, které učitel prováděl při výkladu nových poznatků. Příležitostí může být opakování probraného učiva na začátku další hodiny. [8]

Didaktické zásady při přípravě demonstračních pokusů

Aby demonstrační pokus splnil ve vyučování svůj účel, je třeba zachovat didaktické požadavky i technické podmínky. Každý pokus by měl být zařazen do výkladu tématu,

ke kterému patří. Chybou je odkládat je na další hodinu nebo provádět zpětně pokusy za několik hodin. Dále je nutné, aby byl pro žáky *jednoduchý, názorný, přesvědčivý a pochopitelný* (složitější pokusy lze rozdělit na dílčí kroky, ale zároveň musí žáci mít přehled o celkovém průběhu). Rychle probíhající děje je nutné několikrát opakovat. Jednoduchost a srozumitelnost pokusu je klíčová i pro *udržení pozornosti* žáků, při zdlouhavém pokusu jejich zájem rychle klesá. Upoutat je však může i používání *moderního vybavení a aktivní zapojení* žáků do provedení pokusu. Na druhou stranu by vyučovací hodina neměla být přeplněna množstvím pokusů, které nemají souvislost s tématem nebo mnoha variacemi jednoho pokusu. To může v hlavách žáků udělat spíše zmatek.

Před provedením pokusu je obvykle nutné vše dobře *promyslet, připravit pomůcky a sestavit soustavu*. Z časových důvodů ji učitel většinou připraví předem, přestože v zájmu aktivizace a probuzení zájmu žáků by bylo přínosnější sestavovat experiment přímo před jejich zraky. Součástí by měl být také *náčrt na tabuli*, ukazující uspořádání soupravy, u složitějších elektrických obvodů nakreslené schéma zapojení a záznam o provedení pokusu do sešitů. Na závěr by měl být celý pokus zhodnocen a výsledky zaznamenány.

Pro učitele je příprava velmi náročná, zvláště začínající pedagog, který řadu pokusů provádí ve vyučování poprvé, může dělat chyby. Proto by si každý učitel měl pokus předem vyzkoušet, a to i v případě, že ho v minulosti už prováděl. Jednou z chyb může být malá *viditelnost* experimentu pro všechny žáky ve třídě. Pomůcky a měřicí přístroje musí být dostatečně viditelné i ze zadních řad, učitel musí dávat pozor, aby je během provádění pokusu nezakrýval vlastním tělem. Při práci s vodou je vhodnější ji obarvit, používat vyvýšená místa nebo podstavce, či promítacího zařízení.

Někdy je také nutné pracovat s menšími skupinami žáků. Správný pedagog však dbá na to, aby byl zaměstnán každý žák ve třídě. Pokud tedy nemají všichni žáci ve třídě co dělat, měli by dostat nějakou jinou práci či úkol související s tématem.

Během provádění pokusu je stejně jako jindy nutné dodržovat *bezpečnost*. Bezpečnostní předpisy musí splňovat vybavení učeben i kabinetů, ale také experimentátor. Při práci musí používat ochranné prostředky. Na pracovní ploše by měly být pouze pomůcky, které potřebujeme pro pokus, ať už z důvodu bezpečnosti nebo udržení pozornosti na sledovaný jev. Opatrnost je na místě zvláště při práci s hořlavými látkami, chemikáliemi nebo elektrickým proudem. [5], [8]

3 Významné osobnosti klasické fyziky

Za počátek historie fyziky jako vědy se pokládá rozhraní 16. a 17. století. Poznávání přírody a rozumové vysvětlování přírodních jevů však probíhalo již mnohem dříve. Nástup vědecké revoluce se obvykle klade do roku 1600, je to však pouze symbolické číslo. Období od tohoto roku 1600 do roku 1900 je označováno jako období **klasické fyziky**. Po roce 1900 přišly na svět objevy a myšlenky, které nazýváme **moderní fyzikou** (někdy také relativistickou a kvantovou). [9]

S nástupem renesance (14. – 17. století), která křísila antické ideály, se uvolňovala svoboda myšlení, rozvíjelo umění, vědy a celkově se měnil způsob života. Renesanční člověk byl všestranně nadaný a vzdělaný, ovládal řadu věd i umění. Díky tomuto rozkvětu se dařilo univerzitám a vznikaly první vědecké společnosti, neboť vzrůstala potřeba sdílet informace a vzájemně spolupracovat. K šíření poznatků přispělo také vynalezení knihtisku. [7]

V první polovině 17. století vypukla podle Štolla [9] „*pravá objevitelská a vynálezcká smršť*“. Fyzika se oprošťovala od antických autorit, jako byl Aristoteles, a začala upřednostňovat logické, deduktivní uvažování a experimentální metodu zkoumání a vyvozování závěrů. Do této doby spadá vynález čočkového a zrcadlového dalekohledu, mikroskopu, různých teploměrů či barometrů. O jejich objevy se zasloužili Galileo Galilei, Christian Huygens, Robert Hooke a mnoho dalších vynálezců. Následovaly další měřicí přístroje jako hodiny, elektroskop, spektroskop či zařízení pro měření síly větru, deště nebo vlhkosti. K tomu přispěli například William Gilbert, Isaac Newton nebo český fyzik Jan Marek Marci. Jejich experimenty vedly k významným objevům díky rozvoji přístrojové a měřicí techniky, ale také nových matematických metod. To je také důvod, proč je v této diplomové práci zpracováno právě toto období.

Nejen samotné objevy fyziků, které učitelé představují svým žákům ve formě pokusů, působí jako motivační prvek ve výuce. Také zajímavosti ze života těchto učených mužů mohou mít stejný úspěch. Proto tato kapitola představuje stručný přehled jejich životních příběhů. Fyzikové jsou zde seřazeni chronologicky podle dat narození.

Vybranými fyziky jsou Galileo Galilei, Johannes Kepler, Jan Marek Marci, Evangelista Torricelli, Blaise Pascal, Robert Boyle, Christian Huygens, Isaac Newton, Robert Hooke a Prokop Diviš.

Většina z těchto slavných jmen je zmíněna v učebnicích fyziky pouze formou krátkého medailonku, v němž jsou vylíčeny jejich největší objevy či vynálezy. Často se žáci a studenti ani nedočkou o legendách a příbězích, které s nimi jsou spojeny, jako například, že Galileo házel z šikmé věže v Pise koule o různých hmotnostech, aby mohl zkoumat volný pád, nebo že Newton objevil gravitaci poté, co mu na hlavu spadlo jablko.

3.1. Galileo Galilei (1564–1642)

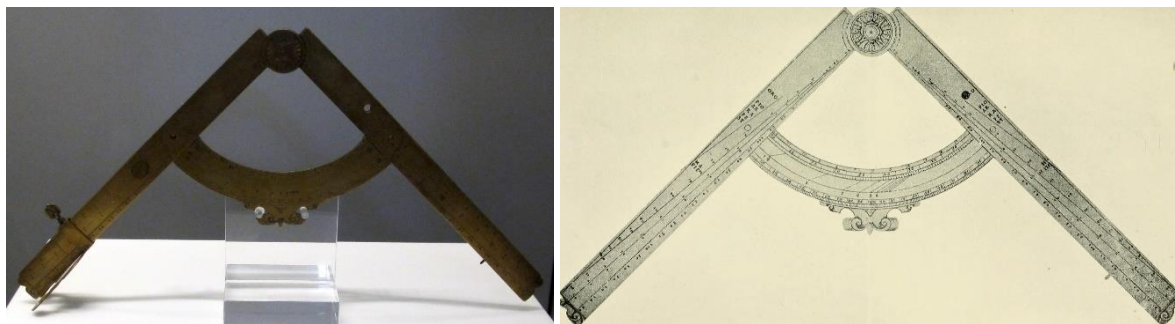
Tento filozof, matematik, fyzik a astronom se narodil v toskánské Pise. Historicky rodina patřila k významným florentským rodům, avšak postupně zchudla, a tak Galileův otec, skladatel a učitel hudby, chtěl dát synovi vzdělání, které by mu zajistilo dobře placené zaměstnání.

Jako dítě byl Galileo nejprve vyučován doma a u příbuzných, poté v klášteře ve Vallombrose, kde se mu zalíbilo, a chtěl se stát mnichem. Otec si však přál mít ze syna lékaře, a tak ho dal zapsat ke studiu medicíny na univerzitě v Pise.

Medicína však mladého muže neoslovila, nadchl se pro matematiku a fyziku, a univerzitu nedokončil. Po návratu domů začal studovat Aristotelovy, Eukleidovy,



Obr. 5 – Galileo Galilei [50]



Obr. 6 – Galileův geometrický kompas v italském muzeu, vpravo nákres [60], [41]

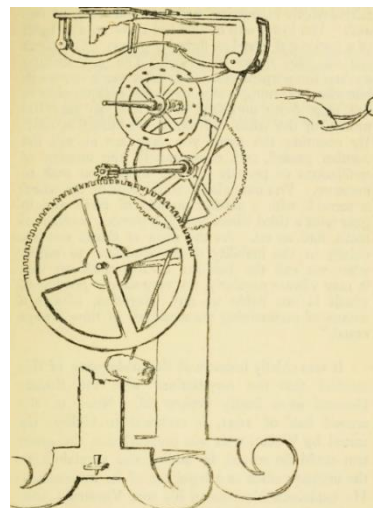
Archimedovy a další spisy a začal psát svá první vědecká díla. Galilei začal nejprve soukromě, poté veřejně v Sieně a ve Vallombrose, vyučovat matematice. Od roku 1589 působil jako profesor matematiky na univerzitě v Pise, kde se mohl věnovat svým experimentům. Studoval zde volný pád, valení koule po nakloněné rovině, vodorovný vrh a pohyb kyvadla. Potíže mu působilo měření krátkých časových intervalů, používal k tomu vodní hodiny, tep srdce nebo rytmus hudby. Některé výsledky zaznamenal do spisu *O Pohybu* (v originále *De motu*), který dokončil v roce 1590, ten nebyl vydán tiskem, ale šířil se pouze v rukopisech a prostřednictvím Galileových žáků. Pro studium geometrie vyráběl Galileo tzv. geometrický kompas (Obr. 6), ten pak našel i vojenské uplatnění.

Galileovy experimenty s volným pádem vyvracely představy aristotelovské mechaniky, že různě těžké předměty padají k zemi různou rychlostí. Naopak prokázal, že všechna tělesa padají k zemi stejnou rychlostí, rozdíl je způsoben odporem prostředí. Později, v roce 1609 experimentálně stanovil, že rychlost tělesa roste úměrně s druhou mocninou času. Významné jsou také Galileovy pokusy s nakloněnou rovinou, u které lze nastavit sklon, a v níž byl žlábek pro pohyb koule, tzv. *padostroj*. Pomocí padostroje zkoumal rovnoměrně zrychlený pohyb snadněji, protože probíhá pomaleji než volný pád a formuloval *zákon setrvačnosti*. Viz kapitola 4. Také dospěl k tomu, že stejně velké síly udělí stejně hmotným tělesům stejné zrychlení, nevyjádřil však své myšlenky matematicky jako později **Isaac Newton**. Tyto poznatky společně s principem nezávislosti a skládání rychlostí umožnily Galileovi zkoumat pohyby těles v tíhovém poli Země (vrhy).



Obr. 7 – Veřejné předvádění padostroje [33]

Galileo postavil také vědecké základy zkoumání kyvadla. Jeho modelem bylo matematické kyvadlo, malé těleso (hmotný bod) zavěšené na téměř nehmotném vlákně. Prokázal, že doba kyvu nezávisí na hmotnosti tělesa, ale je úměrná druhé odmocnině délky kyvadla a pozoroval, že v nejnižším bodě trajektorie má těleso největší rychlost. Ze svých pozorování odvodil, že se kyvadlo kýve se stejnou periodou nezávisle na počáteční výchylce a že křivkou pohybu je kružnice. Že se mýlil, se ukázalo později. Obr. 8 ukazuje Galileův náčrt kyvadlových hodin, tento stroj navrhl těsně před svou smrtí, funkční kyvadlové hodiny však sestrojil až **Christiaan Huygens**.



Obr. 8 – Galileův náčrt kyvadlových hodin [41]

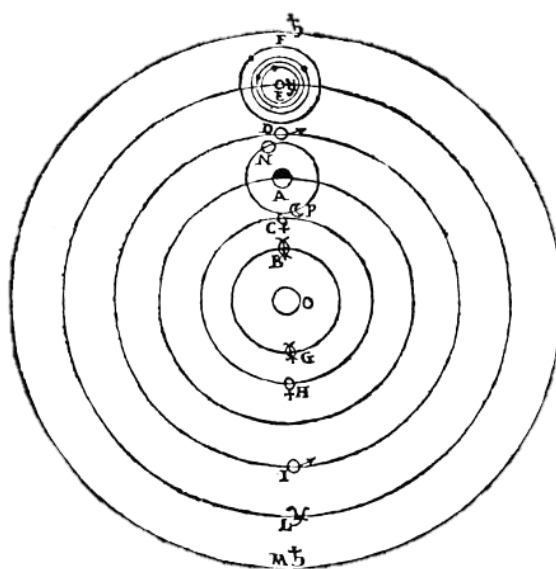
Po smrti svého otce v roce 1591 se musel Galileo jako prvorozený postarat o svou matku a sourozence, a zajistit jim živobytí. Učitelství plat z univerzity v Pise mu však na to nestačil, navíc se zhoršovaly jeho vztahy s kolegy, a tak se rozhodl odejít. Za pomoci fyzika a mecenáše markýze del Monte se stal profesorem matematiky na univerzitě v Padově. Zde si vydělal více než v Pise a také si přivydělával soukromými hodinami význačným osobnostem a výrobou mechanických přístrojů. Jejich prodej mu zajistil příjmy převyšující jeho profesorský plat a uživil i placeného řemeslníka. V Padově se seznámil s Marinou Gamba, se kterou měl tři děti, aniž by společně žili nebo uzavřeli manželství. Když se Marina později vdala, Galileo vzal své děti k sobě. Brzy poté napsal spis *Mechanika (Le meccaniche)*, který obsahoval předchůdce zákona zachování energie a principu virtuálního posunutí.

Na začátku 17. století dospěl k principu relativity, tedy že žádným mechanickým pokusem nelze rozlišit, zda je vztažná soustava v klidu nebo se pohybuje rovnoměrně přímočaře. Během pobytu v Padově zkoumal také otevřené teploměry a jeho primitivní experimenty předznamenaly vynálezy zatavených teploměrů a tlakoměru. Pokoušel se také změřit rychlost světla, což však nebylo v té době technicky možné.

Vedle objevů z klasické mechaniky je Galilei známý také svými astronomickými pozorováními. K tomu mu posloužil vlastnoručně vyrobený čočkový dalekohled (Obr. 9), který zkonstruoval v roce 1609 na základě slovního popisu holandského vynálezu a o rok později sestrojil vlastní mikroskop. Svým dalekohledem pozoroval Měsíc, Mléčnou dráhu a objevil čtyři Jupiterovy měsíce: Io, Europa, Ganymed a Callisto, a sepsal spis nazvaný *Hvězdný posel* (*Nuncius sidereus*). Dále pozoroval prstenec okolo Saturnu, skvrny na Slunci a fáze rotace planety Venuše, což podporovalo heliocentrismus **Mikuláše Koperníka** a vyvracelo názor Ptolemaiův, že soustava obíhá kolem Země.



Obr. 9 – Replika Galileiho dalekohledu [37]



Obr. 10 – Schéma Sluneční soustavy podle Galilea [65]

V roce 1610 se Galileo vrátil do Florencie a o rok později navštívil Řím, kde společnost i církve velebila jeho objevy. V období kolem roku 1613 Galileo začal otevřeně podporovat Koperníkův model Sluneční soustavy. Byl si však jistý podporou papeže, a tak nedbal doporučení nehájit heliocentrické učení. Ve dvacátých letech se umínil a věnoval se zkoumání využití pozorování Jupiterových satelitů k měření zeměpisných délek. V roce 1632 vydal *Dialog o dvou největších systémech světa* (*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*), který zapříčinil, že upadl v nemilost papeže. Dialog je psán jako fiktivní rozhovor tří osob, kterými jsou zastánce heliocentrismu, geocentrismu a objektivní inteligent, a probíhá čtyři dny. Během nich trojice jedná o čtyřech tématech: kritice aristotelovské názory o světě, denním pohybu Země, pohybu Země kolem Slunce a původu přílivu a odlivu.

Po vytištění spisu jej inkvizice donutila odvolat názory v něm uvedené a zakázala jeho rozšiřování. Někdy z tohoto období také pochází legendární věta „*A prece se točí!*“ (v originále „*Eppur si muove!*“), dodnes však není známo, komu a kde ji Galileo řekl, nebo zda ji vůbec kdy vyslovil. Galileo byl naštěstí kvůli vysokému věku potrestán pouze domácím vězením v Arcetri u Florencie, kde se sice zhoršil jeho zdravotní stav, ale mohl dále pracovat. Roku 1636 zde dopsal své nejznámější dílo *Rozpravy a matematické důkazy dvou nových věd* (*Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze*), které shrnuje jeho poznatky z mechaniky, řadu z nich však učinil mnohem dříve. Sepsal v něm zákony volného pádu, formuloval zákon setrvačnosti, zkoumal vrhy, pevnost těles, rychlost světla atd. Vytištěn byl o dva roky později v Holandsku. Ve své vile zemřel úplně slepý, ale obklopen přáteli. Jeho knihy byly vytištěny v zahraničí a úspěšně rozšiřovaly Galileovo dílo do světa. Katolická církev je vyřadila ze seznamu zakázaných knih až roku 1835.

Galileovy experimenty byly převážně kvantitativní povahy, což byl v té době neobvyklý a nový přístup, a byly pečlivě matematicky vyhodnocovány. Díky nim bylo vyvráceno mnoho nesprávných představ pocházejících z dob Aristotela. Užíval však i myšlenkové experimenty, například když uvažoval pohyb tělesa ve vakuu, tedy bez tření a odporu prostředí. Galileo Galilei stál na počátku vědecké revoluce a u zrodu nové experimentální fyziky. Před ním byly experimenty odmítány jako idealizace, napodobování a ovlivňování přirozeného dění. Přestože nevyřešil všechny otázky, kterými se jako vědec zabýval, inspiroval mnoho učenců, kteří na jeho dílo navázali. Kromě několika útvarů na Měsíci a Marsu má dnes Galileovo jméno například Planetka 697, Evropský satelitní navigační systém nebo muzikál Janka Ledeckého. [9], [10], [11]

3.2. Johannes Kepler (1571–1630)

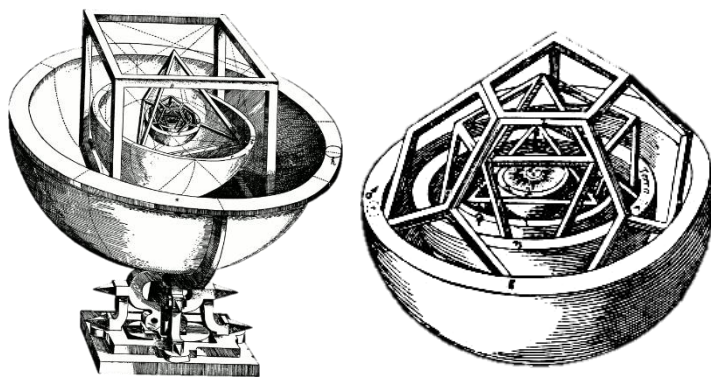
Německý matematik a astronom se narodil nedaleko Stuttgartu jako první ze sedmi dětí do chudé šlechtické rodiny. Porod proběhl předčasně a malý Jan byl fyzicky velmi slabý. Otec Jindřich byl hrubián a alkoholik, sloužil jako voják a nebýval často doma. Zemřel, když bylo Janovi asi 5 let. Převážně jej vychovávala matka Kateřina, negramotná léčitelka, která ho přivedla k poznávání přírody a také hvězdné oblohy. Pověřivými sousedy však byla obviněna z čarodějnictví, dlouho vězněna a hrozilo jí



Obr. 11 – Johannes Kepler [36]

upálení. Kepler ji sám hájil, nakonec i osvobodil, ale ona stejně za několik měsíců zemřela. Od dětství se netěšil pevnému zdraví, překonal černé neštovice a tuberkulózu, trpěl oční vadou (svítící objekty viděl vícekrát). Byl dvakrát ženatý a měl celkem 13 dětí, ale většina jich zemřela v útlém věku. Jediným přeživším synem byl Ludvík, který vystudoval lékařství v Itálii.

Kepler studoval teologii, matematiku a astronomii na protestantské univerzitě v Tübingenu. Jeho učitel **Michael Mästlin** ho přivedl ke Koperníkovu učení. Oficiálně se však na univerzitě vyučovalo podle geocentrického názoru Ptolemaia, a tak nebyla Keplerova práce založená na koperníkovském modelu uznána. Přestože byl hluboce věřící člověk, jeho přesvědčení bylo s církví v rozporu. I proto bylo bezpečnější vydat se na dráhu světskou, a tak roku 1594 přijal místo profesora matematiky a astronomie na evangelickém gymnáziu ve Štýrském Hradci. Studoval zde vzdálenosti planet od Slunce a snažil se v nich najít přírodní zákonitosti. Sepsal o tom svoji



Obr. 12 – Keplerův model Sluneční soustavy, vpravo detail [47]

první astronomickou práci známou pod zkráceným názvem *Kosmografické mysterium* (*Mysterium cosmographicum*)¹. Kepler na základě svých výpočtů sestrojil prostorový model (Obr. 12), v němž mezi sféry jednotlivých planet (známo bylo v té době prvních šest planet Sluneční soustavy) vkládal pravidelné mnohostěny. Mezi Merkur a Venuši vložil osmistěn, mezi Venuši a Zemí dvacetistěn, následovaly dvanáctistěn, čtyřstěn a šestistěn neboli krychle.

V roce 1600 se poprvé setkal s hvězdářským pozorovatelem **Tychonem Brahe**. Během spolupráce s císařským astronomem, který působil v Praze na dvoře Rudolfa II, soustředil své myšlenky na pohyb planety Mars a objevil první dva Keplerovy zákony. Nejprve zjistil, že rychlost Marsu se mění tak, že spojnice se Sluncem pokrývá za stejný čas stejnou plochu, tzn. zákon dnes známý jako druhý Keplerův. Druhý objevený se zabýval tvarem trajektorie: „*Dráha Marsu je elipsa, v jejímž jednom ohnisku je Slunce*“.



Obr. 13 – *De Stella nova in pede Serpentarii* [46]

Oba publikoval v rozsáhlém spisu *Nová astronomie* (*Astronomia nova*), který vyšel roku 1609. V Praze také zkoumal úkazy na obloze, pozoroval tak například komety a jako jeden z prvních sluneční skvrny. V souhvězdí Hadonoše objevil novou hvězdu a svůj objev publikoval roku 1604 v díle *De Stella nova in pede Serpentarii* (Obr. 13). Třetí zákon o tom, že poměr druhé mocniny oběžné doby k třetí mocnině poloosy eliptické dráhy je shodný pro všechny planety, vyšel v Linci až v roce 1619 ve spise *Harmonie světa* (*Harmonices mundi*). Mimo to se v něm zabývá geometrickými symetriemi.

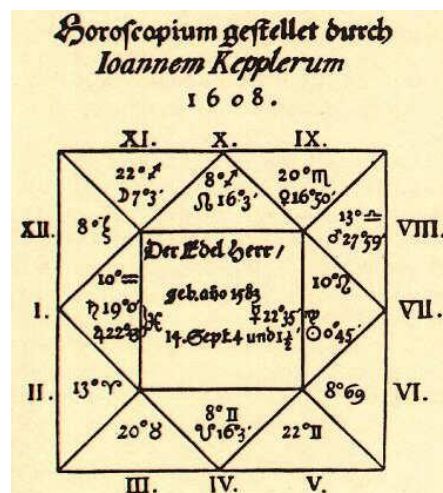
Pro potřeby astronomie se věnoval také optice, přemýšlel o podstatě světla a zkoumal funkci lidského oka², odraz a lom světla, především přicházejícího od hvězd, při

¹ Celý název díla zní *Předchůdce kosmografických disertací, obsahující kosmografické mysterium o obdivuhodné proporcii nebeských sfér* (*Prodromus dissertationum cosmographicarum, continens mysterium cosmographicum de admirabili proportione orbium coelestium*). [12]

² Kepler se přátelil s lékařem Janem Jesseniem, který v Praze provedl první veřejnou pitvu a popsal anatomii lidského oka.

průchodu atmosférou. Sestavil proto refrakční tabulky k Brahovým pozorováním. Keplerovi se dostal do ruky Galileův ohromný vynález – dalekohled, velice ho zaujal a vedl k sepsání *Dioptriiky*. V ní zkoumal chod světelných paprsků v dalekohledu a navrhl novou konstrukci tvořenou dvěma spojnými čočkami, která se ukázala jako vhodnější pro astronomická pozorování.

Po smrti Rudolfa II. Kepler odešel z Prahy do Lince, kde působil dalších 14 let. Poté se kvůli politickým a náboženským komplikacím přestěhoval do Ulmu. Při poslední návštěvě Prahy byl přijat novým císařem Ferdinandem II., který mu nabídl místo dvorního matematika, pokud přestoupí na katolickou víru. Kepler odmítl a odešel do Slezska, kde působil jako astrolog Albrechta z Valdštejna. V Řeznu roku 1630 zasedal říšský sněm i s císařem, proto se tam Kepler vydal a chtěl získat finance,



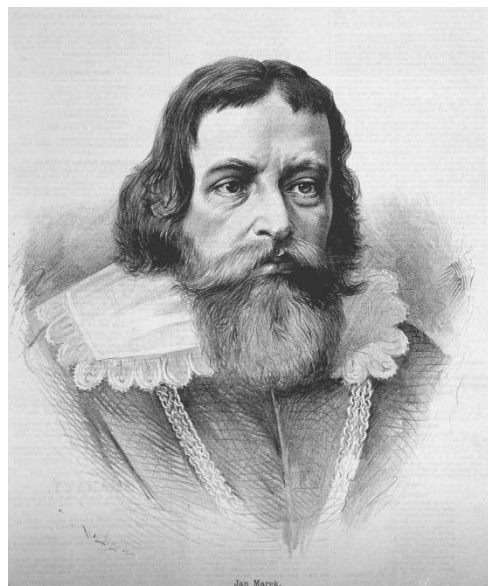
Obr. 14 – Keplerem sestavený horoskop pro Albrechta z Valdštejna [59]

teré mu dlužil. Onemocněl však zápallem plic, kterému podlehl. Kvůli své víře byl pohřben za hradbami města. Jeho díla podléhala v té době cenzuře, část z nich byla proto zakázána. Jeho náhrobek se do dnešních dní však nedochoval, byl zničen švédským vojskem. Známe však text z náhrobku, který Kepler napsal sám: „*Měřil jsem nebe, teď měřím stíny země. Duch můj k nebi směřoval, těla stín leží zde.*“

Nejvíce se proslavil svými astronomickými objevy, jméno Kepler nesou například asteroid, krátery na Měsíci a na Marsu, nebo pražské gymnázium a univerzita v Linci. Zemi podobné exoplanety má za úkol hledat kosmická sonda Kepler. Součástí této vědy však byla v jeho době i astrologie, kterou se však zabýval nejspíš pouze z finančních důvodů. To nejlépe vystihuje jeho výrok „*Kde by se octla rozumná matka astronomie, kdyby bláznivá dcera astrologie nic nevydělala?*“ [9], [12], [13]

3.3. Jan Marcus Marci (1595–1667)

O životě tohoto českého lékaře, filozofa a fyzika není mnoho životopisných údajů známo, ale Ivan Štoll čerpá převážně z jeho korespondence a děl. Jan Marcus Marci (česky Jan Marek Marků) se narodil v Lanškrouně v katolické rodině zámeckého úředníka, později mu přibyli ještě bratr a sestra. V šesti letech se s rodinou přestěhovali do Litomyšle, kde jeho otec působil jako purkrabí na panství rodu Pernštejnů. Jan Marek zde chodil na základní školu, podle jezuitského životopisce měl však potíže zdravotní potíže a churavěl, pravděpodobně díky tomu nebyl nikdy přijat do řádu. Dále se vzdělával na jezuitské koleji v Jindřichově Hradci a v Olomouci na univerzitě, kde se v roce 1616 stal magistrem filozofie. Poté se na nějaký čas vrátil domů do Litomyšle.



