MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ
FAKULTA
Univerzita Karlova

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ivana Špilínková

Historické experimenty a jejich analogie jako součást fyzikálního vzdělávání na středních školách

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Mgr. Vojtěch Žák, Ph.D.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Fyzika zaměřená na vzdělávání

Praha 2018

Mé poděkování patří vedoucímu bakalářské práce RNDr. Mgr. Vojtěchu Žákovi, Ph.D. za veškerou pomoc, rady a připomínky při tvorbě této práce, za trpělivost, vstřícnost a ochotu věnovat mi svůj čas.

Ráda bych poděkovala také Mgr. Šárce Adamcové za všechny nápady a návrhy na vylepšení aktivit a za pomoc při jejich realizaci.

Děkuji Mgr. Michalovi Kočerovi za umožnění výuky na gymnáziu v Českých Budějovicích, Jírovcova 8.

Děkuji učitelům fyziky z gymnázia v Českém Krumlově za zapůjčení pomůcek do výuky.

Děkuji své rodině a přátelům za důvěru, pochopení a podporu při psaní této práce i během mého studia.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

V Praze dne 15. 5. 2018 Ivana Špilínková

Název práce: Historické experimenty a jejich analogie jako součást fyzikálního vzdělávání na středních školách

Autorka: Ivana Špilínková

Katedra / Ústav: Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Mgr. Vojtěch Žák, Ph.D., katedra didaktiky fyziky

Abstrakt: Tato bakalářská práce je zaměřena na aktivity související s historickými experimenty. S ohledem na cíl bakalářské práce byla provedena dílčí rešerše česky psaných i mezinárodních zdrojů týkajících se využití historických experimentů ve výuce fyziky. K dalšímu zpracování byl zvolen Oerstedův pokus a historické metody měření tíhového zrychlení a rychlosti světla. Aktivity zabývající se těmito pokusy byly ověřeny ve výuce fyziky v různých ročnících vyššího i nižšího gymnázia. Na základě zkušeností z výuky byly tyto aktivity upraveny. Návrh průběhu těchto aktivit je uveden v materiálech určených pro učitele fyziky.

Klíčová slova: experiment, historický experiment, fyzika, fyzika na střední škole

Title: Historical experiments and their analogies as a part of physics education at upper secondary school level

Author: Ivana Špilínková

Department: Department of Physics Education

Supervisor: RNDr. Mgr. Vojtěch Žák, Ph.D., Department of Physics Education

Abstract: This bachelor thesis is focused on activities related to historical experiments. With regard to the aim of the bachelor thesis, research on Czech and international sources concerning to the use of historical experiments in physics education was carried out. For further processing, Oersted's experiment and historical methods of measurement of gravitational acceleration and speed of light were selected. Activities related to these experiments were verified in physics lessons at various classes of grammar school (both upper and lower). According to lessons, these activities were modified. The proposals of these activities are presented in materials intended for physics teachers.

Keywords: experiment, historical experiment, physics, physics at secondary school

Obsah

1 Úvod ... 1

2 Průzkum informačních zdrojů ... 3

2.1 Česky psané zdroje ... 3

2.2 Mezinárodní zdroje ... 4

3 Aktivity do výuky fyziky týkající se historických experimentů ... 8

3.1 Měření tíhového zrychlení ... 9

3.1.1 Úvod ... 9

3.1.2 Historie měření tíhového zrychlení ... 11

3.1.3 Ověření aktivity ve výuce ... 12

3.1.4 Reflexe aktivity ... 15

3.2 Oerstedův pokus ... 17

3.2.1 Úvod ... 17

3.2.2 Historie zkoumání elektřiny a magnetismu ... 19

3.2.3 Ověření aktivity ve výuce ... 22

3.2.4 Reflexe aktivity ... 25

3.3 Měření rychlosti světla ... 26

3.3.1 Úvod ... 26

3.3.2 Historie měření rychlosti světla ... 27

3.3.3 Ověření aktivity ve výuce ... 29

3.3.4 Reflexe aktivity ... 30

4 Závěr ... 33

Seznam použité literatury ... 35

Seznam příloh ... 37

1 Úvod

Tématem této bakalářské práce jsou historické experimenty, jejich analogie a začlenění aktivit týkajících se historických experimentů do výuky fyziky na středních školách. S fyzikálními pokusy se žáci setkávají v běžné výuce a při laboratorních cvičeních, ale patrně málokdy se během nich seznámí i s dalšími souvislostmi a okolnostmi jejich vzniku. Kromě provedení dílčí rešerše českých a mezinárodních informačních zdrojů bylo cílem bakalářské práce shromáždit informace o historickém kontextu několika fyzikálních experimentů a životě tehdejších vědců, zpracování těchto poznatků a vytvoření souboru aktivit, které by tyto vybrané historické mezníky ve fyzice a práci vědců přiblížily žákům. Záměrem bylo také vytvoření didaktických materiálů pro učitele fyziky, které se týkají jednotlivých aktivit.

Fyzika na základních i středních školách patří k nejméně oblíbeným předmětům. Mezi roky 2006 a 2008 proběhl projekt 2E06020 Národního programu výzkumu II, *Fyzikální vzdělávání pro všestrannou přípravu a rozvoj lidských zdrojů na úrovni základních a středních škol*. Jedním z výstupů tohoto projektu je kniha *Lze učit fyziku zajímavěji a lépe?* (Dvořák et al., 2008), ze které je zřejmé, že součástí projektu bylo zjistit, na co by se chtěli žáci při výuce fyziky zaměřit a které činnosti by rádi prováděli. Z analýzy nasbíraných dat vyplývá, že žáci by nejraději dělali pokusy vlastníma rukama a upřednostňují činnosti, které by jim pomohly získat dovednosti využitelné v životě.

Aktivity uvedené v této bakalářské práci jsou zaměřené na pokusy, které provádějí žáci (tzv. žákovské pokusy), a to ve skupinách. Takové experimentování může přispívat k formování osobnosti žáka, protože propojuje předchozí zkušenosti a vědomosti s vykonávanou prací a myšlením ostatních žáků. Dovednosti získané žákovskými pokusy pak mohou být hlubší a trvalejší, během experimentování se rozvíjí i intelektové a manuální zručnosti žáků. Výhodou správně zvoleného žákovského pokusu je také rozvoj schopnosti organizovat práci a spolupracovat se spolužáky (Svoboda & Kolářová, 2006, s. 96).

Historii fyziky jsem se rozhodla začlenit do výuky, přestože žáci ve výše uvedeném výzkumu uvedli, že historické souvislosti a život vědců by jejich zájem o fyziku příliš nezvýšil. Myslím si ale, že je důležité znát historický kontext objevů, o kterých se dozvídají ve škole. Je zajímavé sledovat osudy vědců, dobu, ve které vyrůstali, i komplikace, na které naráželi. Žáci by si během seznamování s jejich životy mohli uvědomit, že se mohou setkat s podobnými problémy.

Dříve neměli fyzikové k dispozici technologie, které máme dnes my. Využití moderních přístrojů k měření sice může být pro žáky zajímavé, ale domnívám se, že takové metody jsou často hůře pochopitelné, protože princip jejich fungování může být pro žáky střední (nebo dokonce základní) školy příliš náročný. Mezi historickými experimenty je možné najít mnoho pokusů, jejichž podstata je srozumitelná i na střední škole. Právě na takové experimenty jsem se ve své práci snažila zaměřit. Pro žáky by mohlo být přínosné uvědomit si, že k objevům docházelo i při provádění z dnešního pohledu jednoduchých pokusů.