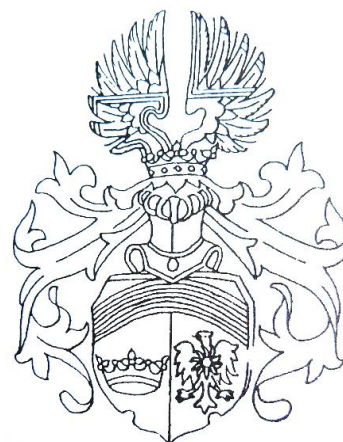
Obr. 15 – Jan Marcus Marci [55]

V Evropě vypuklo stavovské povstání a od roku 1618 zuřila Třicetiletá válka a někdy v té době šel Jan Marek studovat lékařskou fakultu do Prahy. Zemřel mu otec a rodina měla hospodářské potíže, ale finančně ho podporoval kníže Zdeněk Vojtěch Popel z Lobkovic a vlivným zastáncem byl Markovi také jeho syn. Na obnovené pobělohorské lékařské fakultě promoval roku 1625, stal se poté profesorem na lékařské fakultě a byl jmenován hlavním hygienikem království, ale spojoval teoretický výzkum i s praxí. Při léčení používal moderní přístup, podával co nejjednodušší léky a kladl důraz na duševní pohodu pacientů. V roce 1630 se přiženil do italského rodu Misseroni a vedl šťastný rodinný život. Kvůli úřadu musel v roce 1631 zanechat svoji ženu v Praze a odjet do Českých Budějovic. Zde pracoval na velkém díle „*Teorie tvůrčích idejí aneb předpoklad a odhalení oné skryté síly, která semena oplodňuje a z nich organická těla utváří*“, ve kterém se zamýšlel nad zázrakem života a dědičností. Jeho názory však nebyly v souladu s oficiálním jezuitským učením, pod jejichž vlivem byla i pražská univerzita, a tak za ně byl napadán. Kniha proto mohla vyjít až roku 1635 zásluhou arcibiskupa Harracha, který proti jezuitům vystupoval. Ve třicátých letech se Markovi narodily další

čtyři děti a rodina se přestěhovala do domu na dnešní Melantrichově ulici, který je dnes umístěna bronzová deska s reliéfem Marka Marciho.

Po nástupu Ferdinanda II. na trůn začali jezuité ztrácet vliv a Jan Marek se stal děkanem lékařské fakulty. Spory s jezuitou však přetrvávaly, a tak se Marci, se snahou je urovnat, v rámci diplomatické mise vydal do Říma. Jednání nepřinesla úspěch, avšak díky cestě se seznámil s jezuitským přírodovědцем a jazykovědцем **Athanasiem Kircherem**. Na zpáteční trase se marně pokusil setkat s Galileem a po návratu domů mu napsal alespoň dopis. Galilea měl ve velké úctě, ale upozorňoval také na vlastní nezávislé fyzikální názory. V následujícím období také publikoval důležitá díla z oblasti fyziky. Své fyzikální představy měl dobře promyšlené a ověřené pozorováními a experimenty. První z děl vyšlo v roce 1639 a neslo název *O úměrnosti pohybu (De proportione motus)* a pojednává o pružných srážkách koulí. Navazující spis o mechanice *O úměrnosti pohybu přímočarých obrazců* vyšel o 9 let později a *Obecná nauka o nárazu* až po jeho smrti. Zabýval se také optikou například v *Knize o duze* z roku 1648. Dva roky poté vyšel spis *O délce neboli rozdílu mezi dvěma poledníky* a později *Labyrint*, matematická práce o problému kvadratury kruhu.

V závěru třicetileté války při švédském obléhání Prahy se Marci zasloužil o obranu města, když formoval studentské ozbrojené oddíly, které bránily Staré město kvůli nedostatku vojáků. Zřídil také obvaziště v Klementinu, kde plnil své poslání. V následujících letech po válce pokračoval v intenzivní práci a upevňoval svůj vliv a vážnost. Zasáhla jej také smrt milované ženy a syna, ale další dva synové úspěšně studovali, jeden z nich se dokonce vydal na lékařskou dráhu jako jeho otec. Za zásluhy o obranu Prahy získal od císaře roku 1654 šlechtický titul falckraběte z Kronlandu³ a



Obr. 16 – Erb Jan Marka Marciho z Kronlandu [14]

³ Přídomek z Kronlandu si Marci zvolil jako přesmyčku rodného Lanškrouna. Jeho šlechtický erb měl v pravém poli letícího orla na modrém pozadí, v levém zlatou lanškrounskou korunu na bílém pozadí. Přes celý štít se navíc klenula duha, symbol Markova vědeckého života (Obr. 16).

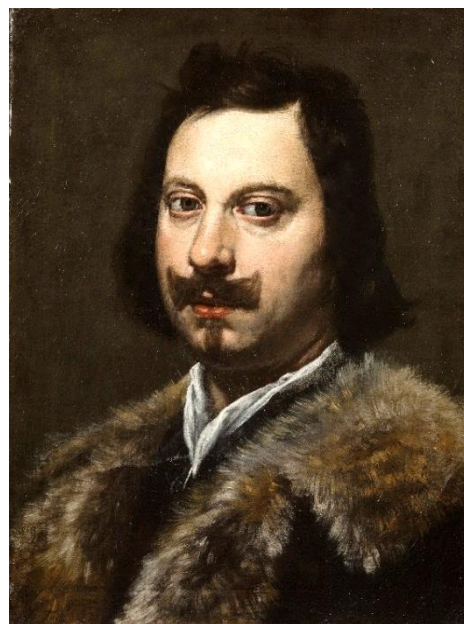
peněžní dar, stal se také jeho osobním lékařem. Markův rod však vymřel v generaci jeho synů, protože ani jeden z nich neměl mužské dědice. Roku 1654 byl vydán dekret o znovusjednocení univerzity. Jan Marek Marci z Kronlandu byl opakovaně volen děkanem lékařské fakulty a na krátkou dobu byl také rektorem univerzity, v této funkci se představitelé jednotlivých fakult střídali.

Ve stáří se Marek uchyloval do ústraní a věnoval se studiím. Koncem roku 1666 se jeho zdraví značně zhoršilo, oslepl a postupně ztrácel do té doby výtečnou paměť. Sepsal závěť, v níž rozdělil všechny majetek mezi své čtyři děti. Zemřel pak o Velikonocích 1667 na mozkovou mrtvici.

Ze zajímavostí o Janu Markovi lze uvést, že je jedním ze 72 osobností české historie, jejichž jména jsou zlatým písmem uvedena pod okny Národního muzea v Praze. Jeho jméno nese například Česká spektroskopická společnost nebo malý kráter o průměru asi 25 km na odvrácené straně Měsíce. [9], [14], [15]

3.4. Evangelista Torricelli (1608–1647)

Italský fyzik a matematik Evangelista Torricelli se narodil ve Faenze v provincii Ravenna. Po smrti otce jej vychovával jeho strýc, jezuita, který ho nechal studovat v Římě. Tam navštěvoval přednášky matematika **Benedetta Castelliho**, žáka Galilea Galileiho. V té době se kromě jiného věnoval hydrodynamice a přizpůsobil jí Galileiho zákony o volném pádu. V roce 1641 vydal *Pojednání o pohybu (Trattato del moto)*, v němž uvedl vztah pro rychlost v výtoku otvorem ve stěně nádoby v dané hloubce h pod hladinou⁴ $v = A\sqrt{h}$.



Obr. 17 – Evangelista Torricelli [51]

Castellini je ukázal Galileimu a ten pak Torricelliho přizval k dokončení svých *Rozprav*.

⁴ Dnes používáme vztah určený Danielem Bernoullim $v = \sqrt{2gh}$, kde g je tíhové zrychlení.

Po Galileiho smrti mu velkovévoda Leopold z Toscany nabídl místo dvorního matematika, profesora matematiky ve Florencii a štědře finančně podporoval jeho další činnost.

Zabýval se také odporem vzduchu a pokusy s atmosférickým tlakem, jehož označení zavedl. Do té doby se používal termín „horror vacui“, který pojmenovával odpor přírody



Obr. 18 – Torricelli zkoumá vakuum nad sloupcem rtuti [57]

proti prázdnému prostoru nebo také „strach z prázdna“. Torricelli vyřešil problém, se kterým bojoval už Galileo, týkající se čerpání vody z hluboké studny. Roku 1643 navrhl Vivianimu⁵, svému kolegovi, aby použil jeden metr dlouhou skleněnou trubici naplněnou rtutí a na jednom konci zatavenou. Viviani ji ponořil do rtuti, celou ji naplnil a po otočení dnem vzhůru se sloupec rtuti zastavil působením atmosférického tlaku asi ve výšce 70 centimetrů. Nad rtutí se vytvořil prázdny prostor, který byl dosud považován za neexistující. Přesnější popis pokusu viz kapitola „Torricelliho pokus“. Tato myšlenka vedla k vynalezení rtuťového barometru, teploměru a dalším technickým pokrokům.

Roku 1644 vydal souhrnný spis *Díla měřičská (Opera Geometrica)*, popsal v něm kouli, volný pád, vrhy a další problémy, jako je například cykloida. V některých objevech navazoval na svého učitele Galilea, ale jako první matematicky odvodil, že trajektorií šikmého vrhu je parabola. Věnoval se také optice, zkoumal čočky a dalekohledy. Kromě fyziky se Torricelli zabýval také matematikou, počítal objemy a povrchy rotačních těles, zkoumal polohy těžiště, kuželosečky a jejich tečny i nekonečné řady. Nejvýznamnější matematické objevy jsou popsány ve *Vypravování o všelikých návrzích proslovených*

⁵ Vincenzo Viviani (1622-1703). Žák G. Galileiho, jeho obdivovatel a životopisec.

a ochotně vyměněných mezi matematiky francouzskými a mnou v roce 1640 (Racconto d'alcune ppposizioni proposte e passate scambievolmente tra i matematici di Francia e me dalP anno 1640).

Ve věku 39 let tento všestranně vzdělaný muž předčasně zemřel na tyfovou horečku, byl pochován ve florentském kostele San Lorenzo. [9], [16], [17]

3.5. Blaise Pascal (1623–1662)

Francouzský fyzik, matematik a náboženský filozof se narodil v Clermontu do rodiny královského rady a výběrčího daní Étiennea Pascala. Brzy ztratil matku a vychovával jej otec, který ho také vzdělával v humanitních vědách i matematice. Blaise měl dvě sestry. Rodina se postupně stěhovala za prací do Paříže a poté do Rouenu. Pascal byl celý život sužován nespavostí a bolestmi hlavy, díky zhoubné nemoci se dožil pouhých 39 let. I díky tomu věřil v Boha a zabýval se náboženskými a filozofickými úvahami o utrpení a smyslu života.



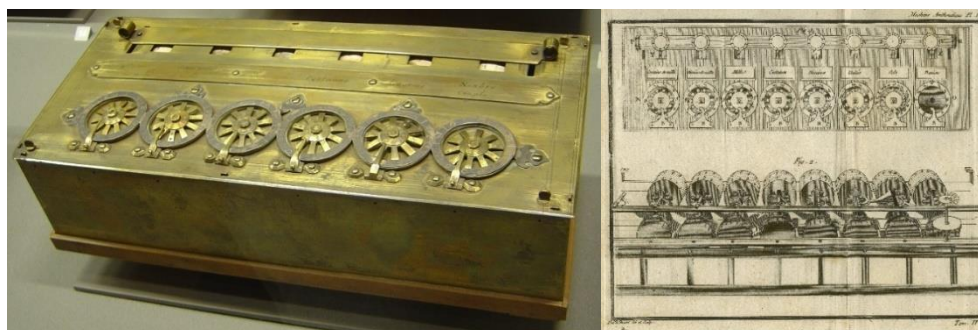
Obr. 19 – Blaise Pascal [40]

Ve svých fyzikálních experimentech Blaise navazoval na Torricelliho. Pomocí jeho barometru prokázal, že atmosférický tlak klesá s nadmořskou výškou. Uvědomoval si také, že s rozdíly tlaků a teplot na různých místech dávají vzniknout vzdušným proudům a větru. Jejich měření lze tedy využít k předpovědi počasí nebo určování nadmořské výšky. Své výsledky publikoval roku 1647 ve spisu *Nové pokusy týkající se vzduchoprázdna (Expériences nouvelles touchant le vide)*. Pravdivost Pascalovy teorie potvrdil jeho švagr, který provedl měření atmosférického tlaku v různých nadmořských výškách při výstupu na horu Puy de Dôme.

Pascal se proslavil také pokusy s šířením tlaku v kapalinách. Během let 1651 a 1654 sepsal *Traktáty o rovnováze tekutin a tíže vzduchu (Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'aire)*, v nichž zdůvodňuje šíření tlaku v kapalinách všemi

směry (dnešní Pascalův zákon) a závislost velikosti tlaku na hustotě a hloubce kapaliny, ne na jejím objemu. Navrhl také konstrukci hydraulického lisu.

Výsledky svých pokusů se Blaise Pascal nijak netajil. Předváděl je dokonce na veřejných prostranstvích v Rouenu. Demonstroval tak například obdobu Torricelliho pokusu s trubicemi naplněnými vodou a vínem. Známy je také jeho pokus s dřevěným sudem, který byl naplněn vodou. Ze sudu čněla svisle vzhůru dlouhá a tenká trubice, do které přiléval vodu. Sud se působením obrovského hydrostatického tlaku roztrhl.



Obr. 21 – Pascalina [52], [35]

Význam tohoto muže dokazují však také jeho matematické objevy. Geometrii studoval na Matematické akademii u **Marina Mersenna** a v 17 letech publikoval práci z projektivní geometrie kuželoseček. O dva roky později sestrojil tzv. Pascalinu (Obr. 21), což byl mechanický kalkulátor schopný sčítat a odčítat. Původně měl sloužit jeho otci k usnadnění práce při vykonávání úřadu. Tento stroj poté vyráběl znovu a znovu a průběžně jej zdokonaloval. Celkem vyrobil 15 exemplářů a pro jejich uživatele zveřejnil Návod. Zabýval se také hrou v kostky. Názory si vyměňoval například s matematikem **Fermatem**, díky čemuž přispěl ke vzniku teorie pravděpodobnosti.

V oblasti kombinatoriky se zasloužil o vysvětlení významu binomické věty a dalších souvislostí. Jeho práce obsahují také „Pascalův trojúhelník“ (Obr. 20). Před smrtí řešil také otázky týkající se cykloidy. Stále více se však obracel k filozofii a náboženství. Jeho od dětství chatrné zdraví se neustále zhoršovalo. Poslední dny Pascal

$\binom{0}{0}$	1
$\binom{1}{0} \binom{1}{1}$	1 1
$\binom{2}{0} \binom{2}{1} \binom{2}{2}$	1 2 1
$\binom{3}{0} \binom{3}{1} \binom{3}{2} \binom{3}{3}$	1 3 3 1
$\binom{4}{0} \binom{4}{1} \binom{4}{2} \binom{4}{3} \binom{4}{4}$	1 4 6 4 1
⋮	⋮

Obr. 20 – Pascalův trojúhelník [zdroj: autorka]

pobýval u starší ze svých dvou sester, Gilberty Périerové, u níž v létě roku 1662 také zemřel.

Pascal stál celý život na pomezí mezi dvěma světy, vědy a víry. Jeho jméno dnes nese kromě fyzikálního zákona například jednotka tlaku nebo programovací jazyk. [9], [18]

3.6. Robert Boyle (1627–1691)

Britský přírodovědec se narodil na jihu Irska jako čtrnácté z patnácti dětí v bohaté protestantské rodině hraběte Richarda Boyla. Matka Catherine mu zemřela ve třech letech, při porodu patnáctého dítěte, otec se věnoval politice. Byl sice tělesně slabý, ale všestranně nadaný chlapec. Vzdělání získal nejprve s domácími učiteli, poté s bratrem Franciskem v anglickém Etonu a na studijních cestách po evropských univerzitách. Mluvil několika jazyky a projevoval zájem o matematiku, astronomii a techniku. Žil v Oxfordu a poté v Londýně, kam



Obr. 22 – Robert Boyle [48]

se vrátil po smrti otce. Díky zděděnému majetku se mohl bez starostí věnovat svým vědeckým výzkumům a založit si v rodinném sídle vlastní výzkumný ústav. Po válce Olivera Cromwella proti povstalcům v Irsku začal Boyle přednášet na univerzitě v Oxfordu. Ve spolupráci s dalšími učenici byl také jedním ze zakladatelů londýnské Královské společnosti⁶ a jedním z ředitelů britské Východoindické společnosti, jejímž prostřednictvím chtěl na Východ šířit křesťanství.

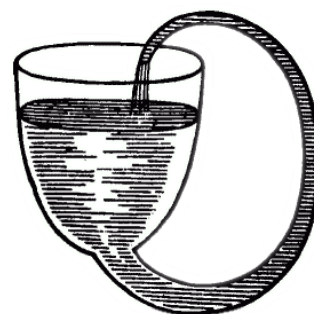
Boyle byl ovlivněn pokusy s vakuem, které prováděl německý experimentální fyzik **Otto von Guericke**, nejznámějším z nich je pokus s „magdeburskými polokoulemi“. Společně se svým asistentem, **Robertem Hookem**, který zdokonalil konstrukci vývěvy,

⁶ Královská společnost – londýnská akademie pro podporu věd. Oficiálně založena 28. listopadu 1660. Zakládalo ji 12 členů, během tří let se rozrostla na 150 členů.

experimentoval několik let. Ověřil tak vlastnosti vakua a obhajoval jeho existenci proti zastáncům éteru. Prováděl také pokusy se rtutí, navazoval tak na Torricelliho a Pascala. Boyleův žák **Richard Townley** odvodil z jeho měření závislost mezi objemem a tlakem vzduchu, která však platí přesně jen pro ideální plyn. Boyle jeho hypotézu potvrdil a roku 1660 publikoval. Tento zákon nazval Townleyův, název se však neujal a dnes jej známe jako Boyleův-Mariottův zákon⁷. Ve fyzice se dále zabýval například šířením zvuku nebo roztažností mrznoucí vody.

Pružnost vzduchu, která s touto problematikou souvisí, Boyle vysvětloval pomocí vlastností částic. Tím potvrzoval starověké představy o stavbě látek. Odmítal však aristotelovský názor, že existují čtyři základní živly a domníval se, že základních prvků existuje mnohem více. Jednotlivé prvky jsou tvořeny drobnými částicemi téhož druhu, nazval je *textury*. Naopak *mixtury* jsou sloučeniny vzniklé jejich kombinacemi. Vymezil tak základní chemické pojmy jako je prvek, sloučenina nebo směs.

Robert Boyle byl zastáncem Galileova učení a patřil mezi nejvýznamnější učence své doby, ovlivnil tak řadu svých následovníků. Během života sepsal řadu spisů, které obsahují jeho moudré poznatky. K těm nejvýznamnějším patří *Nové fyzikálně mechanické experimenty týkající se vzduchové pružiny a jejich účinků* (*New experiments physico-mechanicall touching the spring of the air and its effects*, 1660), *Skeptický chemik* (*The Sceptical Chymist*, 1661) nebo *Hydrostatické paradoxy* (*Hydrostatic paradoxes*, 1666). Robert se nikdy neoženil a konec života strávil u starší sestry Catherine v Londýně. V posledních letech už neexperimentoval, spíše sepsával knihy. Pochován je v kostele St. Martin in the fields na Trafalgarském náměstí. [9], [13], [19]



Obr. 23 – Boyleova samoplňící se číše, nemůže fungovat v důsledku hydrostatického paradoxu [71]

⁷ **Edme Mariotte** (1620–1684) byl francouzský fyzik, který našel vztah mezi tlakem a objemem plynu nezávisle na Boylevi, publikoval jej však později.

3.7. Christiaan Huygens (1629–1695)

Nizozemský fyzik pocházel z rodiny vysoko postaveného státního úředníka a vyrůstal ve velmi intelektuálním prostředí v rodovém sídle v Haagu. Měl čtyři sourozence, z nichž si nejvíce rozuměl se starším bratrem Konstantijnem. Společně se věnovali například broušení čoček. Již v útlém dětství ovládal několik jazyků a uměl hrát na loutnu. Do 16 let jej vzdělávali domácí učitelé, než přišel na univerzitu v Leidenu a poté



Obr. 24 – Christiaan Huygens [54]

kolej v Bredě. Studoval matematiku a právo, ale ovládal také umění jezdeckví a tance. Rodina plánovala Christiaanovi kariéru právníka či diplomata, ten se však rozhodl zasvětit svůj život matematice a fyzice.

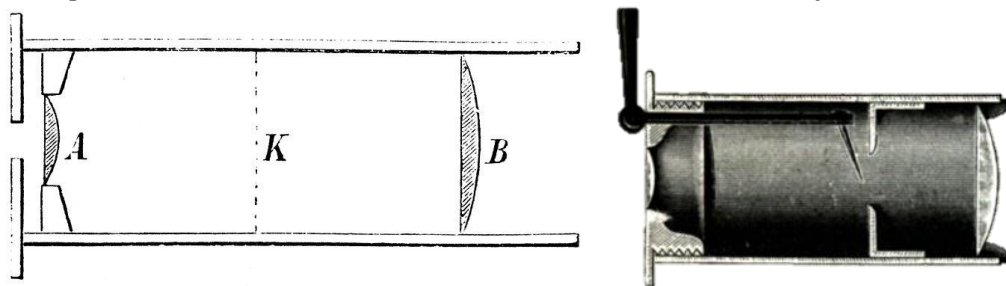
Tvůrčí práci Huygensovi celý život znesnadňoval boj s nemocí, podobně jako Blaise Pascal trpěl nespavostí a silnými bolestmi hlavy. Tato nemoc jej upoutala na lůžko vždy po několika letech bez příznaků. Přesto jej oceňovali učenci jako **Marin Mersenne** či **René Descartes** a někdy bývá nazýván „holandským Newtonem“.

V matematice navazoval na Archimeda a Apollonia, zdokonaloval jejich geometrické metody a zvýšil přesnost výpočtu čísla π . Své závěry publikoval ve spisu *O nalezení velikosti kruhu* (*De circuli magnitudine inventa*). Zkoumal také vlastnosti mnoha geometrických křivek – kuželoseček, exponenciál, cykloid a dalších. Sestrojoval k nim tečny, hledal jejich těžiště a počítal délky jejich oblouků či obsahy a objemy těles vzniklých jejich rotací. Kládl důraz na přesné matematické důkazy a výpočty s odhadem přesnosti.

Nezávisle na práci Galilea zkoumal mladý Christiaan zákon volného pádu a šikmý vrh, své práce však nepublikoval, protože zjistil, že objevil již objevené. Pokoušel se určit velikost tíhového zrychlení, podařilo se mu to až později, roku 1678, s využitím sekundového kyvadla. V roce 1655 se Huygens vydal na cestu do Paříže, kde se setkal

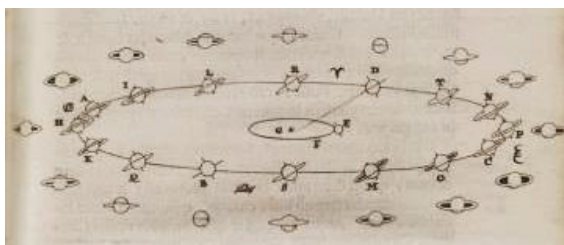
mnoha významnými matematiky a fyziky své doby. Obhajobou doktorátu z práv ve Francii také skončil jeho zájem o právnické povolání.

Huygens se zajímal také o optiku a astronomická pozorování. Díky tomu, že již znal zákon lomu experimentálně objevený **Willebrordem Snellem**⁸, sepsal tři knihy zabývající se dioptrikou. Ty byly publikovány až posmrtně v roce 1703. První obsahovala teorii dalekohledu a čočkovou rovnici, ve druhé zkoumal možnosti zvětšení u mikroskopu a dalekohledu. Třetí knihu nestihl zcela dokončit, týkala se konstrukce



Obr. 26 – Huygensův okulár [53], [34]

dalekohledů a jejich zobrazovacích vad. Během života sestavil několik dalekohledů a mikroskopů, jejichž konstrukce neustále vylepšoval. Na Obr. 26 je Huygensův okulár, který se skládá ze 2 ploskovypuklých čoček (na obr. A, B) a kříže z vláken (K), a je vhodný pro nebeská pozorování. Při svých pozorováních Huygens poprvé spatřil



Obr. 25 – Ilustrace ze Systema Saturnium [72]

Saturnův měsíc Titan a objevil, že Saturn je obklopen prstencem, o němž psal ve spisu *Saturnův systém* (*Systema Saturnium*, Obr. 25) vydaném roku 1659. Kromě toho objevil například tmavé skvrny na Marsu, mlhovinu v Orionu, stanovil dobu rotace

Marsu a odhadoval velikosti některých planet. Při svých mikroskopických pozorováních spolupracoval Huygens s **Anthonyem van Leeuwenhoekem**. Svoji sbírku optických přístrojů na konci života věnoval londýnské Královské společnosti.

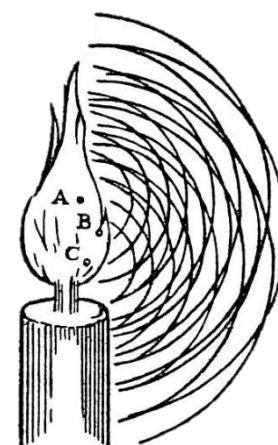
⁸ **Willebrord Snell van Roijen** (1591–1626) byl holandský matematik, působící v Leidenu. Zákon lomu objevil kolem roku 1621, nestačil jej však publikovat. Roku 1630 jej uveřejnil ve své *Dioptrice* René Descartes, který zákon matematicky upravil do dnešní podoby. Byl napaden, že si Snellovy výsledky přisvojil neoprávněně. Zákon lomu však nakonec nese Snellovo jméno.

V oblasti mechaniky se Huygens proslavil konstrukcí kyvadlových hodin, čímž poskytl světu přístroj pro relativně přesné měření času. Na svůj objev získal roku 1657 dokonce patent. O něco později vynalezl chronometr, další typ hodin využívající tzv. nepokoj, jenž měl široké využití. Kromě konstrukce kyvadlových hodin zkoumal pohyb kyvadla také teoreticky. Použitím kyvadla bylo změřeno také tíhové zrychlení a jeho závislost na zeměpisné šířce. Huygens určoval doby kyvu kyvadel různých tvarů za použití zákona zachování mechanické energie, geometrie a dnešní Steinerovy věty. Své poznatky shrnul v díle *Kyvadlové hodiny neboli geometrické důkazy o pohybu kyvadel použitých v hodinách (Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum ad horologia aptato demonstrationes geometrica)*, které vyšlo roku 1673 a je považováno za nejdůležitější.

Vedle pohybu kyvadla studoval Huygens srážky pružných těles, přičemž použil všechny důležité zákony klasické mechaniky. Zkoumal také otáčející se tělesa a setrvačnou odstředivou sílu, sepsal traktát *O odstředivé síle (De vi centrifuga)*, který ale za svého života nezveřejnil.

Po druhé návštěvě Paříže, při níž se setkal s Blaisem Pascalem, se Huygens vydal do Londýna. Tam získal obdiv za své konstrukce dalekohledů a sám objevil kouzlo vývěvy **Roberta Boylea**. Prováděl experimenty s vakuem a společně s Boylem a **Robertem Hookem** navrhl bod tání ledu a bod varu vody jako základní body teplotní stupnice. V roce 1663 se stal členem Královské společnosti. Když byla roku 1666 Akademie věd založena ve Francii, byl jedním ze zakládacích členů a nejlépe placeným akademikem. V Paříži pak působil až do roku 1681, mezitím se ovšem několikrát vracel kvůli své nemoci do Haagu. Nějakou dobu Christiaan spolupracoval také s **Denisem Papinem** na výzkumu parních strojů a výbušných motorů.

Na konci 70. let začal studovat šíření světla a formuloval princip, který dnes nazýváme Huygensův. Odmítal korpuskulární podstatu světla a považoval světlo za vzruch, který se šíří éterem složeným z pružných částic, které se



Obr. 27 – Huygensův princip [37]

vzájemně dotýkají. V prostoru se šíří světlo kulovými vlnoplochami, podobně jako vlny na vodě, a každý bod vlnoplochy se stává zdrojem sekundárních vlnoploch. Světelný paprsek je k těmto vlnoplochám kolmý (Obr. 27). Dále předpokládal, že se světlo šíří konečnou rychlostí. Tuto domněnku potvrdil dánský astronom **Ole Römer**, který měřil rychlost světla pozorováním zákrytů Jupiterova měsíce Io.

Druhé nejvýznamnější dílo *Traktát o světle, kde jsou objasněny příčiny chování světla při odrazu, lomu a zejména podivuhodném lomu v islandském vápenci (Traité de la lumière...)* sepsal francouzsky a doufal, že se k tématu ještě vrátí. Huygens v něm vysvětluje mimo jiné dvojlom světla, ke kterému na islandském vápenci dochází. Zavedl tak některé stěžejní pojmy krystalografie a poprvé pozoroval polarizaci světla, tu ovšem vysvětlit neuměl. K dílu byla připojena jako příloha *Rozprava o příčinách tíže*, v níž pojednával o přitažlivých silách ve vesmíru. Nesouhlasil s Newtonovou teorií o všeobecné přitažlivosti těles, ale neměl v tomto případě pravdu.

Roku 1681 opět onemocněl a odjel do rodného Haagu. Dokončil stavbu planetária podle koperníkovského modelu, to je dnes uloženo v Leidenu. Jeho poslední dílo *Pozorovatel kosmu (Cosmotheoros)* vyšlo až posmrtně. Huygens v něm shrnoval své myšlenky a vyzdvihoval poznávací metody založené na hypotézách, experimentech a pozorování. Před smrtí se přestěhoval do Hofwícku, kde v létě roku 1695 zemřel. Dnes můžeme jeho jméno slyšet například v souvislosti s kosmickým výzkumem. Například právě Saturnův měsíc Titan prozkoumával modul Huygens, pojmenovaný na počest jeho objevitele. [9], [20]

3.8. Robert Hooke (1635–1703)

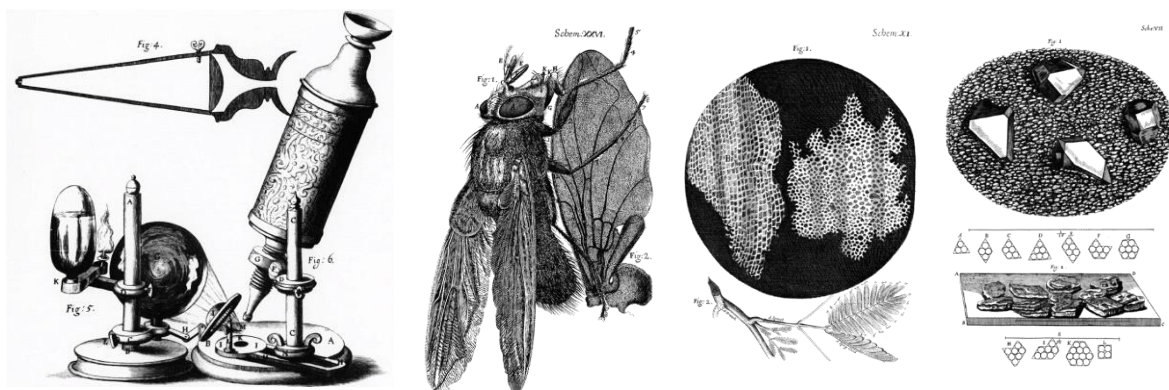
Anglický vynálezce a polyhistor Robert Hooke se narodil v rodině pastora na ostrově Wight. V dětství překonal černé neštovice a ve třinácti letech se musel vyrovnat s otcovou sebevraždou. Za svůj podíl z dědictví po otci začal studovat malířství, ale studium nedokončil, neboť zatoužil po solidním vzdělání. Poté studoval ve Westminsteru a na Christ College v Oxfordu. Celý život byl uzavřený, nevlídný a osamocený, přes veškeré nadání a vědecké nadšení také nedoceňovaný.



Obr. 28 – Portrét Roberta Hooke, který vznikl na základě jeho popisu [42]

Vědeckou kariéru zahájil jako asistent Roberta Boyla, působil také jako profesor geometrie na Greshamově koleji v Londýně, asistent architekta Christophera Wrena při obnově Londýna po požáru a projektant Greenwichské astronomické observatoře. Hooke byl členem Královské společnosti a po dobu pěti let také jejím sekretářem. Významnou úlohu „kurátora experimentů“ plnil ještě déle, uvádí se, že 40 let. Jako kurátor musel týdně svolávat zasedání Společnosti a předvést na něm nový přístroj či vědecký objev. Pokud nenašel nikoho, kdo by mohl předvést svůj objev, musel během týdne vymyslet něco sám.

Vlastní Hookův výzkum se zabýval mikroskopií, své mikroskopické objevy sepsal v díle *Micrographia* z roku 1665. Na svých preparátech objevil elementární útvary, které nazval buňky. Svůj mikroskop (Obr. 29) zdokonaloval řadou vylepšení, například irisovou clonou nebo imerzním objektivem. Prováděl také astronomická pozorování, zkonstruoval zrcadlový dalekohled a helioskop k pozorování Slunce pomocí několikanásobného odrazu od zrcadel. Objevil například rudou skvrnu na planetě Jupiter nebo první dvojhvězdy.



Obr. 29 – Hookův mikroskop [45], vpravo ilustrace z *Micrographia* [79]

Známý je pro svůj objev zákona pružných deformací⁹ z roku 1660, publikovaný až roku 1678 v *Přednáškách o návratné schopnosti neboli o pružině vysvětlující sílu pružících těles* (*Lectures De Potentia Restitutiva, or of Spring Explaining the Power of Springing Bodies*). Ten udává, že velikost deformace tělesa je přímo úměrná napětí v tělese.

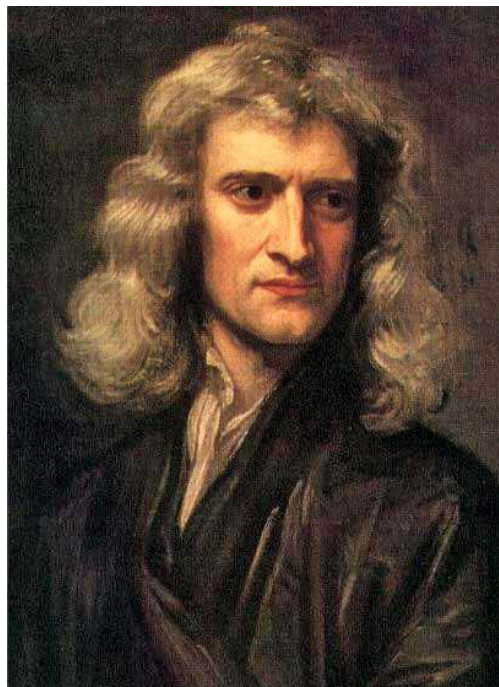
Hooke dále vynalezl kloub, který přenáší točivý moment mezi hřídeli s různoběžnými osami, hodinový nepokoj (setrvačnickové kolečko, které pružná spirála váže na rovnovážnou polohu) či nitkový kříž pro nastavení dalekohledu. Vyrobil první rtuťový barometr s kruhovou stupnicí, zkonstruoval anemometr, hustoměr, hloubkoměr a další přístroje například pro meteorologická měření.

Zajímavý byl také Hookův vztah s **Isaacem Newtonem**. Přestože na některé objevy publikované Newtonem v *Principiích* přišel Hooke mnohem dřív a své závěry Isaacovi sdělil, Newton jej v publikaci vůbec nezmínil. Navíc během svého působení jako prezident Královské společnosti zničil písemnosti, které se Hooka týkaly a také jeho portréty. Díky tomu se žádný dobový portrét nedochoval a výše uvedený portrét je pouze rekonstrukcí podle popisu jeho podoby spolupracovníky. Hooke je na něm vyobrazen s pružinou, kapesními hodinkami, fosilií, mapou Londýna po Velkém požáru roku 1666 a noční oblohou v pozadí. Jsou to symboly jeho vynálezů a objevů. [9], [13]

⁹ Hookův zákon pro pružnou deformaci tělesa je matematicky formulován takto: $\sigma_n = E\varepsilon$, kde σ_n je normálové napětí, E je modul pružnosti v tahu a ε je relativní (poměrné) prodloužení tělesa. Pojem modul pružnosti však zavedl až roku 1802 **Thomas Young**. [13], [21]

3.9. Isaac Newton (1642–1727)

Anglický fyzik, matematik, filozof a astronom Isaac Newton se narodil na venkovské usedlosti Woolstrophe v Lincolnském hrabství několik měsíců po smrti svého otce. Chodil do nedaleké venkovské školy a vyrůstal v péči babičky, jeho matka se znovu vdala a odešla se svým novým manželem, což jí nemohl odpustit. Malý Isaac byl často nemocný, a kromě nepřítomnosti matky trpěl urážky a ponižování od spolužáků ve škole, proto se se svými vrstevníky příliš nekamarádil. V roce 1654 se k němu vrátila podruhé ovdovělá, ale finančně zaopatřená



Obr. 30 – Isaac Newton [49]

matka a Isaac nastoupil na střední školu v Granthamu, kde bydlel v rodině lékárníka. Začal se věnovat matematice a filozofii, studoval také klasické jazyky. Stranil se spolužáků a trávil čas čtením knih a výrobou modelů – vytvořil například funkční model mlýna, slunečních nebo vodních hodin.



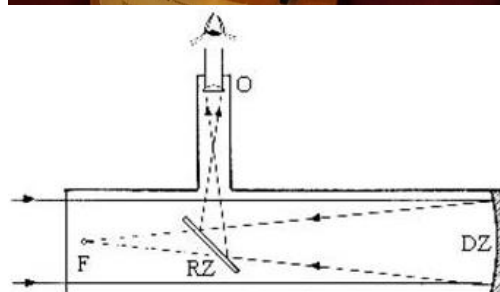
Obr. 31 – Newtonův rodný dům [75]

Po ukončení střední školy jej rodina poslala studovat Trinity College v Cambridge, protože se nechtěl stát farmářem jako jeho otec. Musel si však přivydělávat na studium úsluhami. Nejdříve studoval práva, ale více se zajímal o práce velikánů, jako byl Eukleidés, René Descartes, Galileo Galilei, Johannes Kepler, Mikuláš Koperník a dalších, a pak začal sám formulovat filozofické úvahy o přírodě. Poznával geometrii, trigonometrii a analytickou geometrii, ale věnoval se také optice. Přijal za svou v té době ještě novou vědeckou metodu: pozorování a sběr dat, hypotéza, experiment a potvrzení či vyvrácení hypotézy. V Cambridgi se Newtona ujal mladý profesor **Isaac Barrow**, který rozpoznal jeho matematické nadání a podporoval jeho výzkumy. Newton získal uznání díky zobecnění binomické věty a v roce 1665 obhájil bakalářskou hodnost. Nedlouho poté vypukla v Anglii morová epidemie a Newton se

tak nedobrovolně vrátil domů. Nebyl sice užitečný pro rodinné hospodářství, zato velmi produktivní vědecky. Během svých vědeckých úvah vytvořil diferenciální a integrální počet a teorii světla a barev.

V tomto období také zformuloval gravitační zákon¹⁰ a zamýšlel se nad působením gravitační síly a teorií všeobecné přitažlivosti. Podle legendy, kterou nejspíš sám rozšířil, seděl Newton zahloubaný do vlastních myšlenek pod jabloní, když mu na hlavu spadlo jablko. Ať už je to pravda, nebo jablko spadlo někam jinam, pravděpodobně se mu stalo inspirací k úvahám o gravitaci. A pokud gravitace působí na jablko kousek od Země tak, že padá kolmo k zemi, působí v každé výšce, tedy i na Měsíc a jiná nebeská tělesa. Věděl také, že gravitační síla je vzájemná a její velikost s rostoucí vzdáleností těles od sebe klesá. Svoje objevy však zatím tajil před světem a nepublikoval.

Roku 1668 získal Newton magisterský titul a stal se lucasovským¹¹ profesorem na Trinity College. V té době byl velmi nadšený optikou, konstruoval optické přístroje a snažil se odstranit jejich sférické (otvorové) a chromatické (barevné) vady. Protože se domníval, že u první z nich je to velmi těžké a druhou ani odstranit nelze, zkonstruoval první zrcadlový dalekohled (Obr. 32), který našel využití v astronomii i jiných odvětvích. Za jeho sestavení byl zvolen členem Královské společnosti. Newtonův dalekohled se skládal ze dvou zrcadel, jednoho rovinného a jednoho dutého kulového. Paprsky dopadající duté



Obr. 32 – Replika Newtonova dalekohledu, dole schéma [58], [21]

¹⁰ $F_g = \kappa \frac{m_1 m_2}{r^2}$, kde $\kappa = 6,670 \cdot 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ je gravitační konstanta, m_1, m_2 hmotnosti dvou těles, vzdálených od sebe o r .

¹¹ Lucasovská profesura byla založena 1663 v Cambridge na náklady mecenáše a člena parlamentu Henry Lucase. Stala se prestižní pozicí pro matematika či fyzika, který nevykonával církevní aktivity. Prvním lucasovským profesorem byl Isaac Barrow, po něm právě Isaac Newton.

zrcadlo jsou soustředěny do jeho ohniska, a pomocí rovinného zrcadla jsou odraženy ven z dalekohledu. Dodnes se obvykle využívá k astronomickým pozorováním. Jeho výhodou je, že nemá takové zobrazovací vady jako čočkové dalekohledy. Na druhou stranu je třeba zrcadla s velkým poloměrem, aby byl obraz kvalitní, což je technicky náročné na výrobu. [21]

Na přednáškách velmi složitě a nezáživně prezentoval výsledky svých experimentů a nejspíš proto neměl mnoho posluchačů, ale pečlivě je sepisoval a ukládal do knihovny na univerzitě. Měl však ve škole vážené postavení a od roku 1689 byl dokonce členem parlamentu, i když nebyl významně politicky činný.

Stěžejním Newtonovým dílem se stal třídílný spis *Matematické základy přírodní filozofie* (*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*) vydaný roku 1687 na náklady **Edmonda Halleye**¹². První kniha *Principií* se zabývá pohybem, silami a novými pojmy jako je hmotnost, hybnost nebo síla. Obsahuje také tři známé pohybové zákony: zákon setrvačnosti, síly a akce a reakce. Druhá kniha popisuje pohyb v odporovém prostředí, mechaniku tekutin a šíření zvuku. Ve třetí části zkoumá pohyby ve Sluneční soustavě, působení planet na sebe navzájem atd. Newton zde také popisuje svoje vědecké metody a postupy, teorie musí vycházet z výsledků pozorování a experimentů, a je považována za pravdivou, dokud není upřesněna nebo vyvrácena jinými jevy. Přestože řadu podnětů k problematice řešené v *Principiích* podal jeho konkurent Hooke, a další kolegové, teprve Newton poznatky sjednotil a vytvořil tak ucelenou teorii.

Roku 1690 Newton opustil Londýn a vrátil se do Cambridge, kde se věnoval alchymii a teologii. Duševní krize, kterým v průběhu života několikrát podléhal, se znovu projevila a Evropou se šířilo, že zešlel. Mohlo to být vyvoláno řadou tragických událostí, ke kterým došlo v tomto období Newtonova života. Po jejím překonání se zabýval termikou a metalurgií (působil také jako ředitel mincovny), experimentoval s elektřinou a magnetismem, připravoval druhé vydání *Principií*. Poté skončil jako

¹² **Edmond Halley** (1656–1742) byl anglický astronom, aktivní a velmi iniciativní člen Královské společnosti, Newtonův přítel a objevitel komety po něm pojmenované.

učitel v Cambridge, v roce 1703 se v Londýně stal prezidentem Královské společnosti a o dva roky později byl povýšen do šlechtického stavu. Vydal také druhé nejvýznamnější dílo *Optika aneb traktát o odrazu, lomu, ohybu a barvách světla* (v originále je celý název *Opticks, or a treatise of the reflexions, inflexions and colour of light*), kde uveřejnil své poznatky původně obsažené v přednáškách z optiky a Newton v něm zastával korpuskulární¹³ teorii světla, přestože vlnovou podstatu světla úplně neodmítal. Další části *Optiky* věnoval interferenci světla na tenkých vrstvách, ohybovým a dalším jevům.

Ke konci života se Newton těšil královské přízni, postupně umírali jeho hlavní odpůrci, zbohatl, vedl rušný společenský život a vycházela jeho díla, jeho zdraví se ale zhoršovalo. Koupil dům v Kensingtonu a dožil zde se svojí neteří Kateřinou. Isaac Newton byl hluboce věřící a Bohu přikládal aktivní roli na stvoření i fungování světa, a přesto učinil zásadní objevy pro fyziku. Galileo již před ním dokázal popsat pohyby těles pomocí matematiky a Kepler objevil základní principy pohybu planet, ale až Newton je dokázal vysvětlit. Jeho *Principie* byly během jeho života vydány ještě dvakrát a staly se první učebnicí fyziky. Zemřel ve věku 84 let a byl pochován s největšími počtami ve Westminsterském opatství v Londýně. Po jeho smrti se upevnil jeho vědecký odkaz v Anglii, v Evropě jeho učení propagoval například francouzský filozof **Voltaire**. [9], [11], [22], [23]



Obr. 33 – Newtonův hrob ve Westminster Abbey [74]

¹³ Korpuskulární teorie chápe světlo jako proud částic. Podle vlnové teorie (zastáncem byl například **Christian Huygens**) má světlo charakter elektromagnetického vlnění.

3.10. Prokop Diviš (1698–1765)

Český vynálezce se narodil v Helvíkovicích u Žamberka v chudé poddanské rodině pod jménem Václav Divíšek. Díky přízni rektora latinské školy ve Znojmě, jezuity Jindřicha Dušíka, studoval na jeho škole bezplatně gramatiku. Roku 1719 zde ukončil středoškolská studia a nastoupil jako novic v premonstrátském klášteře v Louce u Znojma. Po roce zde složil profesní slib, stal se řeholníkem a přijal jméno Prokop. Studoval zde teologii a filozofii, roku 1726 byl vysvěcen na kněze. Pak zde působil jako profesor filozofických studií, které zahrnovaly v té době předměty humanitní i přírodovědecké. Údajně doprovázel své vyučování fyziky mnoha experimenty, což bylo velmi neobvyklé.



Obr. 34 – Prokop Diviš [61]

Od roku 1736 Diviš působil jako správce klášterní farnosti v Příměticích u Znojma, kde kromě období, kdy zastupoval opata správou kláštera během I. pruské války, působil až do své smrti. Diviš tak doufal, že bude mít klid na své experimenty a badatelské práce, s čímž někteří kolegové duchovní příliš nesouhlasili. Bohužel to tak nebylo, celý život zde se táhly spory s obcí, svými farníky, jezuity i lékaři a lékárníky, kvůli léčení elektřinou.

Prokop se zasloužil o konstrukci vodovodů pro loucký klášter i přímětickou faru, byl výborným varhaníkem a sestrojil také hudební nástroj zvaný „denisdor“¹⁴. Experimenty z elektřiny prováděl v malé laboratoři, kterou si zřídil na faře. Jeho první pokusy se týkaly statické elektřiny tedy „elektrického ohně“, při nichž přišel mimo jiné na to, že struny „denisdoru“ vydávají při zelektrizování kvalitnější zvuk. Sestrojil

¹⁴ „Denisdor“ (Denis d’or – zlatý Diviš) byl originální hudební nástroj, jehož přesná konstrukce není známa. Jednalo se o skříňový strunný nástroj s pedálem a vysouvací klaviaturou, který měl napodobovat zvuky různých hudebních nástrojů i lidského hlasu. Po Divišově smrti se nacházel v louckém klášteře a později s ním koncertoval bývalý loucký varhaník v různých městech Rakouska a Uher. Po jeho smrti mizí stopy i po „denisdoru“. [25]

přístroj zvaný „elektrum“, třecí elektriku složenou ze skleněné koule ve stojánku otáčivé pomocí kliky, která se třela o kůži přidělanou na dřevěné destičce. Elektrický náboj pak odváděl do vlastnoručně vyrobené leidenské lahve o objemu asi 4 litrů. S tímto přístrojem prováděl Diviš jednoduché pokusy jako přitahování a odpuzování nabitých těles a díky nim přišel na myšlenku, že blesk je také mohutná elektrostatická jiskra. Znal také účinky kovových hrotů, které na sebe stahují elektrické náboje. To ho přivedlo k myšlence, že i blesk by bylo možné pomocí mnoha kovových hrotů z bouřkových mraků přivést do země, a tak v létě roku 1754 sestavil uzemněný bleskosvod neboli „povětrnostní stroj“. Jeho spis *Descriptio machinae meteorologicae* popisující uspořádání bleskosvodu však vyšel pravděpodobně až kolem roku 1761.

Již nějakou dobu před tím pracoval na teoretickém spisu svých poznatků o elektřině, na veřejnosti se však objevil v díle *Magia Naturalis* až v roce 1765. Toto dílo rozdělil do tří kapitol, „O přírodním ohni“, „O elementárním a elektrickém ohni“ a „O meteorologii neboli makroskopické elektrizaci, čili vlastně o bouři“. Jakožto člověk věřící v Boha pokládal za přirozený oheň „světlo stvořené prvního dne“. Přirozený oheň má dvě podoby – elementární a elektrickou. Za tělesa obsahující elementární oheň považoval vodiče, zatímco izolanty, které lze třením zelectrovat nazýval elektrickými tělesy. V poslední části vysvětloval své názory o elektrické povaze blesku a další meteorologické jevy související s bouřkou. Nezávisle na něm zkoumal atmosférickou elektřinu také **Benjamin Franklin**.

Po roce 1754 se Diviš soustředil na nové pokusy o léčení elektřinou a zkonstruoval elektroterapeutické zařízení „scabellum“ pro léčení epilepsie, revmatismu, křečí, ochrnutí nebo duševní a jiné choroby. Právě kvůli tomu vyvstaly spory s místními lékaři a lékárníky, kteří se domnívali, že se elektroléčbou obohacuje. O působení elektřiny na živý organismus také vykládal v již zmíněném spise. Diviš také věřil, že smrt člověka nastává vyprcháním tělesné elektřiny a nikoli odchodem duše z těla.

Roku 1765 Prokop Diviš zemřel v Louce u Znojma. Památku vynálezce bleskosvodu dnes připomíná například jeho rodný domek (Obr. 35), který je součástí Městského



*Obr. 35 – Muzeum v rodném domku
Prokopa Diviše [73]*

muzea Žamberk, nebo Divišovo divadlo v Žamberku. Památník Prokopa Diviše najdeme také v Příměticích. Stejně jako Jan Marek Marci je jedním z 72 osobností české historie, jejichž jména jsou zlatým písmem uvedena pod okny Národního muzea v Praze. [24], [25]

4 Historické pokusy v současné škole

Experimenty jsou nedílnou součástí fyziky na základních i středních školách. Tím, že žáci průběh pokusu vidí na vlastní oči, případně ho sami provádějí, lépe pochopí fyzikální zákonitosti a jevy. Kromě toho řada experimentů lze realizovat s jednoduchými pomůckami, které jsou běžně dostupné a nejsou drahé. Na druhou stranu existují také experimenty, které vyžadují speciální prostředky a pomůcky, nebo mohou být dokonce nebezpečné. Ty je pak vhodné ukázat alespoň na videu nebo s využitím jiných prostředků.

Tato kapitola předkládá podrobněji významné historické experimenty z dílen fyziků 16. až 18. století a předkládá návod na jejich přípravu a návrh, jak tyto pokusy zařadit do výuky fyziky na střední škole. K některým z nich lze využít také historické pomůcky, pokud nejsou dostupné, je možné vyrobit vlastnoručně. Většina z nich byla vyzkoušena v praxi se studenty čtyřletého a osmiletého Gymnázia ve Svitavách.

4.1. Galileův padostroj

Galileův padostroj byla asi šest stop¹⁵ dlouhá dřevěná deska – nakloněná rovina, jejíž sklon bylo možné regulovat. Na desce byl žlábek, vyložený pergamenem pro co nejhladší povrch, určený pro valení koulí. Kromě toho byla deska opatřena v určitých vzdálenostech od sebe osmi strunami.

Galileo znovu a znovu spouštěl žlábkem vyleštěnou mosaznou kouli, jejíž pohyb způsoboval rozeznění strun. Pokus doprovázel zpěvem a hrou na loutnu, rytmus písně je mu časovou mírou. Galileo se snažil umístit struny na desce tak, aby tóny při průchodu koule zaznívaly ve stejných časových intervalech. Přestože mohlo jeho počínání připomínat spíše dětskou hru, vedl tento experiment k objevení důležitého zákona přírody.

¹⁵ Šest stop odpovídá délce asi 1,8 metru.

Pokud se náklon zvětšoval, rovnoměrně zrychlený pohyb koule se blížil volnému pádu, naopak při zmenšování náklonu se pohyb stával rovnoměrným. Galileo díky tomu formuloval zákon volného pádu, tedy že dráha volného pádu je přímo úměrná druhé mocnině času. Stejný zákon platí i pro pohyb po nakloněné rovině. [9], [11]

Padostroj ve vyučování

Pokud se ve Vašem fyzikálním kabinetu nenachází podobný exemplář jako na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy (Obr. 36), můžete si jej sami vyrobit. Možností, jak si pro potřeby vyučování fyziky sestavit vlastní padostroj je mnoho, některé postupy jsou uvedeny například zde [26]. Jiný návod následuje.

Na výrobu padostroje jsou zapotřebí 4 rohové lišty délky 2 m, 4 dřevěné kolíčky, lepicí tavná pistole s náplní, 4 dřevěné obdélníkové destičky a samozřejmě 4 stejné kuličky, případně dvoumetrové pásmo.



Obr. 36 – Padostroj na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy [39]

Lišty pevně upevníme tavnou pistolí, z kolíčků a destiček vyrobíme zarážky. Pásmo upevníme k lištám tak, aby nebránilo volnému pohybu kuliček (Obr. 37). Pak už lze posunováním jednotlivých zarážek provádět experiment stejný jako Galileo. Pravidelného zvuku kuliček dopadajících na překážky dosáhneme, jsou-li jejich vzájemné vzdálenosti v poměru 1:4:9:16. K měření časových intervalů lze použít vlastní sluch (pravidelnost či nepravidelnost nárazů je jasně patrná) nebo nějakého časového měřidla.



Obr. 37 – Padostroj [zdroj: autorka]

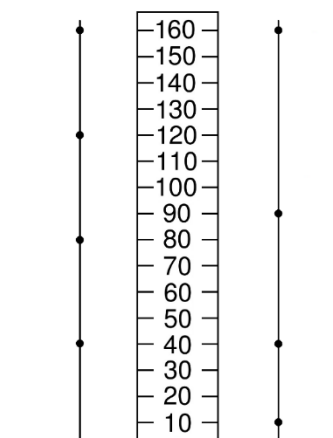
Jedná se o názornou demonstraci nerovnoměrného pohybu. Padostroj se však nehodí k přesnému měření, neboť i na první pohled stejné lišty mohou mít různě drsný povrch, což pak ovlivňuje pohyb kuliček. Na střední škole je vhodný do prvního ročníku, zařazujeme jej do kapitoly o rovnoměrně zrychleném pohybu nebo o volném pádu, stejně jako pokus s Newtonovou trubicí (viz dále). Z mé zkušenosti hrátky s padostrojem žáky zajímaly už od chvíle, kdy jsem s dvoumetrovým zařízením vešla do školní třídy. Experimentování jsme začínali s jednou kuličkou, mluvili jsme o tom, zda se jedná o pohyb rovnoměrný či nerovnoměrný. Poté jsem navrhla „kuličkozávody“. Nebyly to sice závody v pravém slova smyslu, protože každá kulička měla jinou délku dráhy, ale žáci neprotestovali. Začali jsme tedy spouštět kuličky všechny čtyři, a hledali jsme vhodnou polohu zarážek tak, aby nárazy byly pravidelné. Nakonec jsme se k těm hledaným dostatečně přiblížili a mohli jsme pokračovat ve studiu rovnoměrně zrychleného pohybu.