2 Průzkum informačních zdrojů

Součástí tvorby této bakalářské práce je provedení průzkumu různých informačních zdrojů s cílem zjistit, co už bylo o historických pokusech ve výuce fyziky publikováno. Zaměřili jsme se jak na články, které byly napsány v českém jazyce, jsou volně dostupné a snadno dohledatelné na internetu, tak na zahraniční texty, k jejichž vyhledávání byla využita databáze SCOPUS, do které je přístup omezen.

2.1 Česky psané zdroje

Nejprve byly prohledány webové stránky *www.fyzikalnipokusy.cz*, protože se na nich nachází soubor různých experimentů, z nichž některé by se mohly týkat tématu této bakalářské práce. Z historických pokusů je na těchto stránkách popsaný pouze *Brownův pohyb* (viz http://fyzikalnipokusy.cz/1876/brownuv-pohyb) a *Youngův dvojštěrbinový pokus* (viz http://fyzikalnipokusy.cz/1658/dvojsterbinovy-pokus).

Dalším zdrojem experimentů jsou internetové stránky *Veletrhu nápadů učitelů fyziky* (viz www.vnuf.cz). Na těchto stránkách najdeme nápady učitelů fyziky z různých škol, kteří zejména chtějí nejrůznějšími aktivitami a experimenty motivovat své žáky ke studiu fyziky. Ve *Sborníku toho nejlepšího z veletrhů 1 − 17* bylo využito vyhledávání pomocí klíčových slov. Prozkoumána byla klíčová slova „světlo“, „laser“, „duha“, „hranol“, „mikrovlnná trouba“, „zvuk“ a „rychlost zvuku“. Vybrána byla tato klíčová slova, protože bychom mohli očekávat, že se budou odkazovat na nějaký historický pokus zabývající se světlem nebo zvukem.

Historie se ale z takto nalezených článků týká pouze článek Horvátha (2006) nacházející se pod klíčovým slovem „historický přístup“, který se zabývá odvozením stavové rovnice ideálního plynu. Autor článku považuje za důležité, aby poznatky z fyziky nebyly pro žáky pouze teoretické. Při předávání vědomostí je podle něj vhodnější empirický přístup, díky kterému mohou žáci dospět k výsledku sami. Během odvozování stavové rovnice postupuje v souladu s historickým kontextem.

2.2 Mezinárodní zdroje

K dalšímu vyhledávání byla použita internetová databáze SCOPUS. Ve vyhledávání jsme se zaměřili na časopis *Physics Education* (viz http://iopscience.iop.org/journal/0031-9120). Nejdříve byly mezi články vyhledávány ty, které jsou uvedeny pod klíčovými slovy „historical experiment", „history" a „constant", protože by mohly souviset s tématem bakalářské práce. Poté jsme se stejně jako v případě výše uvedených domácích zdrojů zaměřili na spojení slov „history, speed of light", „history, speed of sound" a nakonec byly prohledány články týkající se různých vědců.

Jedním z nalezených výsledků je článek, který se zabývá Hertzovým experimentem (Bozzo, Bonanno, & Sapia, 2017), jehož cílem je seznámit žáky s elektromagnetickým vlněním, zreprodukovat Hertzovy základní myšlenky a pomocí experimentu ukázat snadný způsob, jak generovat a zachycovat elektromagnetické vlnění v moderním pojetí. Elektromagnetické jevy se objevují v každodenním životě, ale různé studie ukazují, že představy a modely související s elektromagnetismem jsou pro žáky problematické a abstraktní. Z toho důvodu představuje podle autorů výuka elektromagnetického vlnění zajímavou výzvu.

Podle Mayera a Varaksinové (2014), autorů článku *Modern analogue of Ohm's historical experiment*, získají žáci lepší představu o vědeckém bádání, pokud si sami vyzkouší historický přístup ke zkoumání. Cenné jsou podle jejich názoru i moderní verze historických experimentů, které pomáhají žákům zvládnut metody vědeckého bádání ve fyzice. Na začátku článku je popsán elektrický obvod vytvořený přímo Ohmem a následuje popis zjednodušeného přístroje, díky kterému můžeme Ohmův zákon ověřit ve výuce.

Historickými experimenty ve výuce fyziky se zabývá také článek *From Pythagoras to Sauveur: tracing the history of ideas about the nature of sound* (Caleon & Subramaniam, 2007). V něm je zmíněn názor, že historický popis, který líčí vývoj vědeckých objevů a popisuje, jak a v jakém kontextu tyto nápady vznikly, včetně vědců, kteří za nimi stojí, může pomoci zlidštění vědy a posílení významu jejích úspěchů. Historický pohled na vývoj myšlenek o vědeckých pojmech může učitelům

pomoci porozumět potížím, na které žáci naráží při opouštění svých mylných představ a miskoncepcí.

V dalších článcích, které se zabývají historickými experimenty, byl popsán experiment Viktora Hesse (Abed, 2014), který vyslal balon do horní vrstvy atmosféry a prokázal tak existenci ionizujícího záření, a pokusy týkající se astronomie (Teichmann, 1991).

Pod termínem „speed of sound“ byl nalezen článek o měření rychlosti zvuku ve vodě (Ward, 2015). Na začátku textu je popsáno historické provedení tohoto měření z roku 1826 a praktický význam (např. navigace pod vodou, ultrazvuk), kvůli kterému je důležité velikost rychlosti zvuku ve vodě znát. Následuje popis pokusu, který je podle autora pochopitelný i pro žáky základní školy.

V článku autorů Yavuze a Temize (2016), kterému také odpovídá klíčové slovo „speed of sound“, je tradiční experiment na měření rychlosti zvuku (s využitím Kundtovy trubice) zpracován v moderním pojetí s využitím sluchátek, iPhonu a iPadu. Po objasnění pokusu s Kundtovou trubicí autoři vysvětlují svůj experiment s využitím jednoduchých pomůcek, který je proveditelný i mimo fyzikální laboratoř a přispívá tím k rozšíření znalostí o experimentální fyzice. Velmi podobný pokus také od Yavuze je popsán v článku *Measuring the speed of sound in air using smartphone applications* (Yavuz, 2015).

Moderním způsobem přistupuje k pokusu s Kundtovou trubicí i článek *Kundt's tube experiment using smartphones* (Parolin & Pezzi, 2015). Jsou v něm navrženy jednoduché pokusy s chytrými telefony, díky kterým mohou žáci snadno vytvořit a prozkoumat stojaté vlnění, uzly a kmitny.

Spojení klíčových slov „history, speed of light“ nedalo žádný výsledek. Vyhledávání bylo tedy rozšířeno na všechny články o rychlosti světla a mezi nimi jsme se snažili najít ty, které se týkají historie. Tématu této práce odpovídá pouze článek zachycující historický průzkum doby před Planckem (Oon & Subramaniam, 2009). Zabývá se názory na původ světla od starověkého Řecka po příchod Plancka. V souladu s historií autoři ukazují, že vývoj myšlenek je také doprovázen krizí způsobenou střety

názorů, které jsou ale důležité pro vědecký pokrok. Žáci mohou věřit některým poznatkům ve fyzice stejně, jako je vnímali antičtí filozofové. Zahrnutí historického pohledu do výuky fyziky jim může podle autorů pomoci vidět změnu, ke které došlo v průběhu let, a uvědomit si, že některé z jejich miskoncepcí se vyskytovaly u fyziků minulých století. Když si žáci uvědomí, že nejsou sami, kdo má různé představy, je pro ně pak pravděpodobně snazší vydat se správným směrem. Sledování vývoje myšlenek dává také žákům příležitost uvědomit si, jak je budováno vědecké poznání, což v nich může vzbudit zájem o výuku fyziky.

Pod klíčovým slovem „constant, experiment“ byl nalezen pokus zabývající se měřením solární konstanty (Břízová & Šlégr, 2017). V článku není uveden historický přístup k měření této konstanty; autoři popisují pouze experiment s jednoduchým bolometrem, který může být předveden ve škole.

Jiným způsobem, jak najít články týkající se historie, bylo zadávání jmen různých fyziků. Při hledání se objevil například článek o Faradayovi (Crawford, 1993), ve kterém nám autor popisuje svůj způsob výuky, v níž seznamuje žáky s přesunem nábojů. Žáci se učí jak o vedení proudu, tak o vědecké práci. Musejí sami přemýšlet. Získají také nový pohled na nepovedený experiment – když nefunguje, objevili něco stejně důležitého, jako kdyby fungoval. Podle autora je historie způsob, jak v žácích podpořit myšlení. Pokud učitel uzná, že každý má jiné, kreativní myšlení, pomůže mu to vzdát se představ o tom, že jen on má veškeré znalosti a že žáci je přijmou tak, jak očekává.

V článku Glucka (2010) se dočteme o projektu, který se týkal Huygensových kyvadlových hodin. Historickým významem tohoto projektu je, že se žáci dozvědí něco o Bernoulliho rodině a Huygensovi, se kterým se mohou setkat i v jiném kontextu (například vlnová teorie). Na začátku tvorby projektu jsou žáci seznámeni s brachistochronou a úspěchem Huygense, který spočívá v sestavení prvních přesných kyvadlových hodin, založených na cykloidě. Cílem projektu je porovnání nakloněné roviny a brachistochrony a prozkoumání cykloidního kyvadla.

Dalším fyzikem, o kterém by mohl být nalezen nějaký článek týkající se historických pokusů, je Isaac Newton. Pod jeho jménem byly nalezeny pouze experimenty, jimiž ověříme Newtonovy zákony. Žádný z nich se ale neodkazoval na historii jejich objevu. Zajímavý je článek Tucciho (2015), který se zabývá různými portréty Newtona. Pomocí několika malířů dává do souvislosti vědu a výtvarné umění. Kromě kulturního a vědeckého kontextu jednotlivých epoch, díky kterému můžeme pochopit, jak se věda a její vnímání během let změnily, se v textu můžeme dočíst i o Newtonově životě a jeho díle.

V článku Michelsena (2017) o Oerstedově pokusu se dozvíme jednak o historii jeho objevu, ale seznámíme se také s názorem autora na to, proč tento historický experiment zařadit do výuky. Michelsen se domnívá, že výuka by měla být obohacena o historii, vzájemný vztah fyziky a kultury, pohled na svět, filozofii a metodologii. Historický kontext je důležitý k pochopení problému a situace, ze které vzešly další myšlenky. Pomocí příběhu seznamuje své žáky s životem Oersteda. Sledováním jednotlivých kroků jeho života se žáci seznámí nejen se vztahem mezi elektřinou a magnetismem, ale také pochopí fyziku jako hnací sílu kultury a společnosti. Vyprávění příběhu je také podle něj nástroj, jak dát žákům příležitost přemýšlet stejně jako vědci, což je lepší než doslovné opakování historie.

3 Aktivity do výuky fyziky týkající se historických experimentů

Po průzkumu informačních zdrojů byly k dalšímu zpracování vybrány pokusy zabývající se měřením tíhového zrychlení, měřením rychlosti světla a Oerstedův pokus. K tíhovému zrychlení nebyly během provádění rešerše nalezeny žádné články. Oerstedem se zabývá článek od Michelsena (2017). Oersted je v něm dáván do souvislosti s Hansem Christianem Andersenem, protože oba pocházeli z Dánska. Článek se týká spíše jejich životů než Oerstedova experimentování, takže návrh aktivity podle Michelsena využitý nebyl. Informace o světle poskytuje pouze článek zabývající se různými pohledy na světlo v době před Planckem (Oon & Subramaniam, 2009). Historie měření rychlosti světla je v něm popsaná velmi stručně. Text se zabývá také korpuskulární, vlnovou a elektromagnetickou teorií světa. Aktivita týkající se měření rychlosti světla ale tato témata nezahrnuje, takže článek dále využitý nebyl.

Následující aktivity byly vytvořeny k těmto experimentům, protože se domnívám, že je u nich zajímavý historický kontext a jsou snadno proveditelné i ve škole. Cílem bylo zvolit takové pokusy, k jejichž uskutečnění žáci nepotřebují žádné speciální pomůcky, a mohou si je tedy sami zopakovat případně i doma. Výhodou takových pokusů je podle mého názoru také to, že žáci snáze pochopí jejich podstatu, a nemusí se tedy dlouze zamýšlet nad tím, jaké veličiny a proč mají měřit.

Uvedené aktivity zahrnující tyto pokusy byly ověřeny v různých třídách a poté byla navržena úprava výuky a jednotlivých aktivit tak, aby docházelo k co nejmenším komplikacím při jejich realizaci. U každého tématu jsou sepsány cíle, pomůcky potřebné na experimentování a průběh aktivity, ve kterém jsou zmíněny i úkoly, kterými by se žáci měli během výuky zabývat. Následuje historický kontext daných objevů. Otázky a úkoly jsou zvoleny tak, aby se žáci zaměřili na popis a rozbor pozorovaného jevu, zapisovali si průběh prováděného pokusu, zpracovali naměřená data a výsledky mezi sebou diskutovali. Tyto úkoly je vhodné žákům sdělit hned na začátku a případně je napsat na tabuli nebo vytisknout, aby je žáci měli stále na zřeteli.

K experimentování nebyly vytvořeny žádné pracovní listy z toho důvodu, aby si žáci mohli sami zvolit způsob zpracování naměřených hodnot a pozorovaných jevů. Domnívám se, že tento přístup se více blíží práci vědců a je pro žáky kreativnější a přínosnější než vyplňování už předem připravených textů a tabulek, protože přispívá k rozvoji samostatnosti, přesnosti a zodpovědnosti.

Žákům nebyl dopředu sdělen pracovní postup. Nejprve se museli ve skupinách zamyslet, jak by měli pokus uspořádat a které veličiny mají změřit. Až po konzultaci se mnou jako vyučující se pustili do experimentování. Většinou se v každé skupině našel nějaký žák, který věděl, jak mají postupovat. V opačném případě jsem se je snažila na správnou cestu navést tak, abych jim neporadila přímo, a mohli tedy s dopomocí na způsob měření přijít aspoň částečně sami.

Pro učitele fyziky jsou vytvořeny didaktické materiály popisující jednotlivé aktivity (viz *Příloha 1−3*). Tato shrnutí obsahují cíle aktivit a seznam pomůcek, které jsou určené pro experimentování. Dále se v nich nachází popis jednotlivých činností během výuky a úkoly pro žáky. Po ověření daných aktivit ve výuce byly tyto materiály doplněny o stručné okomentování jejich průběhu ve výuce.

3.1 Měření tíhového zrychlení

3.1.1 Úvod

Tato aktivita může být zařazena do kapitoly *Pohyby těles a jejich vzájemné působení* v Rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia (*RVP G*, 2007, s. 27). Žáci se seznámí s historickými metodami měření tíhového zrychlení a sami si jeho hodnotu zkusí změřit, což by mohlo vést k lepšímu pochopení této fyzikální veličiny.