Kuličkový padostroj

Nejjednodušší variantu padostroje vyrobíme pomocí tenkého provázku a 8 koráleků o stejné hmotnosti a rozměrech. Na jednu nit délky 2 metry navážeme 4 korálky tak, že mají mezi sebou stejné vzdálenosti podle obrázku. Na druhou nit navážeme kuličky postupně ve vzdálenostech 10 cm, 40 cm, 90 cm a 160 cm.

Padostroj spouštíme z židle, stolu nebo jiného zvýšeného místa. Vhodné je dolní konec připevnit k podlaze, například izolepou nebo nějakou zátěží. Pokud si je pouze přišlápneme, pak nám kuličky spadnou na nohu a nebudou slyšet jejich nárazy o podlahu.

Pokud nejprve spustíme nit s rovnoměrně rozmístěnými korálky, rytmus jednotlivých úderů koráleků o podlahu je nepravidelný a zrychluje se. Při stejném pokusu s druhou nití je rytmus dopadajících kuliček pravidelný.



Obr. 38 – Kuličkový padostroj
[zdroj: autorka]

Tento experiment je velmi názorný a jednoduchý. Jeho výrobu lze svěřit i žákům. Vhodný je také jako domácí pokus. Spadá opět k učivu o nerovnoměrném pohybu, respektive volném pádu.

4.2. Galileo Galilei a kyvadlo

Podle legendy si mladý Galileo jednoho dne v kostele všiml lampy, která se pohupovala v průvanu. Když ji nějakou dobu pozoroval, poznal, že doba kyvu lampy nezávisí na velikosti její výchylky. Začal tedy experimentovat s kyvadlem. Pohyb kyvadla považoval za pád tělesa po kruhové dráze.



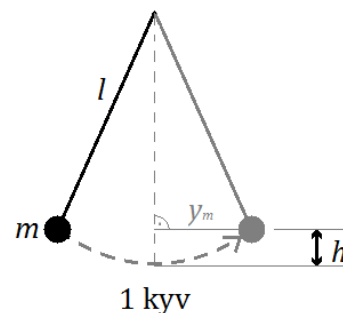
Obr. 39 – Lampa, která podle legendy přiměla Galileia zkoumat pohyb kyvadla [64]

Kromě nezávislosti na výchylce Galileo experimentálně odvodil, že závaží kyvadla nabude maximální rychlosti v nejnižším bodě trajektorie a vystoupí do stejné výšky, z jaké padalo. To platí i v případě, že kyvadlu do cesty postavíme překážku, pomocí které se závěs zkrátí.

Matematické kyvadlo

Jedná se o nejjednodušší model kyvadla, tvořený hmotným bodem, tedy nějakým závažím, zavěšeným na nehmotném závěsu, který po počátečním dodání energie (vychýlením závaží z rovnovážné polohy) volně kmitá.

Potřebné pomůcky k provedení pokusu jsou následující: kovový stojan, tenké lanko (například vlasec) a závaží. Kyvadlo sestojíme tak, že lanko o délce l se závažím o hmotnosti m upevníme na stojan. Jestliže vychýlíme kuličku do určité výšky, kterou obvykle označujeme písmenem h ,

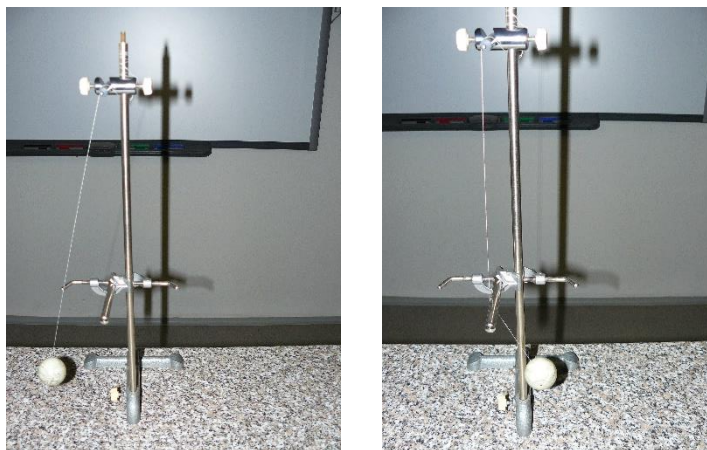


Obr. 40 – Matematické kyvadlo [zdroj: autorka]

pak po jednom kyvu pozorujeme, že závaží vystoupá do stejné výšky h . Také lze pozorovat, že rovina kmitání kyvadla se během pohybu zachovává. Pokud umístíme zarážku do výšky menší než původní h (Obr. 41), během části pohybu se tím zkrátí délka závěsu, závaží však vystoupá opět do výšky h .

Kvalitativní experiment s kyvadlem je nenáročný a k jeho uskutečnění nejsou potřeba žádné speciální pomůcky. Je vhodné jím, kromě kmitavého pohybu, demonstrovat například zákon zachování mechanické energie.

Závislost periody kmitání matematického kyvadla na jednotlivých fyzikálních veličinách, které zde vystupují, lze odvodit teoreticky porovnáním vztahu pro výslednou sílu působící na hmotný bod a pohybové rovnice harmonického pohybu.



Obr. 41 – Pohyb matematického kyvadla [foto: autorka]

Výsledný vztah je $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ¹⁶, kde g je hodnota tíhového zrychlení. Tedy perioda kmitání závisí pouze na délce l kyvadla, nikoli na hmotnosti m závaží či velikosti výchylky y_m . Lze jej také ověřit kvantitativním experimentem, při němž proměříme dobu kmitu pro různé hmotnosti závaží.

Dále lze naopak matematické kyvadlo využít k určení velikosti tíhového zrychlení. Jedná se také o kvantitativní pokus, při němž metodou postupných měření lze stanovit velikost tíhového zrychlení z doby kmitu kyvadla nebo proměnné délky závěsu.

4.3. Galileův termoskop

K měření teploty dnes slouží různé druhy teploměrů (kapalinový, plynový, bimetalový, odporový atd.), z nichž většina využívá teplotní roztažnosti látek. Výzkumu změn

¹⁶ Doba kyvu je oproti době trvání jednoho kmitu poloviční: $\tau = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

objemu na základě změn teploty se během svého pobytu v Padově zabýval také Galileo Galilei. Díky jednoduchým experimentům vynalezl předchůdce teploměru. Toto zařízení, které dnes nazýváme termoskop, sloužilo pouze k určení změny teploty, ne však její velikosti, neboť nemělo stupnici.

Galileův termoskop byl založen na roztažnosti vzduchu, bývá proto někdy nazýván vzduchový. Skládal se z tenké skleněné trubičky zakončené baňkou a nádoby s obarvenou vodou. Když Galileo vzduch v baňce a trubičce držením v rukou zahřál, ponořil jej otevřeným koncem do nádoby s vodou. Jak se vzduch uvnitř ochlazoval, začal zmenšovat svůj objem a v trubičce tak začala stoupat hladina vody.

Vodní a lihový termoskop

Podobně lze vyrobit primitivní vodní či lihový termoskop z baňky či skleněné láhve (například od vína), korkové nebo gumové zátky a skleněné trubice. Nejprve vyvrtáme do korku dostatečně široký otvor, aby jím prošla trubička, a spoje utěsníme pomocí lepicí tavné pistole. Pak naplníme láhev obarvenou kapalinou a zátkou ji zašpuntujeme, aniž by uvnitř zůstal vzduch. Zahřátím láhve se mění objem kapaliny uvnitř a tím i její výška v trubici. Láhev můžeme zahřívát pouze rukou, případně nad svíčkou nebo ponořením do nádoby s horkou vodou. Čím užší trubičku použijeme, tím je výsledek výraznější. Větší změna objemu je patrná použitím lihu (Obr. 42). V porovnání s vodou má líh mnohem větší teplotní součinitel objemové roztažnosti¹⁷, což je také důvod, proč se do teploměrů používá jako náplň obarvený líh a nikoli voda.

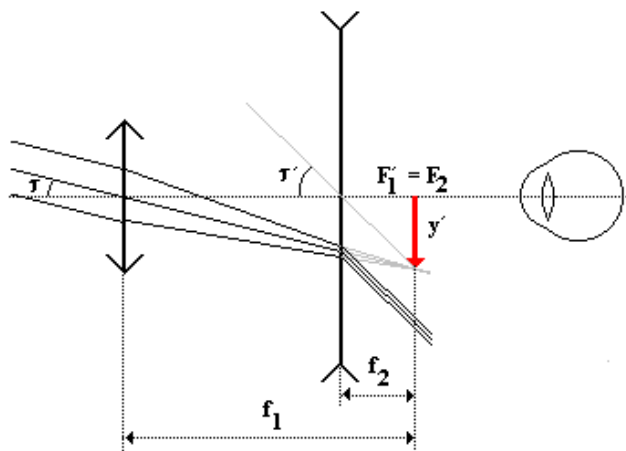


Obr. 42 – Vodní a lihový termoskop [foto: autorka]

¹⁷ Teplotní součinitel objemové roztažnosti vody při 20 °C je $0,21 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$, zatímco pro líh $1,1 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$.

4.4. Galileův dalekohled

Dalekohled neboli teleskop je zařízení, které umožňuje zvětšení pozorovaného obrazu. Historicky první dalekohled byl patentován v Holandsku na počátku 17. století a podle popisu jeho konstrukce sestrojil svůj vlastní exemplář i Galileo Galilei. Jeho teleskop tvořila



Obr. 43 – Schéma Galileova dalekohledu [21]

optická soustava spojky jako objektivu a rozptylky jako okuláru (Obr. 43). Vzniklý obraz je přímý a zvětšený, je tedy vhodný spíše pro pozemská pozorování. Galileo jej však jako první namířil na noční oblohu a při svých pozorováních objevil například čtyři Jupiterovy měsíce. Dnes se jeho princip využívá například v divadelním kukátku.

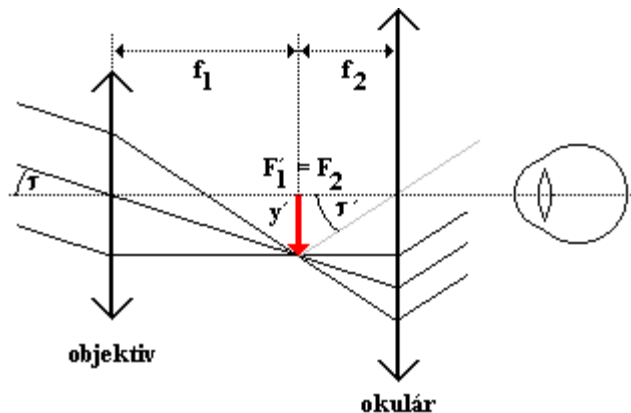
Na jeho výrobu potřebujeme 2 vhodné čočky (spojku a rozptylku), 2 papírové role (od kuchyňských utěrek, toaletního papíru apod.) na tubus dalekohledu a lepicí tavnou pistoli. Velikost tubusu závisí na parametrech použitých čoček. Zhotovujeme jej ze dvou částí, které lze zasunout do sebe. Pokud známe jejich ohniskové vzdálenosti, pak potřebnou délku tubusu spočítáme. Jestliže neznáme, musíme ji určit experimentálně. Čočky přilepíme k tubusu tavnou pistolí, ještě předtím je však dobré ověřit, že oba jejich středy leží na společné optické ose, jinak nebude obraz vidět vůbec nebo jen částečně. Obě části tubusu navíc můžeme z vnějšku obalit izolepou, aby byl pevnější. Vzájemným posouváním obou částí dalekohled zaostřuje.

Postup výroby je poměrně jednoduchý, a proto je experimentování s vlastnoručně vyrobenými dalekohledy vhodné jak pro středoškoláky, tak i pro žáky základní školy. Vhodné zařazení je například v deváté třídě nebo ve druhém či třetím ročníku střední školy, kdy se probírají základy čočkové optiky. Důležité je žáky upozornit, že se nesmí s dalekohledem dívat do Slunce, aby si nepoškodili zrak.



Obr. 44 – Galileův dalekohled
[foto: autorka]

4.5. Keplerův dalekohled



Obr. 45 – Schéma Keplerova dalekohledu [21]

Johannes Kepler je znám především jako skvělý matematik, astronom a fyzik-teoretik. Jeho spis Dioptrika se věnuje geometrické optice. Autor v ní shrnuje dosavadní poznatky z optiky, definuje nové pojmy a popisuje konstrukci dnes nejužívanějšího hvězdářského dalekohledu. [27]) Na rozdíl od Galileova dalekohledu je ten

Keplerův tvořen dvěma spojkami. Obraz, který v něm vzniká, je zvětšený, ale výškově i stranově převrácený (Obr. 45), což ovšem není žádnou překážkou pro nebeská pozorování. Pomocí hranolů lze chod paprsků upravit tak, aby byl výsledný obraz vzpřímený. Toho využívá například triedr.

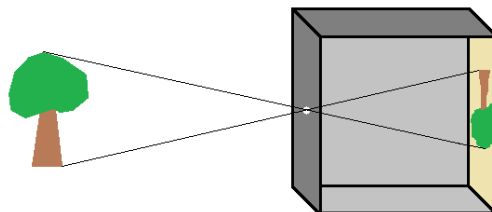
Postup výroby Keplerova dalekohledu je totožný s Galileovým, pouze tentokrát použijeme spojnou čočku jako objektiv i okulár. Jako objektiv volíme čočku s větší ohniskovou vzdáleností. Pokud máme již vyrobený Galileův dalekohled, můžeme použít stejný objektiv i pro ten Keplerův. Jak už bylo řečeno, tento teleskop je vhodný pro pozorování noční oblohy.



Obr. 46 – Keplerův dalekohled [foto: autorka]

4.6. Keplerova camera obscura

Camera obscura neboli dírková komora je další optický přístroj, který využíval Johannes Kepler ke svým astronomickým pozorováním. Vděčí sice Keplerovi za svůj název, který se používá dodnes, její princip byl však vzdělavcům znám již před naším letopočtem. K jejímu vzniku je zapotřebí zdroj světla a překážka s otvorem, kterým může světlo procházet. Může mít také podobu temné schránky nebo celé místnosti. Světlo ze zdroje nebo odražené světlo se šíří všemi směry přímočaře, jeho část vniká do dírkky a vytváří obraz na stínítku na protější straně komory (Obr. 47). Vzniklý obraz je převrácený stranově i výškově a jeho ostrost závisí na velikosti dírkky, čím je menší, tím je obraz ostřejší. Velikost obrazu ovlivňuje šířka komory, tedy vzdálenost stínítka od otvoru. Jas obrazu lze zvýšit vložením vhodné čočky do otvoru. Z geometrického pohledu se jedná o stejnolehlost se středem v dírce.



Obr. 47 – Princip dírkové komory [zdroj: autorka]

Dříve dírkové komory využívali malíři, promítali obraz na průhledný papír a následně jej překreslili, aby byly jejich obrazy co nejrealističtější. Jsou také předchůdcem fotoaparátu. Veřejnou camera obscura můžeme dodnes spatřit například v katedrálách Santa Maria del Fiore ve Florencii nebo Saint Sulpice v Paříži, kde se malou dírkou ve střeše promítá na zem obraz Slunce. U nás najdeme dírkovou komoru například v zámeckém parku v Miloticích nedaleko Hodonína. Můžeme si ji však také sami vyrobit.

K tomu potřebujeme lepenkovou krabici (například od bot), pazovací papír, lepidlo, nůžky, izolepu, alobal a jehlu. Přibližně uprostřed jedné stěny vystříhneme malý obdélník, který přelepíme alobalem. Do jeho středu uděláme jehlou malou dírkku. Na druhé straně krabice vystříhneme větší obdélník, který vytvoří rámeček pro stínítko z pazovacího papíru (Obr. 48). Jelikož je dírka



Obr. 48 – Dírková komora [foto: autorka]

velmi malá, pronikne jí jen málo světla. Abychom obraz dobře viděli, nemělo by na stínítko dopadat jiné světlo než z dírkové komory. Proto musíme pozorovat světlé předměty v zatemněné místnosti nebo si přes hlavu a stínítko přetáhnout deku. Abychom zabránili nežádoucím odrazům světla, můžeme navíc vnitřek krabice natřít matnou černou barvou.

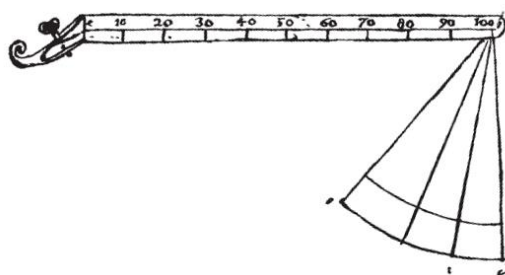
Dírkovou komoru lze také upravit na primitivní fotoaparát, pokud stínítko z pauzovacího papíru nahradíme materiálem citlivým na světlo. Pak je ovšem třeba projít celým procesem vyvolávání fotografií.

Pozorování prostřednictvím dírkové komory je opět vhodné pro žáky základních i středních škol. Demonstrujeme jím přímočaré šíření světla. Pro školní účely je vhodná větší dírková komora, aby byl obraz na stínítku viditelný i z větší vzdálenosti.

4.7. Marciho kyvadlo pro měření tepu

Jan Marek Marci ve své době (polovině 17. století) neměl dostatečně přesné hodiny, které by mohl využít pro měření tepu svých pacientů. Při studiu a pokusech s kyvadlem došel správně k výsledku, že doba kyvu je úměrná odmocnině délky závěsu kyvadla. Okamžitě se jej snažil prakticky využít a navrhl kyvadélko k měření tepu.

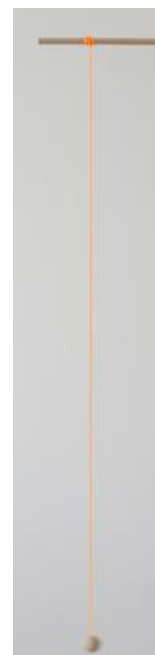
Kyvadlo tvořila vodorovná dřevěná tyčka se stupnicí, podél níž procházela hedvábná nit na jednom konci navinutá na kolíček, na druhém se zavěšenou olověnou kuličkou. Otáčením kolíčku se nastavila délka kyvadla a uzlík na niti ukazoval údaj o tepu na stupnici (Obr. 49). Podobné zařízení je možné vyrobit. Pro školní účely velmi dobře poslouží jednodušší varianta, sekundové kyvadlo.



Obr. 49 – Marciho kyvadélko k měření tepu pacientů [14]

Sekundové kyvadlo

Sekundové kyvadlo snadno vyrobíme s pomocí pevného, ale tenkého provázku, závaží, metru a stojanu (můžeme také použít tyčky nebo latě, kterou upevníme například ke stolu nebo ji pouze něčím zatížíme). Umístění stojanu je třeba vhodně vybrat tak, aby mělo vzniklé kyvadlo délku 1 m. Na stojan navážeme provázek a přesně 1 m od závěsu přivážeme závaží (Obr. 50). Doba jednoho kyvu tohoto kyvadla¹⁸ by se měla rovnat jedné sekundě, za minutu bychom tedy měli napočítat 60 kyvů. Zda jsme vyrobili opravdu sekundové kyvadlo, můžeme ověřit pomocí stopek nebo hodinek se sekundovou ručičkou. Délku kyvadla můžeme případně experimentálně upravit, aby byl počet kyvů za sekundu opravdu 60, nebo ji ještě před samotnou konstrukcí určit teoreticky (Obr. 51).



Obr. 50 –
Sekundové kyvadlo
[foto: autorka]

Sekundové kyvadlo ve škole využijeme jak k experimentům týkajícím se kmitání, tak k měření času. Lze využít i ke zmíněnému měření tepu. V lékařské praxi se měří počet tepů za minutu. Žáci pracují ve dvojicích nebo větších skupinách, jeden z nich má na starost měření času pomocí sekundového kyvadla, další měří tep. Mohou si tak vyzkoušet měření tepu v různých zátěžových situacích (v klidu při sezení, před zkoušením, po obědě, po běhu apod.). Není-li dostatek času, je výhodné spočítat počet tepů za kratší časový úsek, například $\frac{1}{4}$ minuty a výsledek vynásobit čtyřmi.

Určete délku tzv. sekundového kyvadla. Pro výpočet použij přesnější hodnotu tíhového zrychlení $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

$$\tau = 1 \text{ s}; g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}; l = ?$$

$$\tau = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$l = \frac{\tau^2}{\pi^2} \cdot g$$

$$l = \frac{1^2}{\pi^2} \cdot 9,81 \text{ m}$$

$$\underline{l = 0,99 \text{ m}}$$

Kyvadlo bude mít délku 0,99 m.

Obr. 51 – Úloha k sekundovému kyvadlu
[zdroj: autorka]

¹⁸ Jeden kyv je polovina kmitu. Jeden kmit je doba, za kterou se vychýlené a uvolněné závaží vrátí do původní polohy.

Z vlastní zkušenosti mohu říct, že toto měření žáky velmi bavilo. Zpracovávali jsme ho formou laboratorní práce. Žáci sekundy gymnázia (odpovídá 7. třídě ZŠ) sestrojili ve dvojicích sekundové kyvadlo, jeden vždy měřil čas pomocí kyvadla a druhý počítal počet tepů svého srdce, poté se oba vyměnili. Měření probíhalo opakovaně a za různých podmínek (v klidu v sedě, po přeběhnutí chodby tam a zpátky, po 20 dřepích, ...). Žáci poté porovnávali své výsledky v jednotlivých situacích i vzájemně mezi jednotlivci. Jedná se o nadprůměrně soutěživou třídu, takže debata o tom, kdo je nejlepší byla velmi zajímavá.

4.8. Marciho rázy

Problematiku srážek těles řešil Marci ve své knize *O úměrnosti pohybu*. Uvažoval zde pouze srážky koulí (rázy), srážkami těles jiných tvarů se zabývá pozdější práce. Rozlišoval různé druhy rázů podle materiálu těles a tři situace, kdy se tělesa po srážce pružně odrazí a vrátí se do původního tvaru, kdy se deformují a kdy se rozbijí. Dále odlišoval ráz přímý, při němž se koule před i po něm pohybují v jedné přímce, a šikmý, při němž koule po rázu změni směr svého pohybu. [15]

Jan Marek Marci si při svých pokusech se srážkami koulí jako první uvědomil, jaké fyzikální veličiny srážku ovlivňují. Nejprve zkoumal ráz přímý a pružný, pro který formuloval osm vět, tzv. „porismat“, které znějí v doslovném překladu následovně:

- 1. Narazí-li koule na stejnou nehybnou kouli, odrazí ji a zastaví se.*
- 2. Narazí-li větší koule na menší nehybnou, odrazí ji a pokračuje v pohybu.*
- 3. Narazí-li menší koule na větší nehybnou, přičemž její impuls převáží poměr hmotností, odrazí ji a sama se odrazí nebo zůstane v klidu.*
- 4. Narazí-li menší koule na větší nehybnou, přičemž poměr hmotností převáží její impuls, zůstane větší koule v klidu a menší se odrazí.*
- 5. Narazí-li na sebe v pohybu dvě stejně těžké koule, obě se odrazí.*
- 6. Narazí-li větší koule v pohybu na menší, přičemž impuls menší koule převáží poměr hmotností, obě se odrazí.*

7. Narazí-li větší koule v pohybu na menší, přičemž poměr hmotností převáží impuls menší koule, odrazí ji a pohybuje se dále.
8. Narazí-li větší koule v pohybu na menší, přičemž impuls menší koule vyrovnává poměr hmotností, menší se odrazí a větší zůstane stát.

Větší a menší koule Marci rozlišoval nikoli podle jejich geometrické velikosti, ale podle jejich hmotnosti. Tvrzení týkající se stejných koulí (1. a 5.) lze formulovat tak, že si koule v takovém případě vymění rychlosti. To je možné demonstrovat pomocí rázostroje, což je vhodnější než zkoušet to s dělovými koulemi, jak navrhoval Marci. I ostatní tvrzení jsou kvalitativně správná, ale nejsou matematicky přesná (například protože Marci nijak nedefinoval pojem impuls). [14]

Pružné přímé rázy

K demonstraci přímého rázu je opět potřeba rohová lišta, naprosto stačí délka 1 m, a různé druhy kuliček (kovové, gumové, plastové atp., se snadno porovnatelnými rozměry a hmotnostmi). Viz Obr. 52. Pomocí lišty dosáhneme přímých srážek koulí, k jejímu upevnění lze použít polystyrenu nebo papírové krabičky.



Obr. 52 – Pomůcky pro demonstraci přímých rázů
[foto: autorka]

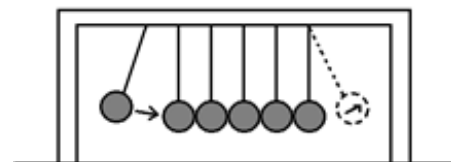
Pro předvedení pokusu zvolíme jednu z koulí za nehybnou. Ostatní pak po jedné srážíme s nehybnou koulí a pozorujeme průběh srážky. Druhou variantou je kutálet stále stejnou koulí, ale různými rychlostmi a pozorovat její srážky s koulí v klidu. Žáci by měli z experimentu odvodit, zda má na průběh srážky vliv hmotnost, velikost či rychlost koulí. [26]

Tento experiment lze ve třídě provádět jako demonstrační i frontální, je-li dostatek pomůcek. Vhodné zařazení je do kapitoly o zákonu zachování hybnosti, buďto jako motivační nebo ověřovací. Osobně jsem prováděla demonstrační pokus, protože jsem měla jedinou lištu. Aby žáci dobře viděli, vytvořili jsme ve třídě čtyři skupiny, které se u demonstračního stolu vystřídaly. Předvedení srážek nebylo složité, ale kuličky občas vyletěly z lišty a kutálely se po třídě. Zvláště, když jsem cvrnkání svěřila žákům. Ostatní

žáci mezitím řešili úlohy na procvičení zákona zachování hybnosti a mechanické energie.

Pokusy s rázostrojem

Rázostroj je tvořen stejnými pružnými koulemi zavěšenými na stejně dlouhých závěsech, které se vzájemně dotýkají. Pokud vychýlíme krajní kouli a pustíme, narazí do ostatních a ty si postupně předávají hybnost, ale zůstávají v klidu. Poslední ji už nemá komu předat a tak „odskočí“ (Obr. 53). Stejně tak lze v experimentu vychýlit dvě koule, na opačném konci jsou pak vychýleny dvě koule.



Obr. 53 – Princip rázostroje [zdroj: autorka]

První kulička při vychýlení získá potenciální energii. Jakmile ji pustíme, potenciální energie se mění na kinetickou. Na opačném konci rázostroje pak dochází k opačné přeměně energií.

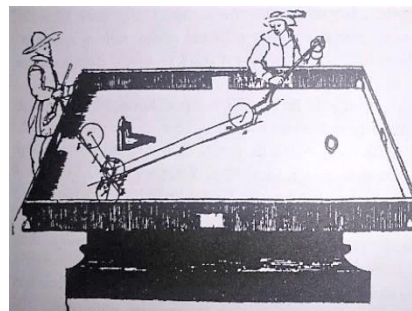
Rázostroj v hodinách fyziky poslouží jak k demonstraci zákona zachování hybnosti, tak zákona zachování mechanické energie.



Obr. 54 – Školní demonstrační rázostroj [foto: autorka]

Kulečnick

Marci se zabýval také šikmým rázem, například odrazem míče o stěny, odrazem kamínků od vodní hladiny při házení „žabek“ nebo úlohami o kulečnicku (karambolu), který byl tehdy v Evropě v módě. Úlohou karambolu je jednou koulí zasáhnout další tak, aby jedna z nich zasáhla třetí kouli, což je v praxi velmi složitá záležitost závislá na tření, rotaci, způsobu strku, ale především umění hráče. Český fyzik řešil tuto úlohu velmi zjednodušeně, hledal na stojící kouli bod, do něhož se musí první koule trefit, aby po odrazu zasáhla třetí kouli přímým rázem. [14]



Obr. 55 – Karambol [14]

Ve škole se kulečník jako učební pomůcka obvykle nevyskytuje, úlohou o kulečníku se však můžeme s žáky zabývat například v rámci fyzikálního kroužku či jiné volnočasové aktivity jinde než v prostorách školy. Zvláště starší žáci to určitě ocení.