K této aktivitě jsem do výuky vybrala měření tíhového zrychlení na základě volného pádu a pomocí matematického kyvadla. Obě tyto metody jsou snadné na provedení a nevyžadují složité přístroje nebo těžko dostupné pomůcky, takže žáci mohou tyto pokusy kdykoli zopakovat například doma. Při využití volného pádu se může učitel zmínit o Galileovi, kyvadlo zase souvisí s Huygensem.

Cíle: Žáci dokáží po provedení pokusu vysvětlit, které veličiny a z jakého důvodu měřili. Seznámí se s historickými přístupy k měření tíhového zrychlení a diskutují, na jaké problémy mohli tehdejší fyzikové narazit.

Pomůcky:

Volný pád:

- několik předmětů o různých hmotnostech a velikostech (například golfový, pingpongový a tenisový míček, polystyrenová koule nebo volejbalový míč)
- stopky (např. v mobilním telefonu)
- délkové měřidlo („metr“)

Kyvadlo:

- dvě špejle
- izolepa
- nit (nesmí se vlivem běžných sil prodloužit)
- několik závaží o různých hmotnostech (např. 50 g a 100 g)
- stopky (např. v mobilním telefonu)
- délkové měřidlo („metr“)

Průběh aktivity a úkoly pro žáky:

- Pokud má učitel k dispozici přístroj na měření tíhového zrychlení (například padostroj), může ho využít k demonstračnímu pokusu na začátku vyučovací hodiny nebo jako motivaci do další vyučovací hodiny.
- Žáci se rozdělí do skupin (ideálně čtveřice) a zvolí si metodu, kterou chtějí tíhové zrychlení měřit (na výběr je měření na základě volného pádu s využitím stopek, natočení videozáznamu volného pádu mobilním telefonem a případně převedení na zpomalené video nebo použití matematického kyvadla).
- Při určování tíhového zrychlení na základě volného pádu vyberou žáci nejvhodnější a nejméně vhodný předmět pro tento experiment a svůj výběr zdůvodní.
- K provedení experimentu s kyvadlem využijí žáci různě těžká závaží a různé délky závěsu.

- Měření několikrát zopakují a z průměrných hodnot spočítají velikost tíhového zrychlení.
- Zamyslí se například nad tím, na jaké komplikace mohl narazit při experimentu Galileo, jak by výsledek vypadal na Měsíci a která z použitých metod je pravděpodobně přesnější.
- Na papír zaznamenají průběh experimentu, uvedou naměřené hodnoty a výsledky měření a diskutují zadané otázky.

3.1.2 Historie měření tíhového zrychlení

(Zpracováno podle knih Štolla, 2009, s. 72, 148−149; Krause, 2007, s. 75, 179.)
Od 4. stol. př. n. l. převládala Aristotelova představa, že rychlost volného pádu těles k zemi závisí na jejich hmotnosti. Aristotelovy teze popřel až *Galileo Galilei* (1564–1642) v díle *De motus* (O pohybu). Galileo se zabýval pokusy s volným pádem těles, valením koulí po nakloněné rovině a vodorovným vrhem. K měření času používal odkapávání kapek ve vodních hodinách, vlastní tep nebo rytmické doby skladeb, což způsobovalo problémy při měření krátkých časových intervalů. K pokusům, které se zabývaly volným pádem, použil stejně velká tělesa téhož tvaru, ale z různých materiálů, nebo vzájemně spojená lehká a těžká tělesa, která k zemi dopadla společně stejnou rychlostí. Legenda popisuje, že Galileo zkoumal volný pád během pouštění předmětů z šikmé věže v Pise. V roce 1609 objevil správnou závislost rychlosti na čase. Velký význam při určování tíhového zrychlení měly pokusy s valením koulí v hladkých žlábcích na nakloněné rovině („Galileův padostroj“), protože umožňují studovat rovnoměrně zrychlený pohyb snadněji než při rychle probíhajícím volném pádu. Galileo se zabýval i kyvadly. Prokázal, že doba kyvu nezávisí na hmotnosti závaží.

Dalším z principů měření tíhového zrychlení je kyvadlo. Teorii matematického a fyzického kyvadla popsal holandský fyzik *Christiaan Huygens* (1629–1695) ve spisu *Kyvadlové hodiny* (1673). První kyvadlové hodiny sestrojil v roce 1657. Položil tak základ pro konstrukci kyvadlových přístrojů, díky kterým bylo tíhové zrychlení měřeno více než 250 let. Huygens chtěl zjistit, jakou vzdáleností projde těleso při volném pádu během první sekundy, aby mohl určit tíhové zrychlení. Nebylo ale snadné změřit přesně trvání jedné sekundy, takže hodnotu tíhového zrychlení změřil

až v roce 1678 pomocí sekundového kyvadla. Kyvadlové přístroje byly jedinými zařízeními k měření tíhového zrychlení až do 20. let 20. století.

V dnešní době se už kyvadlo k měření tíhového zrychlení nepoužívá. Mezi přesnější metody patří například měření tíhového zrychlení pomocí volného pádu. V roce 1965 použil *J. E. Faller* k měření vzdáleností při volném pádu světelný interferometr (o dva roky později laserový, který byl přesnější).

3.1.3 Ověření aktivity ve výuce

Tato aktivita byla se svolením paní učitelky Šárky Adamcové začleněna do dvouhodinové výuky fyziky na gymnáziu v Českých Budějovicích, Jírovcova ulice, č. 8. Pro ověření byla vybrána třída 1. A na 4letém gymnáziu. Tato výuka, dvouhodinové cvičení, je určena pro polovinu třídy; ve výuce bylo přítomno 13 žáků.

Žáci byli na začátku seznámeni s cíli a průběhem výuky. Sami se rozdělili do 3 trojic a 1 čtveřice. Každá skupina dostala několik papírů formátu A3, na které měli její členové za úkol zapsat postup měření, měřené veličiny, výsledky a závěr, ve kterém diskutují i přesnost výsledků. Při měření tíhového zrychlení měli na výběr ze dvou možností – buď pomocí matematického kyvadla, nebo na základě volného pádu. Mohli si zvolit, kterou metodou začnou. Dvě skupiny se nejdříve zabývaly kyvadlem, zbylé dvě volným pádem. Pro obě varianty byly připravené kartičky s úkoly (viz *Příloha 4*).

Žáci, kteří se zabývali měřením tíhového zrychlení pomocí *kyvadla*, dostali navíc ještě stručné informace o matematickém kyvadle (viz *Příloha 5*) s uvedeným vztahem pro jeho periodu $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, protože ve výuce bude odvozen až později. Jejich prvním úkolem bylo z tohoto vztahu matematickými úpravami vyjádřit tíhové zrychlení, což bylo pro některé z nich obtížné. Nejčastěji dělali chyby při dělení zlomkem. Když si uvědomili, které veličiny se ve vztahu vyskytují a které z nich musí změřit, vzali si z krabice pomůcky, s jejichž pomocí sestavili kyvadlo. K dispozici měli dvě špejle, izolepu, nit, několik závaží o různých hmotnostech, délkové měřidlo a stopky na svém mobilu.

Na přiloženém papíru bylo znázorněno matematické kyvadlo, kde byla délka l vyznačena až do těžiště závaží; přesto všechny skupiny měřily délku závěsu k hornímu okraji závaží. Po upozornění na obrázek ale nakonec všichni určili délku správně. Ke změření tíhového zrychlení měli použít různé délky závěsu a různě těžká závaží.