4.9. Marciho experimenty z optiky

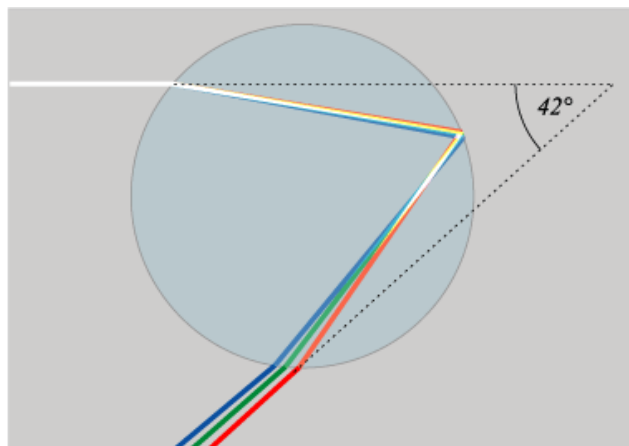
Optice, a především vzniku a vlastnostem duhy, se Jan Marek Marci věnoval ve své *Knize o duze*. Zabýval se v ní podstatou světla, optickými jevy, ale také mnoha dalšími otázkami, jako je podstata ohně či kouře, vlastnostmi vakua, krystalizací apod.

Podle Marciho se světlo šíří přímočaře a na konečnou vzdálenost. Formuloval dokonce něco jako Huygensův princip a zkoumal vlastnosti barevného spektra, které vzniká při dopadu na optické rozhraní. Za stejný fyzikální jev považoval duhu vznikající na obloze, jejíž vlastnosti zkoumal. „Duha má tvar kruhového oblouku, někdy kratšího, někdy delšího, se středem na spojnici polohy Slunce a pozorovatele.“ Uváděl také pořadí barev v duze, připouštěl existenci duhy vyššího řádu a vznik duhy vysvětloval dvojným lomem a jedním odrazem světla na kapkách vody. Marci také jako první publikoval výsledky svých pozorování dokazující ohyb světla a vznik barevného spektra na malých otvorech a překážkách, což vysvětluje „rozostřením“ paprsku nikoli vlnovou podstatou světla. [14]

Duha

Duha je optický jev, kterému lidé věnují pozornost od pradávna. Téma duhy lze najít jak v umění, tak v náboženských a mytologických bájích a legendách. Fyzika duhy není jednoduchá, ale koho tento nádherný div přírody nefascinuje?

Z běžného života víme, že duhu můžeme pozorovat, svítí-li Slunce a zároveň prší, a my stojíme mezi Sluncem a dešťovými kapkami, se Sluncem za zády. Oblouk duhy je tvořen barvami červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá, indigo a fialová v tomto pořadí od vnějšku dovnitř kruhu. Její vznik je založen na lomu



Obr. 56 - Vznik duhy [56]

a odrazu světla na kapičkách vody (Obr. 56). Za deště světlo prochází jednotlivými kapkami vody, které mají tvar koule. Voda má však větší index lomu než vzduch, světlo se v ní láme. Jelikož mají jednotlivé barvy světelného spektra různé vlnové délky, lámou se pod různými úhly a světlo se tak rozkládá do spektrálních barev. Na vnitřní stěně kapky se odráží a pod různými úhly opět vychází z vody do vzduchu. Úhel, pod kterým kapku opouští červené světlo je vždy menší než 42° . Tento maximální úhel je pro každou barvu jiný, například pro fialovou je to 40° . Tyto rozdíly způsobují vznik barevných pásů. Tvar oblouku způsoben kulovitým tvarem kapek vody. Někdy vidíme pouze jeho část, a to, když není ve všech místech dostatek dešťových kapek, nebo je částečně ve stínu mraku.

Dojde-li uvnitř kapky ke dvojnásobnému odrazu, můžeme pozorovat duhu sekundární, jejíž oblouk se objevuje nad primární neboli hlavní a s opačným pořadím barev. Existuje i terciární oblouk duhy, který je výsledkem tří odrazů uvnitř kapky, je však ještě méně výrazný a má střed na Slunci, takže je obvykle nepozorovatelný kvůli síle slunečního svitu. [23]

Jestliže neprší, můžeme pozorovat duhu, když necháme sluneční paprsky rozptylovat na drobných kapičkách vody ze zahradního rozstřikovače, na mýdlové bublině či na CD (Obr. 57).



Obr. 57 – Rozklad světla na CD
[foto: autorka]

K tomu, abychom vytvořili duhu ve třídě, potřebujeme především sluneční světlo, dále například sklenici tvaru válce naplněnou vodou a okno. Sklenici postavíme na vnitřní stranu okenní římsy nebo parapetu tak, aby mírně přečnívala přes hranu. Lze také sklenici držet v ruce a natáčet ji ve slunečním světle, dokud nebude duha vidět. Vhodné je promítat pás spektrálních barev na bílé pozadí, k tomu může sloužit větší bílý papír, který rozložíme na zemi.

Podobně lze použít misky s vodou a kapesního zrcátka, které zešikma postavíme do misky. Když se rozhlédneme po stěnách, můžeme vidět barvené spektrum i původní odražený paprsek. Lze tak pozorovat i úhel, o který se paprsky odklonily.

Duhu však můžeme vytvořit také úplně bez vody, a dokonce ve tmě. Na její výrobu budeme potřebovat čiré bezbarvé skleněné mikrokuličky (existují různé průměry i barvy, při našem experimentu se osvědčily mikrokuličky o průměru přibližně 0,3 - 0,4 mm). Dále použijeme černou čtvrtku a lepidlo ve spreji, pomocí kterého na čtvrtku nalepíme vrstvu mikrokuliček. Pak stačí osvětlit čtvrtku baterkou či vystavit ji slunečnímu záření a duha vzniká na malých kuličkách stejně jako na dešťových kapkách. [28] Pomůcky k tomuto pokusu sice nemáme obvykle ve škole či doma, ale



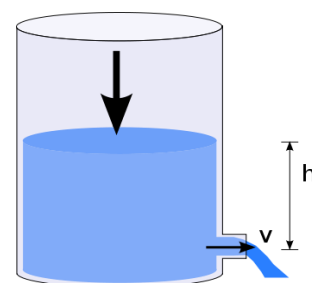
Obr. 58 – Různé formy duhy [foto: autorka]

jejich pořízení není příliš finančně náročné, 1 kg skleněných mikrokuliček jsme koupili za necelých 100 Kč [29].

Jednou z výhod experimentů s duhou je, že se jedná o optický jev velmi přitažlivý pro žáky i studenty. Mimo jiné lze tímto způsobem rozložit světlo z téměř jakéhokoli zdroje, je-li dostatečně silný, a pozorovat rozdíly mezi jejich spektry.

4.10. Torricelliho zákon: výtok kapaliny z nádoby

Torricelli byl průkopníkem hydrodynamiky – oboru fyziky, který se zabývá prouděním kapalin. Kromě jiného objevil zákon, podle něhož je možné určit rychlost v výtoku otvorem ve stěně nádoby v dané hloubce h pod hladinou $v = A\sqrt{h}$. Dnes používáme vztah určený Danielem Bernoullim $v = \sqrt{2gh}$, kde g je tíhové zrychlení.



Obr. 59 – Ilustrace k Torricelliho zákonu [63]

Na toto téma lze uskutečnit také pokus. Potřebujeme k němu nádobu vysokou asi 1 metr, metr, nůž, plastelínu a vodu.

Nožem uděláme do stěny nádoby dvě dírký, jednu 10 centimetrů od dna a druhou 10 centimetrů od horního okraje. Pak obě zacpeme plastelínou a nádobu naplníme vodou až po okraj. Pokud obě dírký uvolníme zároveň, začne z nich tryskat voda. Při přesné konstrukci by oba vodní proudy měly dopadat do stejného místa. [30]

Protože není jednoduché sehnat nádobu 1 m vysokou, a ani my jsme neměli takové štěstí, provedeme jednodušší variantu experimentu. Potřebujeme plastovou láhev alespoň 1,5 l, jehlu a vodu. Do láhve jehlou propíchneme ve stejných vzdálenostech od sebe několik dírek, které leží nad sebou v přímce. Láhev pak umístíme na vhodné místo (například do lavoru) a celou ji naplníme vodou. Působením hydrostatického tlaku vytékají z otvorů pramínky vody. Čím vyšší je vodní sloupec, tím větší je hydrostatický tlak a voda



Obr. 60 – Kvalitativní pokus k Torricelliho zákonu [foto: autorka]

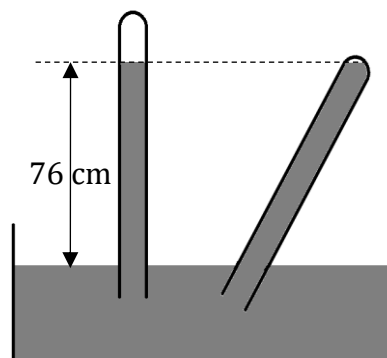
dostříkne dál (Obr. 60). Tento experiment spadá do kapitoly zabývající se mechanikou tekutin.

4.11. Torricelliho pokus

Klidný spánek Florentánů narušovala v 17. století skutečnost, že nemohli čerpat vodu z hloubky větší než 10 metrů. O vysvětlení se pokoušel i Galileo Galilei, který se domníval, že prázdný prostor má určitý odpor, který se snažil dokonce změřit. Po jeho smrti tuto záhadu vyřešil Evangelista Torricelli. Navrhl pokus se rtuťí naplněnou skleněnou trubicí dlouhou jeden metr, který provedl jeho žák Vincenzo Viviani v roce 1643. Taková délka trubice byla pro provedení pokusu mnohem praktičtější. Jeden její konec byl zataven a ponořením do vany se rtuťí se jí naplnila i tyč. Když ji pak Viviani zvedl do svislé polohy se dnem vzhůru a otevřeným koncem stále ponořeným pod hladinu, zůstalo v trubici asi 76 centimetrů rtuťi a nad ní vzduchoprázdno.

Tento výsledek souhlasil s Torricelliho předpokladem, neboť podle Galileových měření váží 76 cm rtuťi přibližně stejně jako 10 m vody, tedy kladou oba sloupce stejně velký odpor vzduchu.

Pokus byl mnohokrát opakován a Torricelli pozoroval, že výška rtuťového sloupce je proměnlivá, ale pohybuje se v určitých mezích. Poznal, že sloupec lze využít k měření příčiny změn, Torricelli tak roku 1644 vynalezl barometr. Zároveň se pokoušel sestavit rtuťový teploměr, protože zjistil, že výška rtuťi v trubici je ovlivněna také teplotou, ale v mnohem menší míře.



Obr. 61 – Ilustrace Torricelliho pokusu se rtuťí [zdroj: autorka]



Obr. 62 – Rtuťový barometr na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové [foto: autorka]

Ne každého však Torricelli přesvědčil o existenci prázdného prostoru nad rtutí. Příznivci Aristotela a Descarta věřili, že ve skle jsou drobné póry, jimiž mohou pronikat velmi malé částičky hmoty. (16)

Torricelliho pokus s vodou

Ve škole pokusy se rtutí provádět nesmí, protože je zdraví nebezpečná, zejména při vdechnutí jejích par. Přesto se však Torricelliho pokusu nemusí učitelé fyziky úplně vzdát. Lze jej totiž provést i s jinými kapalinami, například s vodou.

K tomu je zapotřebí přibližně 10 metrů dlouhá hadice (voda má přibližně 13krát menší hustotu než rtuť, proto vystoupá asi do 13krát větší výšky), voda (nejlépe obarvená, aby byla dobře vidět), zátka na hadici, měřidlo, nádoba na vodu (kbelík), provázek a dostatečně vysoká budova.



Obr. 63 – Torricelliho pokus s vodou [foto: autorka]

Při provádění pokusu postupujeme následovně. Nejprve je třeba naplnit hadici vodou, a to tak, aby v ní nebyly vzduchové bubliny. Kbelík s obarvenou vodou umístíme výše než hadici a jeden její konec ponoříme pod hladinu. Je velmi důležité, aby konec hadice zůstal pod hladinou po celou dobu pokusu, proto je možné svěřit tento úkol žákům nebo použít nějaké závaží. Hadici pak plníme vodou z kbelíku a využíváme k tomu principu spojených nádob. V okamžiku, kdy na druhém konci voda začne z hadice vytékat, tento konec zazátkujeme, aniž by do hadice vniknul vzduch.

Následně pomocí provázku vytáhneme zaškrčený konec hadice do výšky. K tomu je potřeba vybrat místo vhodné pro provedení tohoto experimentu, například dostatečně vysoké točité schodiště nebo okno vícepatrové budovy. Při vytahování hadičky se

v určitém místě vodní sloupec zastaví a dál už nebude stoupat s ní. Tuto výšku měříme pomocí měřidla od hladiny vody v nádobě.

Tento experiment lze použít jako motivační, ilustrační i ověřovací. Může mu přecházet fyzikální úloha, kdy žáci počítají, jak dlouhou hadici budou k provedení pokusu potřebovat (Obr. 64) a také na něj lze navázat úlohou, kdy žáci počítají hodnotu atmosférického tlaku v daném místě.

Jak dlouhou trubici potřebujeme, abychom mohli Torricelliho pokus provést s vodou? (počítejme s hodnotou atmosférického tlaku 10^5 Pa)

$$p_a = 10^5 \text{ Pa}; \rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}; h = ?$$

$$p_a = p_h = h\rho g$$

$$h = \frac{p_a}{\rho g}$$

$$h = \frac{10^5}{1000 \cdot 9,81} \text{ m}$$

$$\underline{h = 10,2 \text{ m}}$$

Potřebujeme trubici dlouhou 10,2 m.

Obr. 64 – Úloha k Torricelliho pokusu [zdroj: autorka]

Protože je tento experiment náročný na prostor, neměla jsem možnost jej provést se svými studenty ve škole. Vyzkoušeli jsme ho však se spolužáky na půdě naší fakulty (Obr. 63).

4.12. Pascalův zákon

Tlak vyvolaný v kapalině vnější silou se podle Pascalova zákona šíří všemi směry. Své poznatky k tomuto tématu Blaise Pascal zveřejnil v *Traktátech o rovnováze tekutin a tíze vzduchu*. Demonstrovat to můžeme například jednoduchým pokusem s Pascalovým ježkem (Obr. 65) nebo jeho náhradou z plastové lahve.



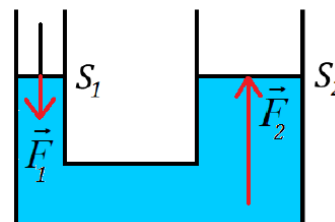
Obr. 65 – Pascalův ježek [foto: autorka]

Do horní části láhve jehlou propícháme několik otvorů. Láhev naplníme obarvenou vodou do možné výšky a uzavřeme ji víčkem. Následně ji otočíme dnem vzhůru a stlačíme. Voda tryská ve směru kolmém k otvorům, což dokazuje platnost Pascalova zákona.

Stejný princip má injekční stříkačka, v níž tlak vyvolaný stlačením pístu způsobí vystříknutí vody. Pokud by měla injekční stříkačka více otvorů, vystřikovala by voda ze všech otvorů stejnou rychlostí a směrem kolmým ke stěně, protože ve všech místech objemu kapaliny je stejný tlak.

4.13. Pascalova hydraulická zařízení

Z Pascalova zákona vychází i princip hydraulických zařízení. Hydraulické zařízení je mechanický stroj, který má dva písty a je naplněn kapalinou (nejčastěji hydraulický olej). Síla F_1 , která působí na užší píst o obsahu S_1 , vyvolá v kapalině tlak, který se šíří v kapalině do všech míst. Stejně velký tlak tedy působí i na širší píst. Jeho obsah S_2 je větší, je tedy větší i síla F_2 , která ho zvedá. Platí totiž vztah $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$ (Obr. 66).



Obr. 66 – Princip hydraulického zařízení [zdroj: autorka]

Jednoduché hydraulické zařízení snadno vyrobíme ze dvou injekčních stříkaček různého průměru, hadičky a vteřinového lepidla (Obr. 67). Jako náplň použijeme obarvenou vodu. Obě stříkačky spojíme hadičkou, aby se nerozdělovaly, použijeme lepidlo. Pak je naplníme obarvenou vodou, aby se uvnitř nenacházel žádný vzduch.

Pokud nejsou k dispozici pomůcky dostatečné velikosti, pak není vhodné používat je pro demonstrační experiment. Je možné vyrobit více kusů a pracovat s žáky ve dvojicích nebo skupinách. I tento experimentální aparát si mohou žáci vyrobit sami. Téma pokusu navazuje na Pascalův zákon, můžeme ho považovat za pokus aplikační (hydraulické zařízení jsou například brzdy automobilu).



Obr. 67 – Hydraulické zařízení z injekčních stříkaček [foto: autorka]

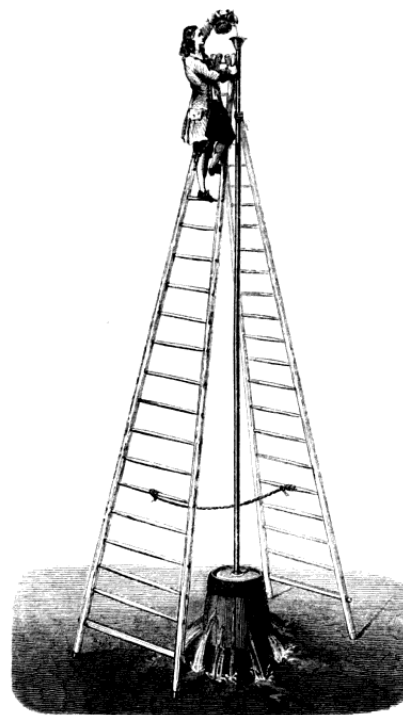
4.14. Pascalův pokus s dřevěným sudem

Blaise Pascal roku 1647 veřejně provedl experiment, s jehož pomocí prokázal, že hydrostatický tlak kapaliny v tíhovém poli závisí na její hustotě a hloubce (Obr. 68). Použil k tomu dřevěný sud, který až po okraj naplnil vodou a zakryl víkem. Do malého otvoru ve víku zasunul dlouhou úzkou trubici a otvor utěsnil. Následně přiléval do trubice vodu a když hladina v trubici vystoupala několik metrů vysoko, sud praskl a voda se vyvalila ven. Příčinou byl hydrostatický tlak.

Školní experiment

Místo dřevěného sudu, který není v dnešní době tak běžně dostupným předmětem, lze použít obyčejný igelitový sáček. Dále budeme potřebovat hadičku délky 5 m (lze použít stejnou jako pro Torricelliho pokus), provázek, nádoby na vodu a barvivo, schodiště nebo polystyrenové desky na podložení.

Hadičku nejprve celou naplníme vodou, aniž by se do ní dostal vzduch. Ponoříme ji pod hladinu s vodou a na jeden konec provázkem přivážeme sáček. Tento uzavřený konec přesuneme do prázdné nádoby. Otevřený konec hadice pak opatrně přemístíme do nádoby s obarvenou vodou, do hadice při tom nesmí vniknout žádný vzduch. Tuto nádobu pak postupně podkládáme a zvyšujeme tak výšku vodního sloupce, dokud sáček nepraskne. K podložení můžeme ve škole využít schodiště, vhodné jsou také polystyrenové desky s výškou 10 cm (10 cm vodního sloupce vyvolá hydrostatický tlak přibližně 1 kPa). [31] Tlak, který způsobil prasknutí sáčku, pak spočítáme s využitím vztahu $p = h\rho g$. Experiment je vhodný k demonstraci Pascalova zákona a hydrostatického tlaku.



Obr. 68 – Pascalův pokus s dřevěným sudem [44]



Obr. 69 – Pascalův sáček [31]

4.15. Boylova vývěva

Vývěva je zařízení, které umožňuje v určitém prostoru odčerpát vzduch a snížit tak jeho tlak pod hodnotu atmosférického tlaku. Robert Boyle nebyl prvním fyzikem, který experimentoval s vývěvou. Před ním to byl například již jmenovaný Otto von Guericke. Boylova vývěva měla oproti Geurickově skleněné stěny, proto bylo možné sledovat jevy, ke kterým dochází ve vakuu nebo za sníženého tlaku. Následují příklady experimentů, které tyto jevy demonstrují.



Obr. 70 – Boylova vývěva: náčrtek, vpravo její replika z londýnského muzea [38], [66]

Vývěva a balónek

Prvním experimentem s vývěvou ukážeme, že je pod recipientem opravdu snížený tlak. Pod zvon vložíme částečně nafouknutý balónek nebo gumovou rukavici. Jakmile začneme snižovat tlak vně balónku, balónek se postupně nafukuje. Uvnitř balónku zůstává tlak stejný, na jeho stěnu tedy působí síla zevnitř a nafukuje ho, aby se tlaky uvnitř i vně vyrovnaly. Když demonstrátor uvolní ventil, dojde k vyrovnávání tlaku pod recipientem s okolím a balónek se vrátí na svůj původní objem. Zvláště pro děti zajímavou variantou k tomuto pokusu je, když nahradíme balónek pěnovým bonbónem marshmallow (vyzkoušeno se značkou JoJo). Z mé zkušenosti na to velmi dobře reagovali i studenti prvního ročníku gymnázia.

Vakuum se zvuk nešíří

Zvuk je mechanické vlnění, které se ze zdroje šíří prostřednictvím látkového prostředí. Tímto pojmem je obvykle označován pouze rozsah frekvencí přibližně od 16 Hz do 16 kHz, který dokáže vnímat lidské ucho.

Vložíme-li pod recipient vývěvy zdroj zvuku, například zvonící budík, Když začneme z vývěvy odčerpávat vzduch, zvuk se postupně zeslabuje. Máte-li dostatečně výkonné zařízení, pak zvuk přestane být slyšet úplně. Uvolněním ventilu se pod zvon vývěvy dostane vzduch a zvuk je opět slyšitelný.

Var vody při pokojové teplotě

Var je speciálním případem vypařování, kdy se kapalina vypařuje nejen z povrchu, ale z celého objemu. Voda se za normálních podmínek, tedy za normálního atmosférického tlaku 100 kPa, vaří při teplotě 100 °C. Snížením tlaku však snížíme také teplotu varu vody. Na provedení experimentu stačí vývěva s příslušenstvím, kádinka a horká voda, která už není vroucí. Kádinku s horkou vodou umístíme pod zvon vývěvy a spustíme ji. Po nějaké době začne voda v kádince vřít. Nevýhodou tohoto pokusu je, že vodní pára na stěnách vývěvy kondenzuje a zhoršuje viditelnost.

Experiment dokazuje, že při tlaku nižším, než je tlak atmosférický, je nižší také teplota varu vody. Je vhodné jej zařadit do výuky při probírání tlaku v plynech nebo fázových přeměn (1. – 2. ročník SŠ).

Přečerpávání vody

Na stejném principu jako nafukování balónku ve vývěvě funguje i přečerpávání vody. K experimentu potřebujeme kromě vývěvy obarvenou vodu, baňku se zátkou, zahnutou trubičku a prázdnou kádinku. Baňku přibližně z poloviny naplníme obarvenou vodou a do zátky vyvrtáme otvor, kterým projde trubička. Baňku zazátkujeme a protáhneme do ní trubičku tak, aby sahala až na dno. Spoj vzduchotěsně uzavřeme. Pod druhý konec trubičky umístíme prázdnou kádinku a celou sestavu vložíme pod zvon vývěvy.

Při odsávání vzduchu klesá tlak v okolí soustavy a jeho hodnota je menší než uvnitř baňky. Při snaze o vyrovnání tlaků je voda z baňky vytlačena do kádinky. Naopak, když pustíme vzduch zpátky, přečerpá se voda zpět do baňky.

Vztlaková síla v plynech

Vztlakovou sílu, která působí na tělesa v kapalinách, známe dobře z vlastní zkušenosti. Její účinky můžeme při koupeli nebo plavání v bazénu pozorovat sami na sobě. Mnoho lidí si však ani neuvědomuje, že stejná síla působí i ve vzduchu, i když o hodně menší, a díky tomu můžeme létat letadlem nebo horkovzdušným balónem. Stejně jako v kapalinách, i v plynech platí pro všechna tělesa Archimedův zákon.

K demonstraci Archimedova zákona v plynech se využívá dasymetr (Obr. 71). To je zařízení, které vypadá jako malé rovnoramenné váhy. Na jednom rameni je dutá uzavřená skleněná baňka a na druhém kovové závaží o stejné hmotnosti. Pokud není k dispozici, lze jej vyrobit z polystyrenové koule a závažíčka o stejné hmotnosti. Obojí se upevní k tyčince, která se může volně naklánět.



Obr. 71 – Dasymetr
[foto: autorka]

Dasymetr poté uzavřeme do vývěvy a začneme odčerpávat vzduch. Za normálních podmínek je ve vodorovné poloze, baňka je vyvážena závažím. Tím, že snížíme tlak vzduchu v okolí dasymetru, zmenší se vztlaková síla, která na tělesa působí. Větší vztlaková síla působí na těleso s větším objemem, v tomto případě bude mít vztlaková síla větší vliv na baňku. Baňka tedy ve vakuu klesá.



Obr. 72 – Pokusy s vývěvou [foto: autorka]

4.16. Magdeburské polokoule Otto von Guericcka

Robert Boyle byl v kariéře experimentátora ovlivněn svými předchůdci. Zvláště se zajímal o Guerickovy pokusy s vakuem a atmosférickým tlakem. Nejznámější z nich je pokus s Magdeburskými polokoulemi, jehož různé obměny ve druhé polovině 17. století veřejně prováděl starosta města Magdeburg Otto von Guericke.



Obr. 73 – Magdeburské polokoule na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové [foto: autorka]

Dvě duté měděné polokoule o poloměru asi 0,6 m s úchyty byly přitisknuté dutinami k sobě a spojení bylo utěsněno speciálně upravenou kůží. Když byl z prostoru uvnitř odčerpán vzduch, polokoule od sebe oddělilo teprve 16 koní, tedy 4 páry na každé straně¹⁹. Polokoule držely u sebe tlakem okolního vzduchu, tedy tlakem atmosférickým. Později dále zkoumal atmosférický tlak a tento pokus opakoval také v mírně obměněné podobě, kdy spojené polokoule v menší velikosti zavěsil a na dolní konec přidával závaží, dokud od sebe polokoule neodtrhly.

¹⁹ Pokud by byly polokoule na jedné straně upevněny k nějakému nehybnému objektu (například domu), stačily by Otto von Guerickeovi na oddělení polokoulí pouze polovina koní. Ze zákona akce a reakce totiž i při pokusu s osmi páry koní jsou polokoule odtrhávány silou pouze 4 párů.

Pokus s Magdeburskými polokoulemi ve škole

Pokud nemá učitel fyziky ve svém fyzikálním kabinetu napodobeniny Magdeburských polokoulí, pak může využít běžně dostupných předmětů. Dobře nám poslouží jakékoli dvě stejné přísavky, např. zvony pro čištění odpadu nebo přísavky



Obr. 74 – Magdeburské polokoule ze zvonů na odpad [foto: autorka]

s kroužkem na uchycení. Stykové plochy zbavíme nečistot a přísavky k sobě přitiskneme. Jejich roztrhnutí brání vnější atmosférický tlak. Pokusem tedy žákům demonstrujeme, jak „mocný“ je tlak vzduchu kolem nás.

Pokud použijeme gumový zvon na odpad, mohou si žáci vyzkoušet svoji sílu. Menší žáci trhají po dvojicích, na každém konci jeden, ale je třeba dbát na jejich bezpečnost, aby se při tahání nezranili (po uvolnění polokoulí od sebe mohou spadnout). Ti větší si vystačí jednotlivě (Obr. 74).

Také v souvislosti s tímto experimentem lze zadat žákům historicky motivovanou fyzikální úlohu (Obr. 75). Její zadání lze také obměnit, sílu potřebnou k odtržení polokoulí můžeme spočítat pro konkrétní použité přísavky (záleží vždy na jejich stykové ploše).

Roku 1654 provedl magdeburský starosta Otto von Guericke pokus, který prokázal existenci atmosférického tlaku. Spojil dvě duté měděné polokoule o průměru 0,6 m a z dutiny mezi nimi odčerpал vzduch. Na jejich rozdělení využíval síly koní. Jakou silou museli koně táhnout, aby od sebe polokoule oddělili?
(počítejme s hodnotou atmosférického tlaku 10^5 Pa)

$$p_a = 10^5 \text{ Pa}; d = 0,6 \text{ m}; F = ?$$

$$p_a = \frac{F}{S}$$

$$F = p_a \cdot S = p_a \cdot \pi \cdot d^2$$

$$F = 10^5 \cdot \pi \cdot 0,6^2 \text{ N}$$

$$\underline{F = 113\,097 \text{ N}}$$

Koně museli vyvinout sílu asi 113 kN.