U měření tíhového zrychlení na základě *volného pádu* měli žáci k dispozici krabici, ve které se nacházelo několik míčků, z nichž měli vybrat jeden, který bude pro experiment nejvhodnější, jeden nejméně vhodný a svoji volbu měli zdůvodnit. Prvním krokem bylo uvědomit si, jaký vztah musí k výpočtu využít. K dispozici měli fyzikální tabulky. Některé žáky napadl jako první vztah $v = gt$, od kterého se nakonec stejně jako ostatní spolužáci dostali ke vztahu pro dráhu $s = \frac{1}{2}gt^2$, který je pro tento pokus vhodnější. Vyjádřit z tohoto vztahu tíhové zrychlení pro žáky nebylo tak obtížné jako v případě kyvadla. Všichni si hned uvědomili, které veličiny mají měřit a které pomůcky k pokusu potřebují.

Ke zdi jsme s první skupinou přilepili skládací dvoumetr, aby bylo měření dráhy snazší. Jedna skupina zkusila pustit míče ze schodiště, aby využili větší dráhu. K měření času všichni používali stopky na mobilním telefonu. V průběhu experimentu jsem jim navrhla natočit si padající míček pomocí mobilního telefonu a určit čas z videozáznamu, což někteří považovali za přesnější metodu měření než s využitím stopek. Nicméně už nikomu nezbyl čas tento způsob vyzkoušet.

Součástí úkolů u volného pádu bylo zamyslet se, jak by obdobný pokus dopadl na Měsíci. Všechny skupiny došly k závěru, že zrychlení tam bude menší, a vyvodily důsledky pro daný experiment. Původním plánem bylo tuto otázku diskutovat společně při závěrečném zhodnocení měření; nakonec jsme ji ale probrali s členy každé skupiny individuálně podle toho, kdy pokus dokončili.

Aby se žáci dozvěděli informace o historickém vývoji tohoto měření, zmínila jsem se o Aristotelovi a Galileo Galileovi. Úkolem žáků bylo rozhodnout, zda měl pravdu Aristoteles, když se domníval, že rychlost volného pádu závisí na hmotnosti tělesa, či Galileo, který tvrdil, že ani rychlost volného pádu, ani perioda kmitání kyvadla na

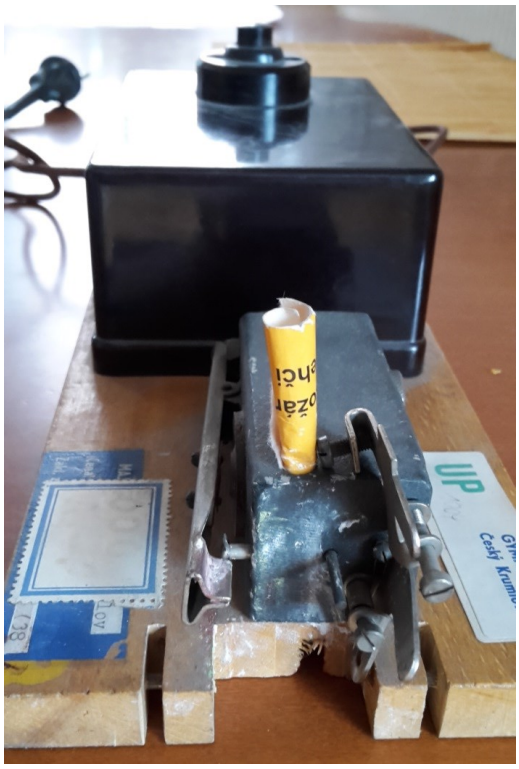
hmotnosti tělesa (závaží) nezávisí. Žáci dobře usoudili, že správná byla Galileova představa.

Následně jsme se zabývali otázkami, na jaké problémy mohl Galileo při měření narazit (například měření času), v čem se dopouštíme nepřesností my, čím by se daly výsledky zlepšit a kterou metodou jsme získali přesnější hodnotu. Někteří žáci si sami hned uvědomili, že výsledky by zpřesnilo lepší určení času. Periodu kyvadla nebo dobu volného pádu tedy měřili na dvojích stopkách najednou (viz *Obrázek 1*). Výslednou hodnotu pro každé opakování experimentu spočítali jako aritmetický průměr.

Obrázek 1: Měření doby kmitu kyvadla

V souvislosti s předchozími experimenty jsme chtěly s paní kolegyní Adamcovou přiblížit žákům funkci padostroje. Na gymnáziu v Českém Krumlově, kde jsem studovala, se nachází pomůcka, kterou žádný z učitelů fyziky v poslední době nepoužíval, protože dosud nevěděli, k čemu slouží (viz *Obrázek 2*). Paní učitelka Adamcová si uvědomila, že ji kdysi využívali k měření tíhového zrychlení a že by se tedy znovu mohla použít ve výuce. Princip tohoto padostroje spočívá v tom, že po stisknutí tlačítka začne kmitat hrot, který je nabarvený například křídou. Když

v blízkosti hrotu padá tyč, vzniknou na ní díky jeho kmitání značky. Vzdálenost obarvených míst se vlivem gravitačního působení postupně prodlužuje, což se poté využije při výpočtu. Přinesly jsme ji tedy ukázat žákům, aby se na konci výuky zamysleli, jak bychom mohli pomocí tohoto přístroje tíhové zrychlení změřit. Žáci sami prozkoumali, jak přístroj funguje, což sloužilo jako motivace do příští hodiny, kdy si odvodili rovnice potřebné k určení hodnoty tíhového zrychlení touto metodou.



Obrázek 2: Padostroj

V případě, že by měli žáci všechno dříve hotové, připravila jsem pro ně ve spolupráci s paní kolegyní ještě měření pomocí systému PASCO. Předchozí činnosti ale zabraly více času, než jsme očekávaly, takže jsme jim jen krátce na úplném konci výuky ukázaly, jak systém funguje a co mohou vidět v grafu. Pro žáky může být práce s tímto programem zajímavá, protože se více seznámí s moderními technologiemi a měření bývá přesnější než s využitím běžných stopek.

3.1.4 Reflexe aktivity

Při další realizaci této aktivity by bylo lepší nechat žáky vybrat pouze jednu metodu, aby zbylo více času na závěrečnou diskuzi a porovnání výsledků i mezi skupinami. Nevýhodou přístupu, který byl zvolen v této výuce, bylo, že výsledky byly se žáky probírány spíše individuálně v jednotlivých skupinách podle toho, jak rychle měli

měření hotové. V rámci druhého experimentu už některým skupinám nezbylo dost času na to, aby mohli jejich členové splnit všechny úkoly. Například u kyvadla tedy proměřili pouze jednu délku závěsu a jedno závaží, u volného pádu provedli méně měření času pro danou výšku.

Hodně času také žáci strávili psaním protokolu. Z předchozích fyzikálních cvičení byli zvyklí na jasně zadaný pracovní postup, takže je zaskočilo, když museli sami vymyslet, co mají měřit a jakým způsobem to zpracovat. Aby byla tato část aktivity urychlena, bylo žákům nakonec dovoleno, aby za každou skupinu odevzdali pouze jeden protokol.

I když bylo žákům na začátku vyučovací hodiny i v průběhu výuky připomenuto, co všechno mají do protokolů napsat, při jejich analýze se ukázalo, že některé body vynechali. Jedna skupina například neuvedla při měření tíhového zrychlení pomocí volného pádu časy jednotlivých pádů pro danou výšku, ale pouze jejich aritmetický průměr (viz *Příloha 6*). Na rozdíl od ostatních skupin změřili tíhové zrychlení i pro méně vyhovující, polystyrenový míček. Pečlivě také popsali postup měření. Jiný protokol (viz *Příloha 7*) vypadá na první pohled jako pečlivě zpracovaný, ale při kontrole se ukázalo, že při výpočtu byl ve vzorci špatně umocněný čas, takže po opravě se hodnota tíhového zrychlení více liší od tabulkové hodnoty.

Obtížné bylo pro všechny skupiny formulovat závěr a odpovědět na otázku, co mohlo způsobit odlišnost výsledků. Všichni si uvědomovali, že k nepřesnostem dochází kvůli nedokonalému měření, což je ale příliš obecné tvrzení. Tento závěr je například uvedený v jednom z protokolů (viz *Příloha 8*). Pojmenovat konkrétní problémy při provádění experimentů bylo pro žáky náročnější, proto je lepší navést je vhodnými otázkami k přemýšlení o výhodách a nevýhodách zvolené metody měření. Všechny odevzdané protokoly by měly obsahovat hlubší diskuzi, aby si žáci uvědomili, kde se dopouští největších nepřesností.

3.2 Oerstedův pokus

3.2.1 Úvod

Tato aktivita může být zařazena do kapitoly *Elektromagnetické jevy, světlo* v Rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia (*RVP G*, 2007, s. 28). Pomáhá žákům pochopit vznik magnetického pole v okolí vodiče s proudem a podobu magnetického pole. Způsob provedení Oerstedova pokusu byl inspirován článkem Žáka (2007), ve kterém je k experimentování využita tužková baterie a další jednoduché pomůcky.

Cíle: Žáci během vyučovací hodiny prozkoumají chování střelky kompasu v blízkosti vodiče s proudem. Pomůcky mají k dispozici, ale uspořádání experimentu musí sami vymyslet a nakreslit. Popíší podstatu tohoto pokusu. Při opakování tohoto pokusu sami určí, jaké pomůcky k němu potřebují, a předvedou jej samostatně bez návodu či pracovního postupu. Nakreslí, jak přibližně vypadají magnetické indukční čáry v okolí vodiče s proudem.

Pomůcky:

- tužková baterie (typ AA, napětí alespoň 1,5 V)
- vodič (například proužek alobalu) – délka 10−15 cm, šířka 2 cm
- kompas nebo zmagnetovaná jehla

Průběh aktivity a úkoly pro žáky:

- Žáci jsou rozděleni do skupin po 2 až 4 lidech, ale počet se může odvíjet od dostupnosti pomůcek.
- Žáci mají za úkol prozkoumat různé vzájemné polohy vodiče a střelky kompasu.
- Umístí vodič rovnoběžně s jehlou a prozkoumají chování při obou orientacích proudu.
- Na základě předchozích experimentů nakreslí, jak si představují tvar magnetických indukčních čar v okolí vodiče (orientované kružnice se středem ve vodiči, které leží v rovině kolmé na vodič).

- Jako motivace do další výuky může sloužit elektromagnet vyrobený z baterie a vodiče omotaného kolem šroubu. Po propojení obvodu přitahuje šroub drobné železné předměty – například hřebíčky nebo kancelářské svorky.

Návrh následující vyučovací hodiny:

- Žáci vytvoří z vodiče smyčku, provedou úvahu o průběhu magnetických čar a magnetického pole uvnitř smyčky a výsledek nakreslí.
- Spojením více vodičů a jejich smotáním získají válcovou cívku, u které se pokusí zjistit průběh jejího magnetického pole.
- Má-li učitel k dispozici vhodnou cívku, potvrdí žákům pomocí pilin nebo kompasu předchozí závěry žáků.

Pokud není ve škole k dispozici dostatečný počet kompasů, alternativou je využít zmagnetovanou jehlu. Jehla může být položena na korek a umístěna do misky s vodou (viz *Obrázek 3*), nebo ji lze přivázat na nit a zavěsit na stojánek vytvořený ze špejlí. V prvním případě je lepší použít větší misku, aby poloha korku a orientace jehly nebyly ovlivněny zakřivenou hladinou u stěn. K sestavení stojánku jsou potřeba tři špejle, gumička na jejich spojení a nit na pověšení jehly. Gumičku je vhodné příliš neutahovat, aby bylo možné od sebe konce špejlí oddálit (viz *Obrázek 4*).

Obrázek 3: Oerstedův pokus s využitím baterie, vodiče, jehly, korku a misky s vodou

Obrázek 4: Stojánek ze špejlí se zavěšenou zmagnetovanou jehlou

Pro správné pochopení pokusu je důležité, aby si žáci dopředu zopakovali vlastnosti magnetických indukčních čar (mezi podstatné vlastnosti patří, že indukční čáry jsou uzavřené a orientované křivky popisující magnetické pole; jsou to myšlené čáry směřující vně magnetu od jeho severního pólu k jižnímu a dále procházejí magnetem zpět od jižního k severnímu pólu; střelka kompasu či zmagnetovaná jehla má směr tečny k indukční čáře).

3.2.2 Historie zkoumání elektřiny a magnetismu

Začátkem 19. století ještě převládal názor, že elektřina a magnetismus jsou od sebe zcela oddělené vědní disciplíny. Poznatky o elektrických a magnetických jevech se do té doby vyvíjely nezávisle na sobě (Štoll, 2009, s. 253, 278).

Magnetismus:

(Zpracováno podle knih Krause, 2007, s. 25−31; Štolla, 2009, s. 55, 120, 254)

Nejspíš nezávisle na sobě byl ve starověkém Řecku a v Číně nalezen minerál magnetovec (magnetit) a jeho neobyčejné chování. Magnetické účinky magnetovce

byly objeveny při těžbě železné rudy, protože se často nacházel v oblastech, kde se ruda těžila. V Číně byl možná zkonstruován první kompas k navigaci lodí (6. až 4. stol. př. n. l.). Kompas vyrobený z magnetitu ve tvaru lžíce byl umístěn na hladkou měděnou či bronzovou desku, aby docházelo k pohybu držátka lžíce podle zemského magnetického pole. Nemůžeme spolehlivě určit rok ani století, ve kterém byl magnet poprvé využit k orientaci, důvěryhodné zdroje k této přesnější informaci chybí.

Magnetismem se v Řecku zabýval *Thales z Milétu* (6. stol. př. n. l.). Všiml si, že kusem železa hýbe magnetovec z města Magnesia, a domníval se, že tento kámen má duši. Thaletovo jméno je spojováno i s objevem elektřiny. Ze středověku se dochovalo dílo *Petra Peregrina z Maricourtu* (1220−1270), ve kterém jsou popsány vlastnosti magnetu a experimenty, které vedou k určení jeho polarity a vzniku magnetu zmagnetováním železa. Autor zavedl pojem severního a jižního pólu magnetické střelky. Zkoumal přitažlivé a odpudivé síly mezi nimi a vlastnosti rozlomeného magnetu. Údiv vzbuzovalo, že severní a jižní pól magnetu od sebe nelze oddělit.

Neoddělitelnost pólů ověřil v 16. stolení Angličan *William Gilbert* (1544− 1603). Rozvoj námořní navigace vyžadoval přesnější znalosti o chování magnetické střelky. Zabýval se tedy i vlastnostmi zemského magnetického dipólu. Zmapoval průběh magnetických indukčních čar zemského magnetu.