Obr. 75 – Úloha k pokusu s Magdeburskými polokoulemi [zdroj: autorka]

4.17. Kyvadlové hodiny Christiaana Huygense

Vědecky začal zkoumat pohyb kyvadla Galileo Galilei v 16. století. Po něm se ještě několik badatelů snažilo využít kyvadlo k měření času, mezi nimi i český fyzik a lékař Jan Marek Marci. Konstrukce prvních kyvadlových hodin je však připisována právě Christiaanovi Huygensovi, který na ně roku 1657 získal patent. Teoreticky je popsal v díle *Kyvadlové hodiny (Horologium Oscillatorium sive de motu pendulorum)*. Huygensovy hodiny byly tak přesné, že pomocí nich bylo možné určit změnu tíhového zrychlení se zeměpisnou šířkou. Používají se dodnes.

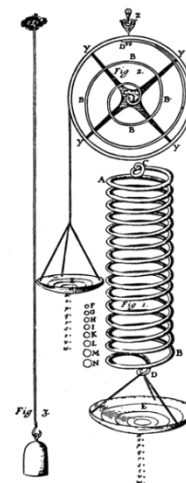


Obr. 76 – Huygensovy hodiny a ukázka z *Horologium Oscillatorium* [67]

Jedná se o hodiny s netlumeným kyvadlem, takže jejich konstrukce musí obsahovat mechanismus, který kyvadlu dodává energii. Pro školní účely a motivaci žáků historickým experimentem s měřením času lze opět využít sekundové kyvadlo (viz kapitola 4.7.).

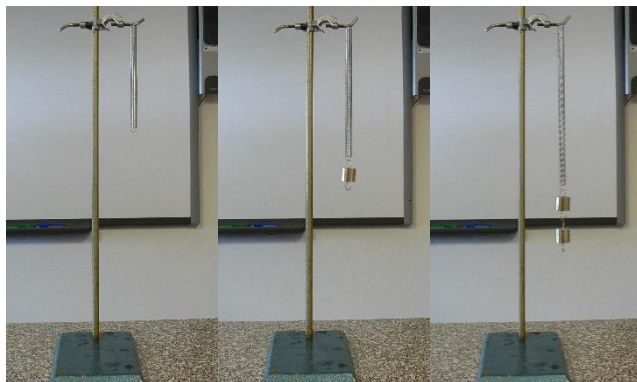
4.18. Hookeovy pružné deformace

Robert Hooke experimentoval s pružinami a roku 1660 díky tomu objevil zákon pružných deformací těles: velikost deformace tělesa je přímo úměrná napětí v tělese. Zjistil tedy, že prodloužení pružiny závisí na hmotnosti zátěže. Pro ověření platnosti této závislosti provedeme kvantitativní pokus.



Obr. 77 – Ilustrace z Hookova spisu o pružných deformacích [78]

K provedení experimentu budeme potřebovat stojan, pružinu, metr a několik závaží. Pružinu zavěsíme a změříme její délku, kterou označíme l_0 . Poté měříme délku pružiny po přidání jednotlivých závaží známé hmotnosti. Naměřené hodnoty lze zapsat do tabulky a případně vytvořit graf, který přehledně ukáže závislost obou veličin. Z naměřených hodnot je pak možné vypočítat také důležitou vlastnost pružiny, její tuhost. Experiment lze obměnit použitím různých pružin a určováním jejich tuhostí.



Obr. 78 – Prodloužení pružiny s přibývající zátěží
[foto: autorka]

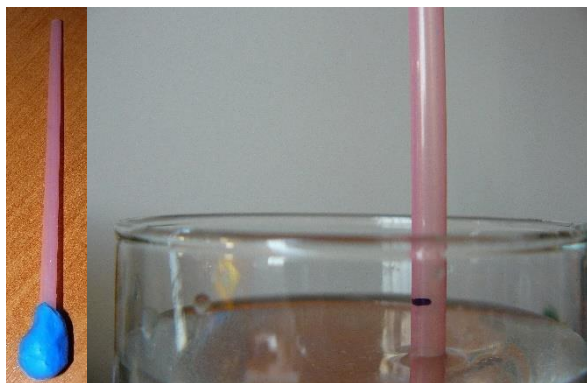
4.19. Hookův hustoměr

Dalším z Hookových vynálezů je hustoměr. Hustoměr je zařízení k určování hustoty kapalin. Obvykle má tvar uzavřené trubice se stupnicí, dole zakončené baňkou (Obr. 79). Funguje na principu Archimedova zákona. Vyrábí se s různými rozsahy pro měření různých druhů kapalin.

Vyrobíme si jednoduchý hustoměr pro porovnání hustoty vody a solného roztoku. K sestavení hustoměru potřebujeme pouze brčko a plastelínu. Z brčka odstříhneme kolínko a na jeden jeho konec připevníme plastelínu, její množství upravíme tak, aby po ponoření do vody hustoměr plovál



Obr. 79 –
Hustoměr [68]



Obr. 80 – Hustoměr a jeho poloha v nádobě se slanou vodou (čárka označuje ponor v čisté vodě [foto: autorka]

kolmo k hladině a brčko bylo alespoň z poloviny pod hladinou [32]. Následně si připravíme dvě sklenice, jednu s čistou vodou a druhou s vodou s rozpuštěnou solí. Když pak ponoříme hustoměr do čisté vody, označíme fixem ponor. To samé zopakujeme pro slanou vodu a vidíme, že se tentokrát ponořil méně. Čím větší je ponor hustoměru, tím menší je hustota

kapaliny. Z pozorování tedy vyplývá, že slaná voda má větší hustotu než čistá. Toto tvrzení jsme s žáky ověřili v tabulkách.

4.20. Newtonovy zákony

V první části nejvýznamnějšího Newtonova díla *Matematické základy přírodní filozofie* (*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*) najdeme i formulace tří pohybových zákonů, které se týkají klasické mechaniky, přesněji dynamiky těles.

Zákon setrvačnosti

Originální znění zákona je následující: „*Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.*“ V češtině jej interpretujeme takto: „*Každé těleso setrvává v relativním klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, dokud není přinuceno silovým působením jiných těles tento stav změnit.*“ (21)

K demonstraci zákona setrvačnosti potřebujeme sklenici s vodou, kovovou minci (vhodná je 50 Kč) a čtvrtku. Čtvrtku položíme na sklenici a na ní umístíme minci (Obr. 81). Pokud prudce trheme papírem, mince spadne do sklenice. Experiment je vhodný také jako frontální, žáci mohou zkusit pomalý a prudký pohyb při odtržení papíru, nebo různé druhy mincí (lehčí, těžší).



Obr. 81 – Demonstrace zákona setrvačnosti [foto: autorka]

Pomocí setrvačnosti můžeme také poznat, zda je vejce syrové nebo uvařené. Pro práci s žáky si připravíme dostatek vajec (podle počtu žáků), mezi nimiž jsou jak vejce syrová, tak uvařená. Vnitřek syrového vejce je tekutý, proto když ho položíme na stůl a roztočíme, bílek a žloutek mají snahu setrvat v klidu a otáčivý pohyb tak utlumí. Naproti tomu vnitřek uvařeného vajíčka je více či méně ztuhlý a spojený se skořápkou, proto se pohybuje naráz celé a otáčí se, dokud jej nezastaví tření skořáčky o stůl.

Zákon síly

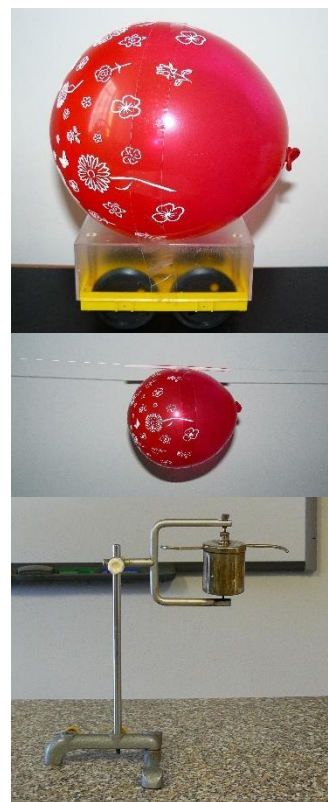
Tento zákon v latině zní: „*Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae et fieri secundam lineam rectam qua vis illa imprimitur.*“ Přeloženo do českého jazyka: „*Velikost zrychlení hmotného bodu je přímo úměrná velikosti výslednice sil působících na hmotný bod a nepřímo úměrná hmotnosti tělesa. Směr zrychlení je shodný se směrem výslednice sil.*“ (21)

Demonstrovat, že zrychlení tělesa nepřímo závisí na jeho hmotnosti, můžeme například házením dvěma stejně velkými ale různě těžkými koulemi (například vrhačské koule, které používají atleti). Při vynaložení stejné síly doletí dál lehčí koule, je snadnější ji urychlit. Stejně tak prázdný automobil se rozjede rychleji (s větším zrychlením) než plně naložený. Naopak budeme-li mít dva stejně těžké předměty a na každý bude působit jiná síla, s větším zrychlením se bude pohybovat těleso, na které působí větší síla (automobil s výkonnějším motorem).

Zákon akce a reakce

Originální podoba třetího Newtonova zákona: „*Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem; sive: corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.*“ Jeho česká verze: „*Každá dvě tělesa na sebe vzájemně působí stejně velkými silami opačného směru (jedné síle se říká akce, druhé reakce). Akce a reakce současně vznikají a současně zanikají.*“ (21)

Platnost vzájemného působení těles snadno ověříme pokusem. Využijeme k tomu vozíček s připevněným nafouknutým balónek, který položíme na rovnou desku stolu nebo podlahu (Obr. 82). Uvnitř balónku je větší tlak vzduchu než v okolí, takže jakmile uvolníme balónek, vzduch začne unikat. Díky tomu se vozíček začne pohybovat opačným směrem než unikající vzduch. Podobně lze



Obr. 82 – Ověření zákona akce a reakce, Segnerovo kolo [foto: autorka]

nafouknutý balónek přilepit izolepou k brčku a navlíknout na provázek. Když budeme mít připravenou takovouto raketu, stačí jen vymezit jí provázkem trajektorii.

Jinou možností je využít model Segnerova kola (Obr. 82), který naplníme vodou a postavíme nad zapálený kahan. Voda uvnitř se mění v páru a uniká vývody, díky čemuž se kolo roztočí. Tato reaktivní síla lze demonstrovat i s vodou (princip turbíny).

4.21. Newtonova trubice

Pomocí Newtonovy trubice (Obr. 83) lze kvalitativním pokusem demonstrovat volný pád tělesa (učivo prvního ročníku SŠ). V trubici, v níž je normální atmosférický tlak, padají různá tělesa různou rychlostí, neboť závisí na odporu vzduchu uvnitř trubice. Pokud z ní odčerpáme vzduch a vytvoříme vakuum, padají různě těžká tělesa stejnou rychlostí, protože na ně žádná odporová síla nepůsobí.



Obr. 83 – Newtonova trubice, vpravo detail [foto: autorka]

4.22. Newtonova skla

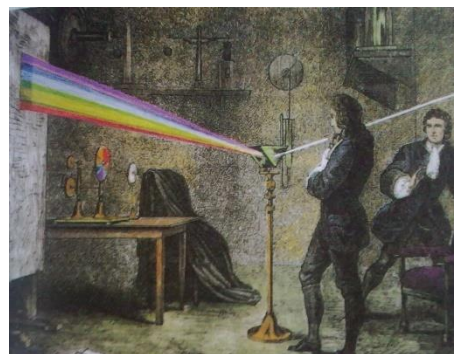
Jedná se o zařízení určené k pozorování interference (skládání) světla. Je tvořeno skleněnou deskou a k ní přiloženou ploskovypuklou čočkou (Obr. 84). Okolo míst dotyku je tenká vzduchová vrstva, její tloušťka lze nastavit. Při dopadu světla dochází k interferenci prošlého a odraženého světla, interferenční obrazec při použití bílého světla jsou duhové Newtonovy kroužky. Demonstrační experiment s Newtonovými skly je vhodné zařadit při probírání interferenčních jevů.



Obr. 84 – Newtonova skla [69, foto: autorka]

4.23. Newtonova spektra

Již od mládí se Newton věnoval výzkumu optických jevů, ale jeho práci mnoho vědců odmítalo. Svoje objevy týkající se rozkladu bílého světla skleněným hranolem a teorie barev duhy Isaac Newton publikoval v časopise *Philosophical Transactions* pod názvem *Nová teorie světla a barev (New Theory about Light and Colours)*.



Obr. 85 – Newton experimentuje se světlem [76]

Podle Newtona je bílá barva „obyčejnou barvou světla“ a světlo se skládá z paprsků všech barev. Ostatní tělesa mají různé barvy podle toho, kterou část paprsků odrážejí. Proti tomuto názoru však vystupovali například Christiaan Huygens nebo Robert Hooke, s kterým byl v konfliktu i kvůli gravitační teorii. [9]

Spektroskop I

K rozkladu světla na spektrální barvy můžeme obecně použít hranol nebo mřížku. Jednoduchý mřížkový spektroskop vyrobíme z CD, lepenkové krabičky (například od čaje), nože, lepidla a alobalu či neprůhledné pásky.

Krabičku slepíme lepidlem tak, aby se nerozkládala, a nožem vyřízneme do jejích stěn otvor na pozorování, štěrbinu a výřez na zasunutí CD podle obrázku (Obr. 86). Ten by měl s vodorovným dnem krabičky svírat úhel přibližně 30° . Štěrbinu vytvoříme tak, že nejdříve vyřízneme do stěny krabičky větší otvor, který pak upravíme na požadovanou šířku pomocí více vrstev alobalu nebo neprůhledné pásky. Šířka štěrbiny by měla být



Obr. 86 – Spektroskop z CD a krabičky od čaje [foto: autorka]

asi 1 mm. Celý spektroskop můžeme navíc ještě zabalit do alobalu, aby dovnitř nevnikalo žádné další světlo.

Experimentování s tímto spektroskopem je vhodné i pro žáky základní školy, mohou si jej sami vyrobit ve škole nebo doma. Důležité je dbát na jejich bezpečnost, zvláště při práci s nožem.

Spektroskop II

Následující konstrukce spektroskopu je o něco náročnější. Stejně jako předchozí však využívá CD či DVD jako difrakční mřížky, stačí z něj však vykrojit pouze díl, neboť by bylo nepraktické zabudovat do spektroskopu celý disk. Jako tubus je použita polypropylenová trubka o průměru 40 mm a délce asi 200 mm, nastříkaná matným černým sprejem, aby nedocházelo k nežádoucím odleskům. Lze ji však nahradit i papírovým tubusem. Oba konce trubky jsou uzavřeny plastovými zátkami, které není třeba lepit, a v jedné z nich je vyříznutá štěrbinina. Tu je opět možné upravit na požadovanou šířku pomocí neprůhledné pásky. Mřížka je přilepená k otočnému šroubu, aby jí šlo vhodně natáčet (Obr. 87).

Výroba tohoto spektroskopu je jednoduchá a vyžaduje pouze pomůcky, které buď máme doma, nebo je snadno seženeme v obchodě a jejich pořízení není nákladné. Nevýhodou je, že spektrum tvoří oblouky a může být zkreslené, což je dáno tvarem CD a jeho plastovým povrchem.

Při pokusech s oběma spektroskopy mohou žáci pozorovat spektra z různých zdrojů světla (žárovky, zářivky, Slunce apod.) a porovnávat je mezi sebou.



Obr. 87 – Spektroskop [foto: autorka]

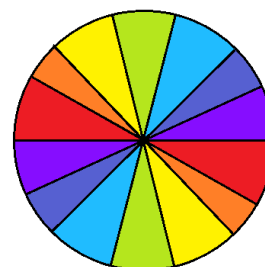
Skládání barev

Rozložit bílé světlo na jednotlivé spektrální barvy se podařilo i českému fyzikovi Janu Markovi Marcimu. Použil k tomu optický hranol, stejně jako později Isaac Newton. Ten však zkusil i opačný postup, tedy z barevných paprsků složit opět světlo bílé. Historie fyziky tedy připisuje tento objev právě Newtonovi. Rozklad světla a skládání barev lze ve škole demonstrovat tedy například pomocí hranolu.



*Obr. 88 – Míchání barev
na Newtonově kotouči
[foto: autorka]*

Jinou variantu, jak dokázat že bílé světlo je složené, nabízí tzv. Newtonův kotouč. Školní demonstrační exemplář v podobě káči je na Obr. 88. Povrch kotouče je rozdělen na 14 výsečí, které jsou vybarveny barvami spektra: červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá, fialová, jejichž posloupnost se dvakrát opakuje (Obr. 89). Můžeme ho vybarvit ručně nebo ho vytisknout, je vhodné jej podlepit kartonem nebo tvrdým papírem. Pokud kotouč roztočíme s dostatečnými otáčkami, například využitím vrtačky nebo ručního šlehače, bude se kotouč jevit šedivý až bílý. Stejně tak lze skládat i dvojice barev a vytvořit například z modré a žluté barvu zelenou.

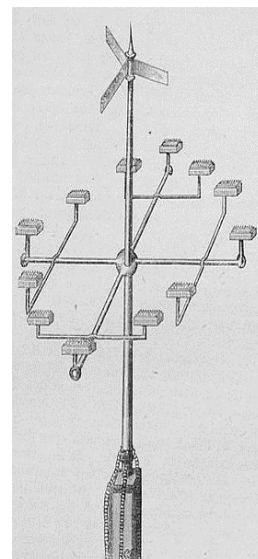


*Obr. 89 – Newtonův kotouč
[zdroj: autorka]*

Experiment dokazuje, že barva světla ze zdroje nebo osvětleného předmětu je výsledkem souhrnného vnímání monofrekvenčních světél různých barev, které těleso vyzařuje nebo odráží, naším okem. Na toto téma lze navázat demonstrací míchání barev, aditivního ze základních barev červené, zelené a modré, nebo subtraktivního míchání azurové, purpurové a žluté barvy, pomocí filtrů přiložených ke zdroji bílého světla.

4.24. Divišův povětrnostní stroj

Prokop Diviš byl roku 1753 hluboce zasažen smrtí petrohradského profesora Georga Wilhelma Richmanna, který tragicky zahynul při svých pokusech s „bleskovým strojem“. Přestože atmosférickou elektřinou se v té době zabývalo mnoho učenců, byl naštěstí jedinou obětí. To však ostatní od zkoumání blesků neodradilo, naopak k tomuto tématu nevědomky upoutal pozornost. Český přírodovědec o příčinách profesorovy smrti napsal dopis do berlínské Akademie, upozorňoval v něm také na nebezpečnost takových pokusů a sděloval, že se chystá sestrojít „povětrnostní stroj“. Nedostal žádnou odpověď. Richmannova smrt však zdá se jen urychlila konstrukci jeho uzemněného bleskosvodu.



Obr. 90 – Divišův bleskosvod [70]

„Machina meteorologica“ (Obr. 90) byla konstrukce vysoká nejprve 15 metrů a později až 41,5 metru. Skládala se ze sloupu pobitého plechem, koruny a upevnění. Korunu jeho bleskosvodu tvořil horizontální kříž s dalšími rameny, na nichž bylo umístěno 12 kovových krabic. Z nich čněly vzhůru ostré kovové hroty. Nad ní byla umístěna ještě otáčivá křídélka, jejichž úkolem bylo plašit ptáky. Celou konstrukci poutaly k zemi 3 železné řetězy, zakotvené hluboko v zemi. Koruna fungovala jako jímač blesků a pomocí vodivých řetězů byl náboj uzemněn.



Obr. 91 – Rodný domek Prokopa Diviše i s kopií „povětrnostního stroje“ [62]

Divišův povětrnostní stroj byl hotov 15. června 1754. Měl fungovat preventivně a vysávat z atmosféry elektřinu, aby ke vzniku blesků vůbec nedocházelo. Již ten den mohl svůj přístroj vyzkoušet, neboť k Příměticím se hnala bouřka. Podle dobových novinových zpráv vynález opravdu fungoval.

Současně na svém zařízení na ochranu budov před blesky pracoval i americký vědec Benjamin Franklin. Svůj tyčový bleskosvod sestrojil však až 6 let po Divišovi. Jeho konstrukce byla jednodušší, a tak se jeho bleskosvod rychle rozšířil. [25]

4.25. Pokusy z elektrostatiky

Prokop Diviš se zajímal nejen o elektřinu atmosférickou, ale prováděl experimenty také se statickou elektřinou pozemskou. Využíval k tomu přístroj zvaný elektrum (Obr. 92). Následují jednoduché experimenty z elektrostatiky, vhodné pro demonstraci elektrického náboje ve škole. Využijeme běžně dostupné a nenákladné pomůcky: plastová tyčka, několik plechovek (např. od kompotu), alobal, kancelářské sponky, brčka, nafukovací balónky, pingpongový míček a polystyren. Polystyren použijeme jako izolaci, aby se soustava, se kterou pracujeme nevybílžela (lze využít i obrácený talíř, plastový kelímek apod.).



Obr. 92 – Replika Divišovy třecí elektriky, kterou nazýval elektrum [77]

Nabíjení plechovek

Plechovku položíme na polystyren a na její okraj zavěsíme pomocí kancelářských sponek kousky alobalu, jeden zvenku a druhý zevnitř. Plastovou tyč třením nabijeme a vzniklý záporný náboj dotykem přeneseme na plechovku. Náboj se rovnoměrně rozloží po celém povrchu plechovky i na alobal. Protože se souhlasné náboje odpuzují, alobal zvenku se odchýlí od plechovky. Vnitřní alobal svoji polohu nezmění, protože náboj se nachází pouze na povrchu plechovky a ne uvnitř. Viz Obr. 93 nahoře.

Plechovku lze však nabít i bezdotykově. Umístíme ji stejně jako v prvním případě na kousek polystyrenu,



Obr. 93 – Nabíjení plechovek [foto: autorka]

alobal však necháme pouze vně. Opět třením nabijeme plastovou tyčku, ale tentokrát ji jen přiblížíme do nitra plechovky, aniž by se jí dotkla. Využijeme tak principu elektrostatické indukce. Viz Obr. 93 dole.

Elektrostatika s brčky

Přitažlivou a odpudivou elektrostatickou sílu můžeme žákům ukázat i pomocí několika brček. Dvě brčka položíme podélně vedle sebe a kolmo na ně položíme třetí brčko (Obr. 94). Pokud nyní budeme přibližovat zelektrovanou plastovou tyčku k volně položenému brčku, bude se pohybovat s tyčkou (přibližovat nebo oddalovat podle shodnosti náboje). Podobně můžeme zelektrovat brčko a donutit tak k pohybu jiné brčko, ale také třeba plechovku od nápoje.



Obr. 94 – Elektrostatika s brčky
[foto: autorka]

Elektrostatika s nafukovacími balónky

Další možnou variantou pokusu s elektrostatickým nábojem je využití nafukovacích balónků. Balónek jednoduše zelektrujeme třením o vlasy. Když ho poté přiložíme ke stěně nebo stropu, drží ho tam elektrostatická síla. Použijeme-li dva balónky, přivážeme k nim provázky a zelektrujeme je, budou se odpuzovat. Pokud mezi ně list vložíme papíru, budou se k němu naopak přitahovat.

Elektrostatické kyvadlo

Tentokrát umístíme na polystyren plechovky dvě. Spojíme je kouskem brčka, na které do prostoru mezi plechovky pověsíme na provázku navázaný pingpongový míček obalený alobalem. Jednu plechovku pak uzemníme kouskem alobalu a k té druhé přibližujeme zelektrovanou plastovou tyčku. Vzniklo elektrostatické kyvadlo (Obr. 95).



Obr. 95 – Elektrostatické kyvadlo
[foto: autorka]

Elektrostatika a voda

V souvislosti s elektrostatikou se často mluví o tom, že pokusy nefungují, protože je vlhký vzduch. Proto je zajímavé žákům ukázat, že plechovku lze nabít i vodou. Připravíme jednu si plechovku na polystyren s lístkem alobalu vně a do druhé nalijeme trochu vody. Nabijeme tyč a vodu pomalu, tak aby se rozpadala na jednotlivé kapky, lijeme do připravené plechovky. Pokud přiblížíme k pramínku vody zelektrovanou tyč, lístek alobalu se viditelně zvedá (Obr. 96). Plechovka se nabila opačným nábojem, než je na tyči.



Obr. 96 – Elektrostatika a voda
[foto: autorka]

Pro všechny uvedené experimenty lze rovněž využít jině třením zelektrované tyčky či předmětu, kupříkladu tyče skleněné. V případě použití skleněné tyče však třením vzniká opačný náboj než třením tyče plastové, protože oba materiály jsou na opačných koncích tzv. triboelektrické řady²⁰. Třením plastové tyče vzniká na jejím povrchu záporný náboj a třením skleněné tyče vzniká kladný náboj.

4.26. Reflexe z praxe

Během uplynulého roku jsem měla možnost v praxi vyzkoušet většinu experimentů uvedených v této kapitole. Protože se jednalo o pokusy spojené s dějinami fyziky, byly vždy uvedeny krátkou informační prezentací o jejich autorovi, resp. autorech (například pro téma dalekohledy lze uvést hned několik jmen) a historické verzi experimentu.

Před provedením demonstračního experimentu jsem žákům popsala všechny pomůcky, které využíváme a zdůraznila, co mají při vlastním pokusu sledovat. Pokud experiment nemohla pozorovat současně celá třída, rozdělila jsem žáky na menší skupiny a opakovala pokus pro každou zvlášť. Zbytek třídy byl zaměstnán jinak.

²⁰ Triboelektrický jev nastává, získá-li určitý materiál třením elektrický náboj. Některé materiály se snadno nabíjí kladně, jiné záporně. Podle toho, jak snadno se nabíjejí statickou elektřinou jsou seřazeny do triboelektrické řady.

V případě experimentů motivovaných historií fyziky se přímo nabízí zadat žákům úlohu na stejné téma. Jako příklad lze uvést pokus s magdeburskými polokoulemi. Přísavek jsem neměla tolik, aby se dostalo na každého, rozdělila jsem proto žáky do skupin a ti se u nich vystřídali. Zbytek třídy zatím pro dvě konkrétní přísavky určoval, jakou sílu musí jejich spolužáci vyvinout, aby je od sebe oddělili.

Pokud byl pokus realizován frontálně, ať jednotlivě, ve dvojicích nebo ve skupinách, bylo důležité žákům přesně a jasně vysvětlit, co mají dělat. Jakmile začal panovat pracovní ruch, nebyla vhodná příležitost oslovit všechny žáky ve třídě a komunikace byla možná jen s každou skupinou zvlášť. V průběhu pokusu jsem byla samozřejmě žákům k dispozici a radila či pomáhala v aktuální situaci.

V obou případech byl podstatný také závěr experimentu. Snažili jsme se shrnout, co bylo jeho výsledkem, proč k tomu došlo, co se povedlo či nepovedlo a jak bychom mohli postupovat lépe. Pokud pracovali sami žáci, provedli pak krátké sebehodnocení či posuzovali spolupráci skupiny. Výstupem byl záznam do sešitu, aby se žáci mohli k demonstrovaným nebo vyzkoušeným jevům později vrátit. Podle mé zkušenosti to pak vedlo nejen ke krátkodobému obdivu, ale také porozumění a hlubšímu pochopení problému.

K demonstracím jsem často využívala vlastnoručně vyrobené pomůcky, někdy ve více exemplářích, které jsem poté poslala po třídě. Žáci si je tak mohli dobře prohlédnout. Některé jednodušší jsme zvládli během hodiny i vyrobit, například hustoměr či spektroskop z krabičky od čaje. Pokud jsme se chystali něco vyrábět, upozornila jsem žáky s dostatečným předstihem, jaké budou potřebovat materiály a nástroje. Pro ty zapomnětlivé jsem je měla připravené z vlastních zdrojů.

Někdy žáky zaujaly i složitější konstrukce, které bychom během hodiny ve škole vyrobit nestihli. Využila jsem jejich zájmu a zadala jejich výrobu jako dobrovolný domácí úkol. Kromě hotového výrobku zvyšovaly jejich motivaci také malé jedničky. Ty žáci dostávali za funkční výrobky.

Z mojí zkušenosti je pro žáky zajímavé jakékoli oživení vyučovací hodiny experimentem, tím spíše, jde-li o pokus týkající se historie. Zvyšují jejich zájem o předmět, ale napomáhají také lepšímu zapamatování a pochopení učiva. Je to však výsledek mého pozorování ve velice krátkém časovém intervalu. Jistě by bylo zajímavé, hodnotit vliv experimentů inspirovaných dějinami fyziky na motivaci a učení žáků z dlouhodobějšího hlediska.

Protože jsem měla možnost vyzkoušet jejich zařazení do výuky jak na vyšším, tak na nižším stupni víceletého gymnázia, mohu také porovnat přístup různých tříd. Všimla jsem si, že starší žáci oceňovali spíše historické okolí a zajímali se více o okolnosti z života fyzika. Naopak mladší žáci (odpovídající 6. – 7. třídě) dávali přednost výrobě vlastních pomůcek a frontálnímu provádění pokusů.

Závěr

Cílem této práce bylo představit některé osobnosti fyziky a jejich významné experimenty motivované historií v rozsahu učiva základních a středních škol. Zaměřovala se na dobu tzv. klasické fyziky v období přibližně od 16. do 18. století. Stručně se věnovala také teorii motivace a experimentu.

Záměrem praktické části práce bylo vytvořit „sbírku experimentů“ z dějin fyziky. Experiment či vynález je nejprve představen ve své historické podobě, poté doplněn o možnosti provedení v dnešních podmínkách a s dostupnými materiály. U každého z nich jsou uvedeny pomůcky, případně návod na jejich výrobu, a je navrženo jejich využití ve výuce. Svoji „sbírku experimentů“ a vyrobených pomůcek hodlám pro další výuku dále rozšiřovat.

Dalším výstupem práce jsou přehledné plakáty, na kterých žáci i učitelé najdou základní a zajímavé informace ze života konkrétního fyzika a jeho přínosy pro obor. Plakátů je celkem deset a jsou k dispozici v příloze této práce.

Vymýšlet a připravovat experimenty je velmi časově, fyzicky a někdy i psychicky náročné. I proto bych byla ráda, kdyby tato práce byla přínosná také pro další učitele fyziky a pomohla jim zařadit experiment do výuky pro žáky přitažlivou formou, aby se staly její nedílnou součástí.

Seznam použité literatury a zdrojů

1. ŘÍČAN, Pavel. *Psychologie osobnosti - obor v pohybu*. Praha : Grada Publishing a.s., 2007. stránky 92-95. ISBN 978-80-247-1174-4.
2. HUNTEROVÁ, Madeline. *Účinné vyučování v kostce*. Praha : Portál, 1999. stránky 21-31. ISBN 80-7178-220-3.
3. PETTY, Geoff. *Moderní vyučování*. Praha : Portál, 2013. stránky 53-69. ISBN 978-80-262-0367-4.
4. TOMÁŠEK, Vladislav a kol. *Výzkum TIMSS 2007: obstojí čeští žáci v mezinárodní konkurenci?* Praha : Ústav pro informace ve vzdělávání, 2008. ISBN 978-80-211-0565-2.
5. SVOBODA, Emanuel a KOLÁŘOVÁ, Růžena. *Didaktika fyziky základní a střední školy: vybrané kapitoly*. Praha : Nakladatelství Karolinum, 2006. stránky 93-117. ISBN 80-246-1181-3.
6. VYBÍRAL, Bohumil. *Kapitoly z experimentální fyziky*. Hradec Králové : Gaudeamus, 2014. ISBN 978-80-7435-545-5.
7. ECKERTOVÁ, Ludmila. *Cesty poznávání ve fyzice*. Praha : Prometheus, 2004. ISBN 80-7196-293-7.
8. KAŠPAR, Emil. *Didaktika fyziky - obecné otázky*. Praha : SPN, 1978. stránky 179-203.
9. ŠTOLL, Ivan. *Dějiny fyziky*. Praha : Prometheus, 2009. stránky 13-20,137-379. ISBN 978-80-7196-375-2.
10. KRÁLOVÁ, Magda. Techmania Science Center / Eduportál. *Životopisy*. [Online] [Citace: 26. 4. 2017.] Dostupné z WWW: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/zivotopisy>.
11. BUHRKE, Thomas. *Převratné objevy fyziky: Od Galileiho k LIse Meitnerové*. Praha : Academia, 1999. ISBN 80-200-0743-1.
12. LÁDKOVÁ, Lenka. Johannes Kepler (1571 - 1630). [Online] 1997. [Citace: 13. 2. 2017.] Dostupné z WWW: <http://natura.baf.cz/natura/1996/9/9609-2.html>.
13. KRAUS, Ivo. *Fyzika od Thalety k Newtonovi: Kapitoly z dějin fyziky*. Praha : Nakladatelství Academia, 2007. ISBN 978-80-200-1540-2.

14. ŠTOLL, Ivan. *Jan Marek Marci: první český fyzik. Velké postavy vědeckého nebe*; sv. 1. Praha : Prometheus, 1996. ISBN 80-7196-047-0.
15. ŠTOLL, Ivan. Jan Marek Marci z Lanškrouna. *Vesmír*. 1996/9.
16. MICHL, František. Evangelista Torricelli. *Časopis pro pěstování matematiky a fyziky*. 1909, roč. 38, stránky 257-262.
17. Od Aristotelova „horror vacui“ a éter ... ke kvantové teorii a antihmotě. *Časopis Elektro*. 01/2010, str. 52.
18. PASCAL, Blaise, HORÁK, Petr, ed. a SOUSEDÍK, Stanislav, ed. *Svět Blaise Pascala*. Praha : Vyšehrad, 1985.
19. KRAUS, Ivo. *Fyzika v kulturních dějinách Evropy. Od Leonarda ke Goethovi*. Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03716-4.
20. *Ottův slovník naučný: ilustrovaná encyklopaedie obecných vědomostí*. Jedenáctý díl. Praha : J. Otto, 1897.
21. REICHL, Jaroslav; VŠETIČKA, Martin. Encyklopedie fyziky. [Online] 2006-2017. [Citace: 25. 4. 2017.] Dostupné z WWW: <http://fyzika.jreichl.com/>.
22. ČERNÝ, David. Jak to bylo s jablkem. *Živá historie*. 9/2013, stránky 56-58.
23. LEWIN, Walter a GOLDSTEIN, Warren. *Z lásky k fyzice*. Praha : Nakladatelství Argo, 2012. ISBN 978-80-257-0704-3.
24. KRAUS, Ivo. *Fyzikové ve službách průmyslové revoluce*. Praha : Nakladatelství Academia, 2012. stránky 165-167. ISBN 978-80-200-2087-1.
25. KOLOMÝ, Rudolf. *Prokop Diviš: vynálezce uzemněného bleskosvodu. Velké postavy vědeckého nebe. místo neznámé* : Praha: Prometheus, 2004. Sv. 13. ISBN 80-7196-275-9.
26. *Rohová lišta ve výuce fyziky*. VONDŘEJCOVÁ, Kateřina a KABRHEL, Pavel. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. Veletrh nápadů učitelů fyziky 16. ISBN 978-80-244-2894-9.
27. KEPLER, Johannes. *Dioptrika*. [překl.] Mojmír Petráň. Olomouc : Vladimír Chlup, 2011. ISBN 978-80-903958-3-1.

28. *Hrajme si i hlavou 6 - zaměřeno na oči*. ČESÁKOVÁ, Jana a KŘÍŽOVÁ, Michaela. Hradec Králové : Gaudeamus, 2013. Veletrh nápadů učitelů fyziky 18. ISBN 978-80-7435-372-7.
29. [Online] <http://www.glass-sphere.com/eshop/cire-bezbarve-mikrokulicky.html>.
30. ZAJAČEK, Michael. *Po stopách Torricelliho*. [Online] 24. 10. 2011. [Citace: 7. 7. 2017.] Dostupné z WWW: http://amavet.sk/read_post.php?id=404:Po-stopach-Torricelliho#.
31. *Hrajme si i hlavou počtvrté*. ČESÁKOVÁ, Jana, VONDŘEJCOVÁ, Kateřina a KŘÍŽOVÁ, Michaela. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. ISBN 978-80-244-2894-9.
32. VONDŘEJCOVÁ, Kateřina. *Životy fyziků v úlohách a experimentech*. Hradec Králové : MaFy, 2011. ISBN 978-80-86148-72-4.
33. LAFFERTY, Peter. *Síla a pohyb*. Praha : Nakladatelský dům OP, 1995. ISBN 80-85841-38-X.
34. *Ottův slovník naučný - Okulár demonstrační Huyghenský*. [Online] 1901. [Citace: 22. 4. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ott%C5%AFv_slovn%C3%ADk_nau%C4%8Dn%C3%BD_-_Okul%C3%A1r_demonstra%C4%8Dn%C3%AD_Huyghensk%C3%BD.png.
35. *Pascaline - top view and mechanism*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 1779. [Citace: 22. 4. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pascaline_-_top_view_and_mechanism.jpg.
36. *Portrait of Johannes Kepler*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 1610. [Citace: 19. 2. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Johannes_Kepler_1610.jpg.
37. *Scientists' Biographies*. [Online] [Citace: 16. 7. 2017.] Dostupné z WWW: <https://museumvictoria.com.au/scidiscovery/scientists/index.asp>.
38. BOYLE, Robert. Robert Boyle's air pump. *New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air, and its Effects*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 1661. [Citace: 22. 4. 2017.] Dostupné z WWW: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/31/Boyle_air_pump.jpg.
39. BURIANOVÁ, Tereza. *Co padá rychleji? Kilo peří, nebo kilo železa?* [Online] 5. 3. 2014. [Citace: 29. 6. 2017.] Dostupné z WWW:

http://www.rozhlas.cz/leonardo/technika/_zprava/co-pada-rychleji-kilo-peri-nebo-kilo-zeleza--1323330.

40. DARGENT, Jean-Édouard. *Blaise Pacsal. Illustration de "Histoires des météores"*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 1870. [Citace: 22. 4. 2017.] Dostupné z WWW:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HistoireDesM%C3%A9t%C3%A9ores_-_p135.jpg.

41. FAHIE, John Joseph. *Galileo, his life and work*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 1903. [Citace: 19. 4. 2017.] Dostupné z WWW: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Galileo,_his_life_and_work_\(1903\)](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Galileo,_his_life_and_work_(1903)).

42. GREER, Rita. *Portrait of Robert Hooke*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 2004. [Citace: 25. 4. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:13_Portrait_of_Robert_Hooke.JPG.

43. GUERICKE, Otto von. *Von Guericckes Halbkuglexperiment*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 1672. [Citace: 29. 6. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fotothek_df_tg_0005668_Physik_%5E_Vakuumtechnik_%5E_Luftdruck.jpg.

44. GUILLEMIN, Amédée. *Pascal's Barrel*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 1872. [Citace: 22. 4. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pascal%27s_Barrel.png.

45. HOOKE, Robert. *Mikroskop*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 1665. [Citace: 25. 4. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hooke_Microscope.jpg.

46. KEPLER, Johannes. *De Stella Nova in Pede Serpentarii*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, Praha. 1604. [Citace: 22. 4. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kepler_De_Stella_Nova.jpg.

47. KEPLER, Johannes. Platonic solid model of the Solar system. *Mysterium Cosmographicum*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 1596. [Citace: 22. 4. 2017.] Dostupné z WWW: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kepler-solar-system-1.png>.

48. KERSEBOOM, Johann. *Portrait of Robert Boyle (1627-1691)*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 1689. [Citace: 25. 4. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Robert_Boyle_0001.jpg.

49. KNELLER, Godfrey. *Isaac Newton*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 1689. [Citace: 1. 7. 2016.] Dostupné z WWW: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AGodfreyKneller-IsaacNewton-1689.jpg>.
50. LEONI, Ottavio. *Galileo Galilei*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 1624. [Citace: 11. 7. 2016.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galileo_by_leoni.jpg.
51. LIPPI, Lorenzo. *Evangelista Torricelli*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 1647. [Citace: 1. 7. 2016.] Dostupné z WWW: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AEvangelista_Torricelli_by_Lorenzo_Lippi_\(circa_1647%2C_Galleria_Silvano_Lodi_%26_Due\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AEvangelista_Torricelli_by_Lorenzo_Lippi_(circa_1647%2C_Galleria_Silvano_Lodi_%26_Due).jpg).
52. MONNIAUX, David. *A Pascaline, an early calculator*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 2005. [Citace: 22. 4. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AArts_et_Metiers_Pascaline_dsc03869.jpg.
53. ROSICKÝ, Václav. *Huygensův okulár*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 17. 3. 2014. [Citace: 22. 4. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Huygens%C5%AFv_okul%C3%A1r.jpg.
54. VAILLANT, Bernard. *Portrait of Christiaan Huygens (1629-1695)*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 1686. [Citace: 22. 4. 2017.] Dostupné z WWW: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Christiaan-huygens4.jpg>.
55. VILÍMEK, Jan. *Jan Marcus Marci*. [Online] Wikimedia Commons, 1889. [Citace: 19. 2. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jan_Marek_-_Jan_Vil%C3%ADmek.jpg.
56. *Rainbow1.png*. [Online] 2003. [Citace: 27. 6. 2017.] Dostupné z WWW: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rainbow1.png>.
57. *Torricelli*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 2003. [Citace: 28. 2. 2017.] Dostupné z WWW: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Torricelli.jpg>.
58. *Isaac Newton*. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 2004. [Citace: 25. 7. 2016.] Dostupné z WWW: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NewtonsTelescopeReplica.jpg>.

59. Kepler-Wallenstein-Horoskop. [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 18. 9. 2006. [Citace: 22. 4. 2017.] Dostupné z WWW: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kepler-Wallenstein-Horoskop.jpg>.
60. *Galileo galilei, compasso geometrico e militare, 1606 ca.* [Online] prostřednictvím Wikimedia Commons, 28. 12. 2013. [Citace: 19. 4. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AGalileo_galilei%2C_compasso_geometrico_e_militare%2C_1606_ca..JPG.
61. NEUMANN, Adolf. *Die Gartenlaube (1878) b 625.jpg*. [Online] 1878. [Citace: 27. 6. 2017.] Dostupné z WWW: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Die_Gartenlaube_\(1878\)_b_625.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Die_Gartenlaube_(1878)_b_625.jpg).
62. BOHEMIANROOTS. *Rodný domek Prokopa Diviše*. [Online] 2004. [Citace: 27. 6. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prokop_Divis_rodny_domek.jpg.
63. Illustration for Torricelli's Law. [Online] Wikimedia Commons, 2006. [Citace: 7. 7. 2017.] Dostupné z WWW: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TorricellisLaw.svg>.
64. Leuchter im Dom Santa Maria Assunta, Pisa, an dem Galileo Galilei die Pendelgesetze untersucht haben soll. [Online] 22. 10. 2005. [Citace: 27. 6. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leuchter_pisa.JPG.
65. ŠTEFL, V. K světonázorovému významu astronomického díla Galilea Galileiho. *Matematika a fyzika ve škole*. 1988/89, roč. 19, stránky 329–332.
66. Replica of the Hooke-Boyle Air Pump, 1659. [Online] 30. 4. 2013. [Citace: 27. 6. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ReplIca_of_the_Hooke-Boyle_Air_Pump.jpg.
67. KOOPMAN, Rob. Christiaan Huygens Clock and Horologii Oscillatorii. [Online] 27. 7. 2009. [Citace: 27. 6. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Christiaan_Huygens_Clock_and_Horologii_Oscillatorii.jpg.
68. Aräometer. [Online] 6. 1. 2007. [Citace: 27. 6. 2017.] Dostupné z WWW: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ar%C3%A4ometer.jpg>.

69. Newton's rings 02. [Online] 23. 4. 2007. [Citace: 27. 6. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Newton%27s_rings_02.svg.
70. DIVERSE. Prokop Diwischs Blitzableiter, Fig. a. [Online] 1878. [Citace: 27. 6. 2017.] Dostupné z WWW: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Die_Gartenlaube_\(1878\)_b_626_1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Die_Gartenlaube_(1878)_b_626_1.jpg).
71. Boyle'sSelfFlowingFlask. [Online] [Citace: 27. 6. 2017.] Dostupné z WWW: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Boyle%27sSelfFlowingFlask.png>.
72. HUYGENS, Christiaan. Huygens Systema Saturnium. [Online] 1659. [Citace: 27. 6. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Huygens_Systema_Saturnium.jpg.
73. Domek Prokopa Diviše - interiér. [Online] 2007. [Citace: 27. 6. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MM%C5%BDbk-Domek_Prokopa_Divi%C5%A1e-13.JPG.
74. KELLER, Klaus-Dieter. Isaac Newton grave in Westminster Abbey. [Online] 17. 4. 2006. [Citace: 27. 6. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Isaac_Newton_grave_in_Westminster_Abbey.jpg.
75. Woolsthorpe-manor. [Online] 26. 10. 2002. [Citace: 27. 6. 2017.] Dostupné z WWW: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Woolsthorpe-manor.jpg>.
76. *Isaac Newton: Scientist, Astronomer – and Master of the Royal Mint*. [Online] [Citace: 29. 6. 2017.] Dostupné z WWW: <http://historycollection.co/isaac-newton-scientist-astronomer-master-royal-mint/2/>.
77. e-fyzika.cz. *Prokop Diviš*. [Online] [Citace: 29. 6. 2017.] Dostupné z WWW: <http://www.e-fyzika.cz/fyzici/prokop-divis.php>.
78. HOOK, Robert. *Hooke De potentia restitutiva frontispiece detail*. [Online] 1678. [Citace: 29. 6. 2017.] Dostupné z WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hooke_De_potentia_restitutiva_frontispiece_detail.png.
79. HOOKE, Robert. *Micrographia Scheme*. [Online] Prostřednictvím Wikimedia Commons, 1665. [Citace: 25. 4. 2017.] Dostupné z WWW: <https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Micrographia>.

Seznam obrázků

Obr. 1 – Kvalitativní pokus: odpuzování souhlasných elektrických nábojů [foto: autorka]	17
Obr. 2 – Heuristický pokus: ve vakuu se zvuk nešíří [foto: autorka]	17
Obr. 3 – Motivační pokus: difúze [foto: autorka]	18
Obr. 4 – Guerickeův pokus s Magdeburskými polokoulemi [43]	19
Obr. 5 – Galileo Galilei [50]	23
Obr. 6 – Galileův geometrický kompas v italském muzeu, vpravo nákres [60], [41]	23
Obr. 7 – Veřejné předvádění padostroje [33]	24
Obr. 8 – Galileův nákres kyvadlových hodin [41]	25
Obr. 9 – Replika Galileiho dalekohledu [37]	26
Obr. 10 – Schéma Sluneční soustavy podle Galilea [65]	26
Obr. 11 – Johannes Kepler [36]	28
Obr. 12 – Keplerův model Sluneční soustavy, vpravo detail [47]	28
Obr. 13 – De Stella nova in pede Serpentarii [46]	29
Obr. 14 – Keplerem sestavený horoskop pro Albrechta z Valdštejna [59]	30
Obr. 15 – Jan Marcus Marci [55]	31
Obr. 16 – Erb Jan Marka Marciho z Kronlandu [14]	32
Obr. 17 – Evangelista Torricelli [51]	33
Obr. 18 – Torricelli zkoumá vakuum nad sloupcem rtuti [57]	34
Obr. 19 – Blaise Pascal [40]	35
Obr. 20 – Pascalův trojúhelník [zdroj: autorka]	36
Obr. 21 – Pascalina [52], [35]	36
Obr. 22 – Robert Boyle [48]	37
Obr. 23 – Boyleva samoplňící se číše, nemůže fungovat v důsledku hydrostatického paradoxu [71]	38
Obr. 24 – Christiaan Huygens [54]	39
Obr. 25 – Ilustrace ze Systema Saturnium [72]	40
Obr. 26 – Huygensův okulár [53], [34]	40
Obr. 27 – Huygensův princip [37]	41
Obr. 28 – Portrét Roberta Hooka, který vznikl na základě jeho popisu [42]	43
Obr. 29 – Hookův mikroskop [45], vpravo ilustrace z Micrographia [79]	44
Obr. 30 – Isaac Newton [49]	45
Obr. 31 – Newtonův rodný dům [75]	45
Obr. 32 – Replika Newtonova dalekohledu, dole schéma [58], [21]	46
Obr. 33 – Newtonův hrob ve Westminster Abbey [74]	48
Obr. 34 – Prokop Diviš [61]	49
Obr. 35 – Muzeum v rodném domku Prokopa Diviše [73]	51
Obr. 36 – Padostroj na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy [39]	53

Obr. 37 – Padostroj [zdroj: autorka]	53
Obr. 38 – Kuličkový padostroj [zdroj: autorka]	54
Obr. 39 – Lampa, která podle legendy přiměla Galilea zkoumat pohyb kyvadla [64]	55
Obr. 40 – Matematické kyvadlo [zdroj: autorka]	55
Obr. 41 – Pohyb matematického kyvadla [foto: autorka]	56
Obr. 42 – Vodní a lihový termoskop [foto: autorka]	57
Obr. 43 – Schéma Galileova dalekohledu [21]	58
Obr. 44 – Galileův dalekohled [foto: autorka]	58
Obr. 45 – Schéma Keplerova dalekohledu [21]	59
Obr. 46 – Keplerův dalekohled [foto: autorka]	59
Obr. 47 – Princip dírkové komory [zdroj: autorka]	60
Obr. 48 – Dírková komora [foto: autorka]	60
Obr. 49 – Marciho kyvadélko k měření tepu pacientů [14]	61
Obr. 50 – Sekundové kyvadlo [foto: autorka]	62
Obr. 51 – Úloha k sekundovému kyvadlu [zdroj: autorka]	62
Obr. 52 – Pomůcky pro demonstraci přímých rázů [foto: autorka]	64
Obr. 53 – Princip rázostroje [zdroj: autorka]	65
Obr. 54 – Školní demonstrační rázostroj [foto: autorka]	65
Obr. 55 – Karambol [14]	65
Obr. 56 – Vznik duhy [56]	67
Obr. 57 – Rozklad světla na CD [foto: autorka]	68
Obr. 58 – Různé formy duhy [foto: autorka]	68
Obr. 59 – Ilustrace k Torricelliho zákonu [63]	69
Obr. 60 – Kvalitativní pokus k Torricelliho zákonu [foto: autorka]	69
Obr. 61 – Ilustrace Torricelliho pokusu se rtutí [zdroj: autorka]	70
Obr. 62 – Rtuťový barometr na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové	70
Obr. 63 – Torricelliho pokus s vodou [foto: autorka]	71
Obr. 64 – Úloha k Torricelliho pokusu [zdroj: autorka]	72
Obr. 65 – Pascalův ježek [foto: autorka]	72
Obr. 66 – Princip hydraulického zařízení [zdroj: autorka]	73
Obr. 67 – Hydraulické zařízení z injekčních stříkaček [foto: autorka]	73
Obr. 68 – Pascalův pokus s dřevěným sudem [44]	74
Obr. 69 – Pascalův sáček [31]	74
Obr. 70 – Boylova vývěva: nákres, vpravo její replika z londýnského muzea [38], [66]	75
Obr. 71 – Dasymetr [foto: autorka]	77
Obr. 72 – Pokusy s vývěvou [foto: autorka]	77
Obr. 73 – Magdeburské polokoule na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové [foto: autorka]	78
Obr. 74 – Magdeburské polokoule ze zvonů na odpad [foto: autorka]	79

Obr. 75 – Úloha k pokusu s Magdeburskými polokoulemi [zdroj: autorka]	79
Obr. 76 – Hyugensovy hodiny a ukázka z Horologium Oscilatorium [67]	80
Obr. 77 – Ilustrace z Hookova spisu o pružných deformacích [78]	80
Obr. 78 – Prodloužení pružiny s přibývajícím zátěží [foto: autorka]	81
Obr. 79 – Hustoměr [68]	81
Obr. 80 – Hustoměr a jeho poloha v nádobě se slanou vodou (čárka označuje ponor v čisté vodě [foto: autorka]	81
Obr. 81 – Demonstrace zákona setrvačnosti [foto: autorka]	82
Obr. 82 – Ověření zákona akce a reakce, Segnerovo kolo [foto: autorka]	83
Obr. 83 – Newtonova trubice, vpravo detail [foto: autorka]	84
Obr. 84 – Newtonova skla [69, foto: autorka]	84
Obr. 85 – Newton experimentuje se světlem [76]	85
Obr. 86 – Spektroskop z CD a krabičky od čaje [foto: autorka]	85
Obr. 87 – Spektroskop [foto: autorka]	86
Obr. 88 – Míchání barev na Newtonově kotouči [foto: autorka]	87
Obr. 89 – Newtonův kotouč [zdroj: autorka]	87
Obr. 90 – Divišův bleskosvod [70]	88
Obr. 91 – Rodný domek Prokopa Diviše i s kopií „povětrnostního stroje“ [62]	88
Obr. 92 – Replika Divišovy třecí elektriky, kterou nazýval elektrum [77]	89
Obr. 93 – Nabíjení plechovek [foto: autorka]	89
Obr. 94 – Elektrostatika s brčky [foto: autorka]	90
Obr. 95 – Elektrostatické kyvadlo [foto: autorka]	90
Obr. 96 – Elektrostatika a voda [foto: autorka]	91

Příloha

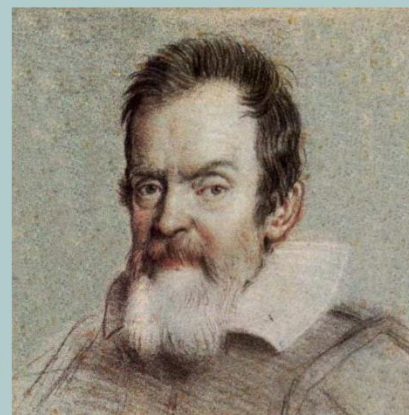
Jako přílohu této práce vkládáme deset plakátů, na nichž jsou stručně popsány nejvýznamnější výsledky vybraných osobností fyziky a krátké informace o jejich životech. Obojí je doplněno obrázky. Podrobnější informace o fyzicích a jejich vynálezech či experimentech jsou uvedeny v kapitolách 3 a 4 této práce.

1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760

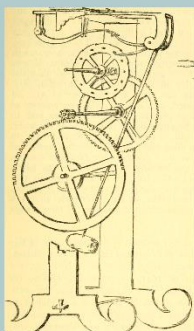
Galileo Galilei

(1564-1642)

- Italský filozof, matematik, fyzik, astronom a nadšený experimentátor.
- Žil nejprve v Pise, poté v Padově a nakonec ve Florencii a jejím okolí.
- Životní partnerka Marina Gamba, tři děti.
- Původně měl být lékařem, nadchla ho však matematika a fyzika.
- Působil jako profesor matematiky, přivydělával si výrobou přístrojů.
- Zastával heliocentrický názor Mikuláše Koperníka, před inkvizicí jej musel odvolat, ale kvůli vysokému věku byl potrestán jen domácím vězením.
- Bývá nazýván „otcem moderní fyziky“.



Obr. 1: Galileo Galilei [50]



Obr. 2: Galileovy kyvadlové hodiny (náčrt) [41]

„A přece se točí“



Obr. 4: Galileo veřejně předvádí padostroj [33]

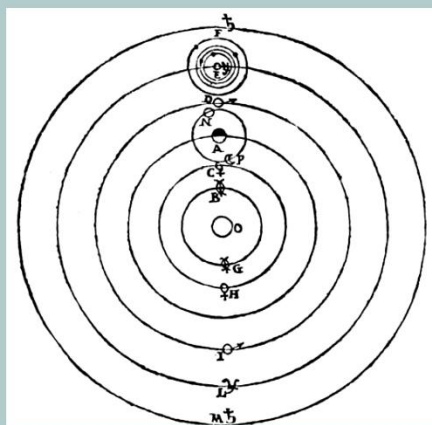


Obr. 3: Galileův geometrický kompas [60]



Obr. 5: Galileův teleskop [37]

„Bible nám říká, jak se dostat do nebe,
nikoli jak se nebe pohybuje.“



Obr. 6: Schéma Sluneční soustavy podle Galilea [65]

Nejvýznamnější objevy, experimenty a vynálezy:

- Pohyb **kyvadla** (Obr. 2) - doba kyvu nezávisí na hmotnosti závaží ani velikosti rozkvyvu, pouze na délce závěsu; kyvadlové hodiny však před smrtí sestrojil nestihl.
- **Vzduchový termoskop** - předchůdce teploměru.
- **Zdokonalený dalekohled** tvořený spojkou a rozptylkou (Obr. 5), pomocí kterého zkoumal Měsíc, objevil Saturnovy prstence a čtyři Jupiterovy měsíce: Io, Europa, Ganymed a Callisto.
- **Zákon volného pádu**: různě těžká tělesa padají k zemi stejnou rychlostí a závisí jen na odporu prostředí.
- **Padostroj**: pohyby těles po nakloněné rovině (Obr. 4).
- **Vrhy**.
- **Zákon setrvačnosti**.
- **Zákon síly** (nevyjádřil ho tak přesně matematicky jako I. Newton).
- **Geometrický a vojenský kompas** (Obr. 3).
- **Princip relativity**.