Elektřina:

(Zpracováno podle knih Krause, 2008, s. 15, 16, 27, 28, 37, 60; Štolla, 2009, s. 55, 253−258, 262−263, 265, 267, 270, 272−280)

K prvním experimentům z elektrostatiky docházelo ve starověkém Řecku. *Thales z Milétu* objevil, že kousky jantaru (řecky elektron) přitahují po předchozím tření drobné předměty. Pokusy s jantarem provedl v novověku také *William Gilbert*. Ukázal navíc, že kromě jantaru lze použít mnoho jiných látek (například síru, sklo, pryskyřici nebo kamennou sůl). Rozlišil a oddělil od sebe elektrické a magnetické jevy a zavedl název „elektřina“. Sestrojil první elektroskop, pomocí něhož měřil velikost elektrických sil. Zajímavé je, že pozoroval pouze přitahování nabitých těles.

Odpuzování poprvé zkoumal až v roce 1629 Ital *Nicolo Cabeo* (1585−1650). V této době ještě neměli vědci k dispozici žádný uměle vytvořený zdroj elektřiny. Až v roce 1650 sestrojil *Otto von Guericke* (1602− 1686) první třecí elektriku (otáčející se sírová koule), která byla více než sto let používaná jako jediný zdroj statické elektřiny. Během této doby byla objevena elektrostatická indukce. Jako první ji zřejmě pozoroval *Stephen Gray* (1666−1736). V roce 1734 rozlišil *Charles Francois du Fay* dva „druhy elektřiny" (skelnou a jantarovou) závisející na tom, jaká látka je třena. Ve 40. letech 18. století byl vynalezen kondenzátor (leidenská láhev), díky kterému bylo možné elektřinu vznikající třením uchovávat a hromadit.

Leidenské láhve využíval ke svým experimentům také *Benjamin Franklin* (1706−1790). V letech 1747–1754 prováděl riskantní pokusy s atmosférickou elektřinou, při kterých hledal souvislosti mezi bleskem a jiskrou. Při pokusu z roku 1752 vypustil do bouřkového mraku draka s drátěným hrotem a pozoroval přeskakování jisker mezi rukou a kovovým klíčem na konci provázku. Při dalším experimentu instaloval na střechu svého domu kovový hrot a při bouřce nabíjel baterii leidenských láhví. Dokázal tak, že blesk je důsledkem atmosférické elektřiny, a popsal svůj návrh tyčového bleskosvodu, který byl ale poprvé nainstalován až v roce 1760. Za vynálezce bleskosvodu je tudíž považován *Prokop Diviš*, farář ze Znojemska. V roce 1750 Franklin sdělil, že zmagnetoval železný hřebík pomocí elektrického výboje, čímž vznikly první náznaky souvislosti mezi elektřinou a magnetismem.

V roce 1785 byl francouzským experimentálním fyzikem *Charlesem Coulombem* (1736–1806) formulován zákon popisující vzájemné silové působení nabitých těles. Sílu odpuzování dvou malých nabitých kuliček změřil pomocí torzních vah. Coulombův zákon tak završuje poznatky z elektrostatiky. Coulomb odvodil také vztah pro intenzitu elektrického pole u povrchu vodičů a zjistil, že náboje se rozloží na vnějším povrchu dutých vodičů.

V roce 1780 pozoroval italský lékař *Luigi Galvani* trhavé pohyby žabích stehýnek při kontaktu se dvěma různými kovy. Galvaniho pokusy zopakoval *Alessandro Giuseppe Volta* (1745–1827), který zjistil, že zdrojem elektřiny je přítomnost dvou různých kovů, které jsou oddělené elektrolytem. Sestavil baterii galvanických článků („Voltův sloup"), která umožňovala existenci relativně trvalého elektrického proudu.

Voltův článek dával napětí přibližně 1 V. Ještě na konci 18. století se předpokládalo, že elektrické a galvanické jevy spolu nijak nesouvisí. Až v roce 1801 přišel *William Hyde Wollaston* na to, že elektrostatika a galvanické jevy mají stejnou podstatu. Jediný rozdíl je v tom, že pro elektrostatický výboj je charakteristické vysoké napětí a malý proud, zatímco u galvanických jevů je to naopak. Na objev, který by dokazoval propojení elektřiny s magnetismem, se však stále čekalo.

V roce 1777 se v rodině dánského lékárníka narodil *Hans Christian Oersted*. Ve 22 letech získal doktorát na Kodaňské univerzitě a ve 29 letech se na téže univerzitě stal profesorem fyziky a chemie. Propojení elektřiny s magnetismem předpověděl Oersted již v roce 1813, ale mýlil se v jím určených podmínkách, takže k objevu elektromagnetismu došlo až na jaře roku 1820. Oersted nejdřív umístil drát kolmo ke střelce kompasu, jenže se nic nestalo, takže usoudil, že kolem vodiče s proudem magnetické pole nevzniká. Náhodou, nebo díky Oerstedově prozřetelnosti se vodič dostal do polohy rovnoběžné se střelkou kompasu, takže došlo k jejímu otočení, a tudíž k odhalení souvislosti mezi elektřinou a magnetismem. Popis tohoto historického objevu však není jednotný. Podle jedné verze byl Oersted na otočení střelky upozorněn jedním z posluchačů přednášky, v jiném znění si jevu všiml on sám. Oersted následně zkusil vkládat mezi vodič a střelku různé materiály (sklo, dřevo, kov apod.), ale účinek zůstal pořád stejný. Obrácením směru proudu došlo k vychýlení střelky v opačném směru.

3.2.3 Ověření aktivity ve výuce

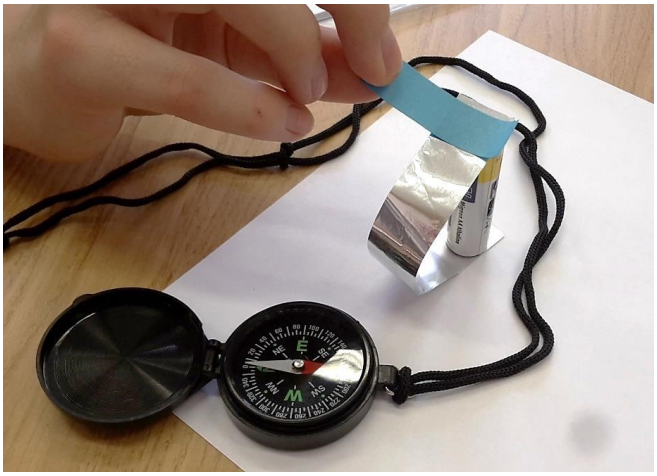
Aktivita byla zařazena do výuky v tercii na 8letém gymnáziu v Českých Budějovicích, Jírovcova 8. Výuky se zúčastnil také vyučující fyziky v této třídě, Michal Kočer. Ve třídě bylo přítomných 32 žáků. Na aktivitu byla vyčleněna jedna vyučovací hodina. K ověření této aktivity byla vybrána tercie, protože pan Kočer s nimi zrovna dokončil elektřinu, před kterou byl probírán magnetismus, a chystal se na elektromagnetismus. Na střední škole by mohla být tato aktivita umístěna před probíráním elektromagnetického vlnění jako zopakování elektromagnetismu.