1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760

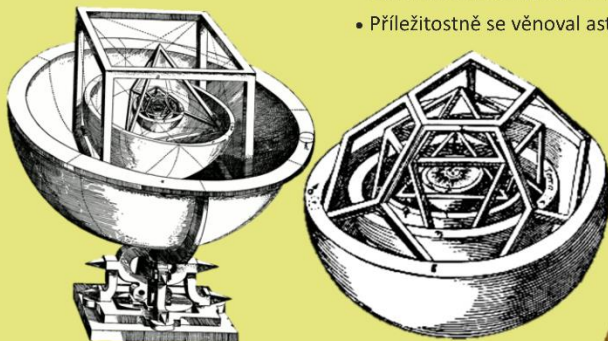


Obr. 1: Johannes Kepler [36]

Johannes Kepler

(1571-1630)

- Německý matematik, astronom a astrolog.
- Narodil se nedaleko Stuttgartu jako první ze sedmi dětí.
- K poznávání přírody a hvězdné oblohy jej přivedla matka, negramotná léčitelka.
- Žil v Praze, rakouském Linci, Štýrském Hradci a v německém Ulmu.
- Studoval v Tübingenu, neoficiálně se zde seznámil s učením Mikuláše Koperníka, že středem sluneční soustavy je Slunce, nikoli Země jak se tehdy většina lidí domnívala.
- Působil jako profesor matematiky a astronomie, také jako císařský matematik.
- Spolupracoval s astronomem Tychohem Brahe.
- Byl dvakrát ženatý, měl celkem 13 dětí.
- Příležitostně se věnoval astrologii a sestavoval horoskopy.



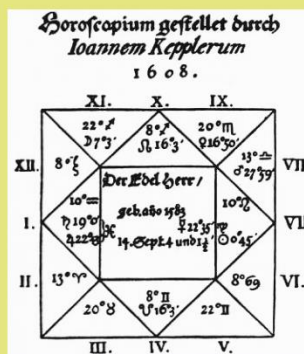
Obr. 2: Keplerův model Sluneční soustavy, vpravo detail [47]

„Kde by se octla rozumná matka astronomie,
kdyby bláznivá dcera astrologie nic nevydělala?“

Obr. 3: Ilustrace z díla *O nové hvězdě v souhvězdí Hadonoše* [46]

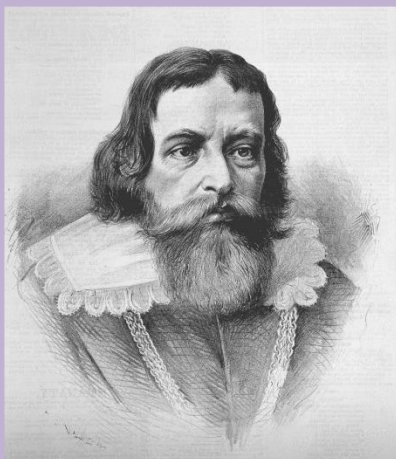
Nejvýznamnější objevy, experimenty a vynálezy:

- Vytvořil **prostorový model Sluneční soustavy**: mezi sféry jednotlivých planet (známo bylo v té době prvních šest planet Sluneční soustavy) vkládal pravidelné mnohostěny - mezi Merkur a Venuši vložil osmistěn, mezi Venuši a Zemí dvacetistěn, následovaly dvanáctistěn, čtyřstěn a šestistěn neboli krychle (Obr. 2).
- **Formuloval 3 zákony pohybu planet kolem Slunce**:
 1. *Dráha planety je elipsa, v jejímž jednom ohnisku je Slunce.*
 2. *Rychlost planety se mění tak, že její spojnice se Sluncem pokrývá za stejný čas stejnou plochu.*
 3. *Poměr druhé mocniny oběžné doby k třetí mocnině poloosy eliptické dráhy je pro všechny planety shodný.*
- **Hvězdářský dalekohled** tvořený dvěma spojnými čočkami.
- Objevil novou hvězdu v souhvězdí Hadonoše (Obr. 3).
- Sestavil několik horoskopů, včetně svého či horoskopu pro generála Albrechta z Valdštejna (Obr. 4).



Obr. 4: Keplerův horoskop Albrechta z Valdštejna [59]

1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760



Obr. 1: Jan Marek Marci [55]

Jan Marek Marci

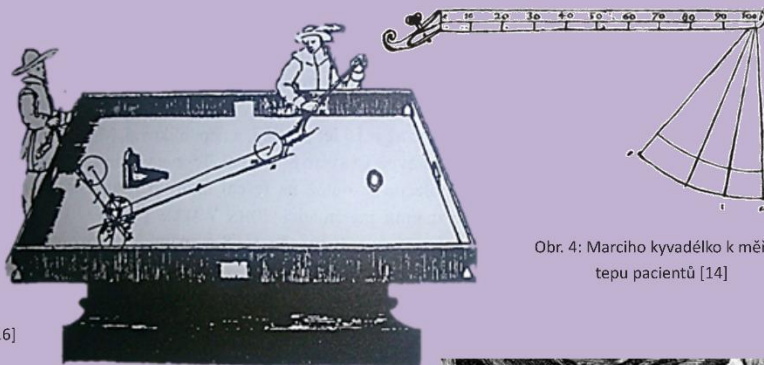
(1595-1667)

- Český polyhistor doby pobělohorské (lékař, filozof, fyzik atd.).
- Narodil se v Lanškrouně, poté žil v Litomyšli a převážně v Praze.
- Studoval v Jindřichově Hradci, filozofii v Olomouci a lékařství v Praze.
- Působil jako lékař, profesor pražské univerzity, hlavní hygienik království, děkan lékařské fakulty a rektor Karlo-Ferdinandovy univerzity.
- Oženil se s Italkou z rodu Misseroni, její křestní jméno není známo.
- Aktivně se účastnil obrany Prahy před švédskými vojsky.
- Za své zásluhy obdržel šlechtický titul, zvolil si přívlastek z Kronlandu (Obr. 2).
- Bývá nazýván „pražský Hippokrates“ či „český Galileo Galilei“.

- Jeho jméno nese kráter na Měsíci a Česká spektroskopická společnost.
- Je jedním ze 72 osobností české historie, jejichž jména jsou zlatým písmem uvedena pod okny Národního muzea v Praze.



Obr. 2: Erb Jana Marka Marcího z Kronlandu [16]



Obr. 3: Úloha o kulečnicku [14]

Obr. 4: Marciho kyvadélko k měření tepu pacientů [14]

Nejvýznamnější objevy, experimenty a vynálezy:

- Navrhl **kyvadélko k měření tepu** svých pacientů (Obr. 4).
- Při léčení využíval moderní prostředky (co nejjednodušší léky a důraz na duševní pohodu pacienta).
- Experimentoval se srážkami těles a jako první rozlišil **pružné a nepružné rázy**.
- Řešil také „**úlohu o kulečnicku**“, tedy jednou koulí zasáhnout další tak, aby jedna z nich zasáhla třetí kouli (Obr. 3).
- Zkoumal přímočaré šíření světla, **odraz a lom světla**.
- Formuloval něco jako Huygensův princip.
- Některými svými experimentálními poznatky ve spektroskopii a fyzikální optice předešel své slavné následovníky (Isaaca Newtona, Christiaana Huygense, Roberta Hooka a další).



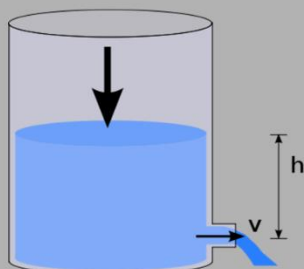
Obr. 5: Soudobá kresba Jana Marka Marcího [14]

1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760

Evangelista Torricelli

(1608-1647)

- Italský fyzik, matematik a všestranně vzdělaný člověk.
- Byl sirotek, vychovával jej strýc, jezuitský mnich.
- Spolupracoval s Galileem i jeho žáky.
- Po Galileovi také nastoupil na místo dvorního matematika Toskánského velkovévody a profesora matematiky na univerzitě v Pise.
- Ve svých 39 letech onemocněl tyfovou horečkou a předčasně zemřel.



Obr. 2: K Torricelliho zákonu [63]

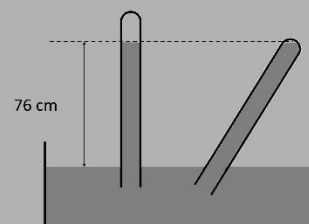
„Žijeme potopení na dně moře vzduchu.“



Obr. 3: Torricelli zkoumá vakuum nad sloupcem rtuť [57]



Obr. 1: Evangelista Torricelli [51]



Obr. 4: K Torricelliho pokusu

Nejvýznamnější objevy, experimenty a vynálezy:

- **Torricelliho zákon:** uvedl vztah pro rychlost v výtoku otvorem ve stěně nádoby v dané hloubce h pod hladinou $v = A\sqrt{h}$ (dnes používáme vztah $v = \sqrt{2gh}$ určený Danielem Bernoullim, kde g je tíhové zrychlení).
- **Torricelliho pokus:** 1 m dlouhá skleněná trubice na jednom konci zatavená byla ponořena do rtuť a celá naplněna - po otočení dnem vzhůru se sloupec rtuť zastavil působením atmosférického tlaku asi ve výšce 76 centimetrů.
- Nad rtuť se vytvořil prázdný prostor, který byl dosud považován za neexistující: **vakuum**.
- Vyřešil tak problém, že voda nelze pomocí sací pumpy čerpat z hloubky větší než 10 m (takový sloupec vody totiž váží přibližně stejně jako 76 cm rtuť).
- Torricelli experiment pouze navrhl, provedl jej jeho kolega Vincenzo Viviani.
- **Barometr:** při opakování pokusu Torricelli objevil, že výška rtuťového sloupce kolísá - lze tedy využít k měření příčiny těchto změn: atmosférického tlaku.
- Jako první matematicky odvodil, že **trajektorii šikmého vrhu je parabola**.
- **Matematika:** počítal objemy a povrchy rotačních těles, zkoumal polohy jejich těžišť, kuželosečky a jejich tečny i nekonečné řady.



Obr. 5: Barometr

1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760

Blaise Pascal

(1623-1662)



Obr. 1: Blaise Pascal [40]

- Francouzský fyzik, matematik a náboženský filozof.
- Vyrůstal s otcem a dvěma sestrami, matka mu brzy zemřela.
- Již od dětství projevoval velké matematické nadání, v 17 letech vydal první dílo týkající se geometrie kuželoseček.
- Otec jej vzdělával v humanitních oborech i matematice, přivedl jej do Matematické akademie.
- Ve svých fyzikálních experimentech Blaise navazoval na Torricelliho.
- Trpěl bolestmi hlavy a nespavostí, jeho od dětství chatrné zdraví se neustále zhoršovalo.
- Zemřel v mladém věku 39 let.
- Celý život na pomezí mezi dvěma světy, vědy a víry.
- Jeho jméno dnes nese kromě fyzikálního zákona například jednotka tlaku nebo programovací jazyk.

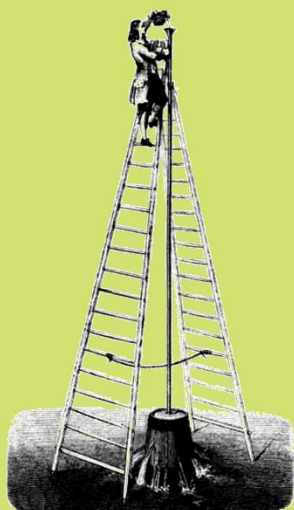
„Všechno štěstí závisí na odvaze a práci.“



Obr. 2: Pascalina [52]



Obr. 3: Pascalův ježek - pomůcka pro demonstraci Pascalova zákona



Obr. 4: Pascalův sud [44]

$$\begin{array}{rcccc}
 & & & & 1 \\
 & & & & \binom{0}{0} \\
 & & & & \binom{1}{0} \quad \binom{1}{1} \\
 & & & & \binom{2}{0} \quad \binom{2}{1} \quad \binom{2}{2} \\
 & & & & \binom{3}{0} \quad \binom{3}{1} \quad \binom{3}{2} \quad \binom{3}{3} \\
 & & & & \binom{4}{0} \quad \binom{4}{1} \quad \binom{4}{2} \quad \binom{4}{3} \quad \binom{4}{4} \\
 & & & & \vdots \\
 & & & & \vdots
 \end{array}
 \begin{array}{r}
 \\
 1 \quad 1 \\
 1 \quad 2 \quad 1 \\
 1 \quad 3 \quad 3 \quad 1 \\
 1 \quad 4 \quad 6 \quad 4 \quad 1 \\
 \vdots
 \end{array}$$

Obr. 5: Pascalův trojúhelník

Nejvýznamnější objevy, experimenty a vynálezy:

- **Pascalina** - počítací stroj, který Pascal sestavil v 19 letech, aby usnadnil práci svému otci, uměl sčítat a odčítat (Obr. 2).
- Pomocí Torricelliho barometru prokázal, že **atmosférický tlak klesá s nadmořskou výškou** (ověřil to Pascalův švagr při výstupu na horu Puy de Dôme).
- **Pascalův zákon**: *Tlak se v kapalině šíří všemi směry stejně.* (Obr. 3)
- Velikosti hydrostatického tlaku závisí na hustotě a hloubce kapaliny, ne na jejím objemu.
- Princip **hydraulického lisu**.
- **Pokus s dřevěným sudem**: byl naplněn vodou a uzavřený, svísele vzhůru z něho vycházela dlouhá tenká trubice - přiléval do trubice vodu a když hladina v trubici vystoupala několik metrů vysoko, sud působením velkého hydrostatického tlaku praskl (Obr. 4).
- **Matematika**: studium cykloidy, kombinatoriky a pravděpodobnosti (Pascalův trojúhelník, Obr. 5).

1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760



Obr. 1: Robert Boyle [48]

Robert Boyle

(1627-1691)

- Britský přírodovědec, chemik, fyzik, vynálezce a teolog.
- Narodil se na jihu Irska jako čtrnácté z patnácti dětí v bohaté protestantské rodině hraběte.
- Byl tělesně slabý, ale všestranně nadaný.
- Studoval v Etonu, podnikal také studijní cesty po Evropě.
- Žil v Oxfordu a v Londýně.
- Měl vlastní chemickou laboratoř a přednášel na univerzitě v Oxfordu.
- Byl také jedním z 12 zakladatelů londýnské Královské společnosti - londýnské akademie pro podporu věd.

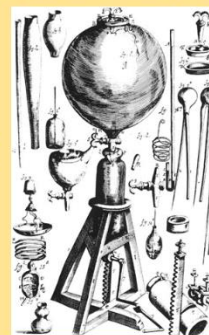
- Nikdy se neoženil, konec života strávil u starší sestry.
- Je pochován v kostele na londýnském Trafalgarském náměstí.
- Byl ovlivněn pokusy s vakuem a atmosférickým tlakem, které prováděli Evangelista Torricelli, Blaise Pascal nebo německý experimentální fyzik Otto von Guericke (např. pokus s magdeburskými polokoulemi, Obr. 3).



Obr. 2: Boylova samoplňací se číše (perpetuum mobile) [71]



Obr. 3: Magdeburské polokoule Otto von Guericcka [43]



Nejvýznamnější objevy, experimenty a vynálezy:

- **Boylův-Mariottův zákon:** závislost mezi objemem a tlakem vzduchu, která však platí přesně jen pro ideální plyn (Edme Mariotte byl francouzský fyzik, který našel vztah mezi tlakem a objemem plynu nezávisle na Boylovi).
- Zkoumal částicovou stavbu látek.
- Vymezil základní **chemické pojmy** jako je prvek, sloučenina nebo směs a položil tak základy modernímu chemickému výzkumu.
- Vysvětloval **pružnost vzduchu** pomocí vlastností částic.
- Prováděl pokusy se **zdokonalenou vývěvou** (Obr. 4 a 5) - zjistil například, že ve vakuu se zvuk nešíří.
- Zkoumal šíření zvuku a pokoušel se měřit jeho rychlost.
- Zabýval se roztažností mrznoucí vody.
- Pokoušel se vytvořit perpetuum mobile - samoplňací se číši (Obr. 2), nebyla však funkční kvůli hydrostatickému paradoxu.



Obr. 4 a 5: Boylova vývěva: náčrt a její replika v londýnském muzeu [38, 66]

1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760



Obr. 1: Christiaan Huygens [54]

Christiaan Huygens

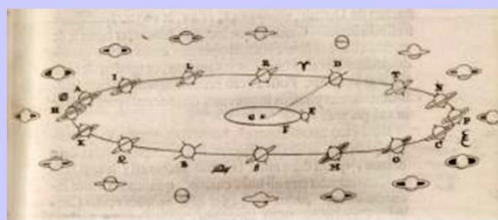
(1629-1695)

- Nizozemský fyzik a matematik.
- Pocházel z rodiny vysoko postaveného státního úředníka a vyrůstal ve velmi intelektuálním prostředí v rodovém sídle v Haagu.
- Již v útlém dětství ovládal několik jazyků a uměl hrát na loutnu.
- Původně měl být právníkem či diplomatem, rozhodl se však zasvětit svůj život matematice a fyzice.

- Spolupracoval s Anthonym van Leeuwenhoekem, Robertem Hookem, Robertem Boylem a také Denisem Papinem.
- Tvůrčí práci Huygensovi celý život znesnadňoval boj s nemocí, podobně jako Blaise Pascal trpěl nespavostí a silnými bolestmi hlavy.
- Někdy bývá nazýván „holandským Newtonem“.



Obr. 2: Kyvadlové hodiny [67]



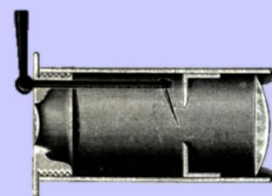
Obr. 3: Ilustrace ze spisu Saturnův systém [72]

Nejvýznamnější objevy, experimenty a vynálezy:

- Nezávisle na Galileovi zkoumal zákon volného pádu a šikmý vrh.
- S využitím sekundového kyvadla se pokoušel určit velikost tíhového zrychlení.
- **Huygensův okulár** - vylepšení hvězdářského dalekohledu, skládal se ze dvou ploskovypuklých čoček a nitkového kříže (Obr. 5).
- Poprvé spatřil Saturnův měsíc Titan a objevil, že **Saturn** je obklopen prstencem.
- Konstrukce **kyvadlových hodin** (Obr. 2).
- Zkoumal také otáčející se tělesa a setrvačnou odstředivou sílu.
- Navrhl bod tání ledu a bod varu vody jako **základní body teplotní stupnice**.
- **Huygensův princip** - v prostoru se šíří světlo kulovými vlnoplochami a každý bod vlnoplochy se stává zdrojem sekundárních vlnoploch, světelný paprsek je k těmto vlnoplochám kolmý (Obr. 4).
- Zavedl důležité pojmy oboru **krystalografie**.
- **Matematika**: zvýšil přesnost výpočtu čísla π , zkoumal vlastnosti kuželoseček, exponenciál, cykloid a dalších křivek, hledal jejich tečny, těžiště a tělesa vzniklá jejich rotací.



Obr. 4: Huygensův princip [37]



Obr. 5: Huygensův okulár [34]

1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760

Robert Hooke

(1635-1703)



Obr. 1: Robert Hooke [42]

- Anglický vynálezce a polyhistor.
- Vědeckou kariéru zahájil jako asistent Roberta Boyla, působil také jako profesor geometrie na Greshamově koleji v Londýně, asistent architekta Christophera Wrena při obnově Londýna po požáru a projektant Greenwichské astronomické observatoře.
- Byl členem Královské společnosti a kurátorem experimentů (jeho úkolem bylo každý týden svolávat zasedání Společnosti a předvést na něm nový přístroj či vědecký objev - pokud nenašel nikoho, kdo by mohl předvést svůj objev, musel během týdne vymyslet něco sám).
- Celý život byl uzavřený, nevlídný a osamoceny, přes veškeré nadání a vědecké nadšení také nedoceňovaný.
- Nedochoval se žádný Hookův dobový portrét, na Obr. 1 je vyobrazen s pružinou, kapesními hodinkami, fosilií, mapou Londýna po Velkém požáru roku 1666 a noční oblohou v pozadí - symboly jeho vynálezů a objevů.



Obr. 2: Hookův mikroskop [45]



Obr. 3, 4, 5: Ilustrace z Hookova díla Micrographia [79]



Nejvýznamnější objevy, experimenty a vynálezy:

- **Mikroskopie** (Obr. 2) - objevil elementární útvary, které nazval buňky.
- **Zrcadlový dalekohled** (objevil například rudou skvrnu na planetě Jupiter nebo první dvojhvězdy).
- **Helioskop** - zařízení k pozorování Slunce pomocí několikanásobného odrazu od zrcadel.
- **Zákon pružných deformací**: velikost deformace tělesa je přímo úměrná napětí v tělese (Obr. 6).
- První rtuťový **barometr** s kruhovou stupnicí.
- Zkonstruoval **anemometr**, **hustoměr** (Obr. 7), **hloubkoměr** a další přístroje například pro meteorologická měření.

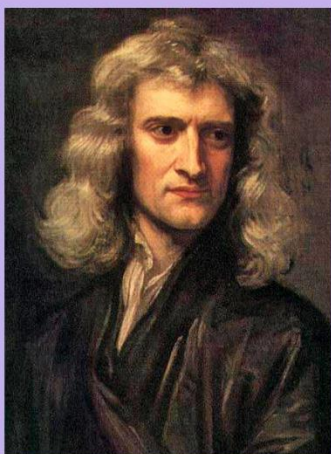


Obr. 6: Ilustrace z Hookova spisu o pružných deformacích [78]



Obr. 7: Hustoměr [68]

1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760



Obr. 1: Isaac Newton [49]

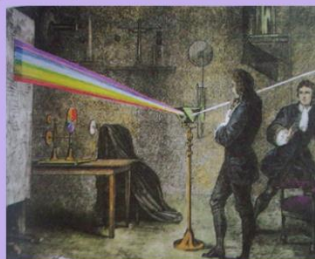
Isaac Newton

(1642-1727)

- Anglický fyzik, matematik, astronom, alchymista a teolog.
- Narodil se na venkově ve východní Anglii několik měsíců po otcově smrti, jeho matka se znovu vdala a odešla od něj.
- Malý Isaac byl často nemocný, a kromě nepřítomnosti matky trpěl urážky a ponižování od spolužáků ve škole, proto se se svými vrstevníky příliš nekamarádil.
- Studoval v Cambridge, nejprve práva, poté matematiku a fyziku.
- Přijal za svou v té době ještě novou vědeckou metodu: pozorování a sběr dat, hypotéza, experiment a potvrzení či vyvrácení hypotézy.
- Během morové epidemie se vrátil ze školy domů, nebyl sice užitečný pro rodinné hospodářství, zato velmi produktivní vědecky.
- Stal se profesorem na Trinity College v Cambridge.
- Na přednáškách velmi složitě a nezáživně prezentoval výsledky svých experimentů a nejspíš proto neměl mnoho posluchačů, ale pečlivě je sepisoval a ukládal do knihovny na univerzitě.
- Stěžejním dílem se stal třídílný spis *Matematické základy přírodní filozofie (Principia)*, který obsahuje i pohybové zákony. Principie byly během Newtonova života vydány ještě dvakrát a staly se první učebnicí fyziky.
- Působil také jako ředitel mincovny či ředitel Královské společnosti.
- Přestože se věnoval exaktním vědám, byl hluboce věřící a Bohu přikládal aktivní roli na stvoření i fungování světa.
- Zemřel ve věku 84 let a byl pochován s největšími poctami ve Westminsterském opatství v Londýně.



Obr. 2: Newtonův rodný dům [75]



Obr. 3: Newton experimentuje se světlem [76]



Obr. 4: Newtonův zrcadlový dalekohled [58]

Nejvýznamnější objevy, experimenty a vynálezy:

- Zavedl pojmy jako hmotnost, setrvačnost a interakce.
- Formuloval základy klasické mechaniky.
- **Gravitační zákon:** gravitační síla je vzájemná a její velikost s rostoucí vzdáleností těles od sebe klesá.
- **3 zákony pohybu:** zákon setrvačnosti, zákon síly a zákon akce a reakce.
- **Teorie světla a barev** - rozklad a skládání světla optickým hranolem (Obr. 3).
- Konstruoval **optické přístroje** a snažil se odstranit jejich otvorové a barevné vady.
- První **zrcadlový dalekohled** (Obr. 4) - našel využití v astronomii i jinde.
- **Matematika:** základy diferenciálního a integrálního počtu, mocninné řady, binomická věta.



Obr. 5: Newtonův hrob ve Westminster Abbey [74]

1560 1570 1580 1590 1600 1610 1620 1630 1640 1650 1660 1670 1680 1690 1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760

Prokop Diviš

(1698-1765)



Obr. 1: Prokop Diviš [61]

- Český fyzik, lékař a vynálezce.
- Narodil v Helvíkovicích u Žamberka pod jménem Václav Divíšek.
- Stal se řeholníkem a později knězem v premonstrátském klášteře v Louce u Znojma a přijal jméno Prokop.
- Studoval zde teologii a filozofii.
- Později působil jako profesor filozofických studií, které zahrnovaly v té době předměty humanitní i přírodovědecké - své vyučování fyziky doprovázel mnoha experimenty.
- Až do konce života byl správcem klášterní farnosti v Příměticích u Znojma.
- Kvůli léčení elektřinou měl spory s místními lékaři a lékárníky.
- Památku vynálezce bleskosvodu dnes připomíná například jeho rodný domek (Obr. 2, 3), který je součástí Městského muzea Žamberk, nebo Divišovo divadlo v Žamberku.
- Stejně jako Jan Marek Marci je jedním z 72 osobností české historie, jejichž jména jsou zlatým písmem uvedena pod okny Národního muzea v Praze.



Obr. 2: Divišův rodný domek i s kopií prvního bleskosvodu [62]



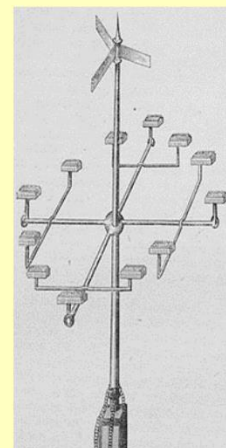
Obr. 3: Interiér Divišova domu - dnes muzeum [73]



Obr. 4: Replika Divišovy třecí elektriky, nazývané elektrum [77]

Nejvýznamnější objevy, experimenty a vynálezy:

- Konstrukce vodovodů pro loucký klášter i přímětickou faru.
- **Denisor** (Denis d'or) - strunný hudební nástroj s pedálem a vysouvací klaviaturou, který měl napodobovat zvuky různých hudebních nástrojů i lidského hlasu, nedochoval se.
- **Elektrum** - třecí elektrika složená ze skleněné koule ve stojánku otáčivé pomocí kliky, která se třela o kůži (Obr. 4).
- Pro své pokusy vlastnoručně vyrobil **leidenskou lahev** (zásobník el. náboje, předchůdce kondenzátoru).
- Zkonstruoval **bleskosvod** neboli „povětrnostní stroj“ (Obr. 5).
- **Léčení elektřinou** - zkonstruoval elektroterapeutické zařízení „scabellum“ pro léčení epilepsie, revmatismu, křečí, ochrnutí nebo duševních a jiných chorob.



Obr. 5: „Povětrnostní stroj“ [70]