Na začátku jsem se žáky krátce zopakovala magnetismus, protože bylo pro další výuku důležité, aby si připomněli, jak vypadají magnety a jak znázorňujeme jejich magnetické pole. Nakreslila jsem na tabuli tyčový magnet, jeden žák dokreslil

magnetické indukční čáry od jeho severního pólu k jižnímu vně magnetu. S ostatními jsme se nakonec shodli na tom, že by to měly být uzavřené křivky, což je později podstatné například při kreslení magnetických čar v okolí vodiče s proudem.

Před zahájením experimentování jsem žákům sdělila pár informací z historie týkající se hlavně toho, že až do příchodu pana Oersteda neměli fyzikové žádný důkaz o propojení elektřiny s magnetismem a zabývali se těmito oblastmi zvlášť. Franklinovi se sice povedlo zmagnetovat železný hřebík pomocí elektrického výboje, ale až v roce 1820 provedl pan Oersted pokus, pomocí něhož se snažil určit, jestli spolu elektřina s magnetismem nějak souvisí. Touto fází výuky jsem strávila jen pár minut, aby měli žáci dost času na vyzkoušení obdobného pokusu.

Žáci se rozdělili do osmi čtveřic, z nichž každá dostala papír formátu A4, kompas a k sestavení obvodu dvě tužkové baterie typu AA, dva proužky alobalu a kousek lepícího papírku, který přilepili k jednomu konci alobalu, aby nebyli v kontaktu přímo s vodičem a nespálili se. Na papír měli za úkol nakreslit schéma uspořádání experimentu a nakreslit nebo slovy popsat, co pozorovali. S panem učitelem Kočerem jsme chodili mezi skupinami a žákům případně pomáhali s provedením pokusu.



Obrázek 5: Žák zkoumá pomocí kompasu magnetické pole v okolí alobalu

Některé skupiny se sestavením obvodu neměly problém a hned začaly zkoumat, co se děje se střelkou kompasu, když se nachází v různých polohách v blízkosti vodiče s proudem (viz *Obrázek 5*). Ostatním žákům jsme většinou museli trochu poradit, aby se sestavováním zbytečně nezdrželi. Každá skupina narazila na určitou polohu

kompasu, kdy žádný pohyb střelky nezaznamenala. Žáci si také uvědomili, že kompas musí být umístěn blízko vodiče, aby výchylku střelky zaznamenali. Na tato jejich pozorování jsem reagovala tím, že ani panu Oerstedovi se pokus několikrát nepovedl, což mohlo být způsobeno také těmito důvody. Díky tomu si mohou žáci uvědomit, že ani fyzikům se každý pokus hned nemusí napoprvé povést.

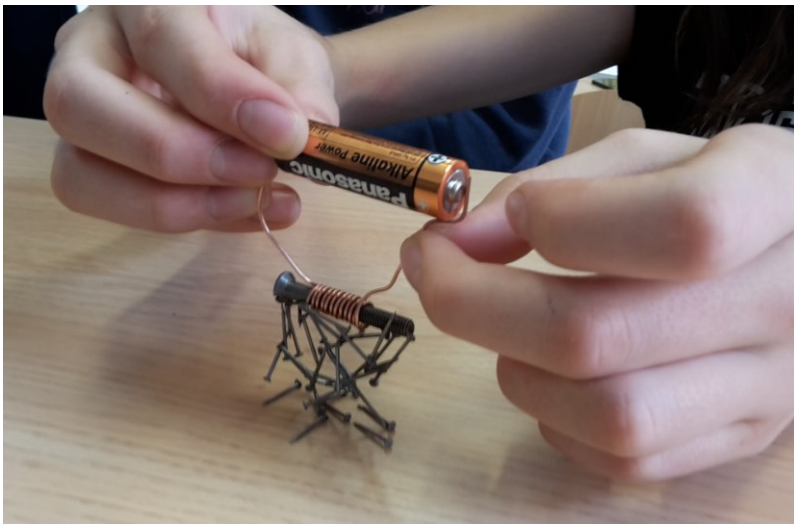
Skupiny, ve kterých byli trochu šikovnější a do fyziky nadšenější žáci, začaly po splnění zadaných úkolů (tj. prozkoumat chování střelky kompasu v okolí alobalu, který byl připojený k jedné baterii, a toto uspořádání nakreslit) sestavovat obvody s využitím obou baterií a proužků alobalu a zkoumat magnetické pole v jejich okolí. Aby se žáci v těchto skupinkách nenudili, dala jsem jim ještě za úkol promyslet, jak by mohly vypadat magnetické indukční čáry v okolí vodiče s proudem. Několik žáků přišlo na to, že toto magnetické pole mohou znázornit uzavřenými kružnicemi, které vedou okolo vodiče.

Na experimentování jsem žákům nechala asi dvacet minut. Po uplynutí této doby se všichni shromáždili kolem katedry (viz *Obrázek 6*). Provedla jsem stejný pokus jako předtím oni, ale s využitím stojánku ze špejlí (viz *Obrázek 4*), aby viděli, že si podobný pokus mohou připravit doma. Společně jsme zformulovali závěr tohoto pokusu – kolem vodiče s proudem vzniká magnetické pole – a žáci si tento závěr napsali do sešitu. Většina z nich už měla v sešitě nakreslené i schéma uspořádání pokusu.

Obrázek 6: Demonstrace Oerstedova pokusu s využitím stojánku ze špejlí

Kromě vychýlení střelky kompasu dochází během provádění pokusu ještě k jednomu výraznému jevu – zahřívání alobalu. Některé žáky to zaujalo více než otočení střelky. Proto jsme s panem učitelem Kočerem usoudili, že bychom s nimi měli diskutovat i tuto vlastnost vodičů. Členové jedné skupinky dokázali sami odhadnout, proč k tomuto jevu dochází, a s naší pomocí to vysvětlili ostatním spolužákům.

Aby žáci viděli ještě nějaké využití Oerstedova objevu, demonstrovala jsem jim na konci hodiny jednoduchý elektromagnet sestavený ze šroubu, kolem něhož je omotaný drát, který se připojí k tužkové baterii. S jeho pomocí je možné zvednout několik malých hřebíčků. Žáci měli možnost si tento pokus sami vyzkoušet (viz *Obrázek 7*). Sloužil i jako motivace do příští vyučovací hodiny, kdy se budou elektromagnetismem dále zabývat.



Obrázek 7: Žákyně ověřuje funkci elektromagnetu

3.2.4 Reflexe aktivity

Jedna vyučovací hodina poskytla pro tuto aktivitu dostatek času. Kdyby byl zařazen do dvouhodinového cvičení, mohlo by se navázat úkoly, které se týkají cívek, nebo by bylo možné věnovat více času historii. Výhodnější by bylo, kdyby byla ve vyučovací hodině přítomna pouze polovina třídy. Dohlédnout na 32 žáků, aby se všichni zabývali zadanými úkoly a nezapomněli například na nakreslení uspořádání experimentu, bylo poměrně náročné. V menším počtu by mohla být výuka individuálnější a více času by mohlo být věnováno například problémům, na které žáci během experimentování narazili.

V příloze (viz *Příloha 9*) se nacházejí ukázky odevzdaných zápisů z experimentování. Autorky prvního protokolu nakreslily v uspořádání experimentu kompas příliš blízko baterii. Popsaly, co se děje při propojení obvodu, a z pozorování vyvodily správný závěr. Ve druhém zápisu je dobře popsaný průběh pokusu. Žáci této skupinky také pozorovali, jak chování kompasu ovlivní jeho vzdálenost od elektrického obvodu. Výsledky experimentu správně interpretovali. Schéma zapojení je hůře srozumitelné. V pořádku nakreslili propojenou baterii, ale na horním obrázku jsou chybně vyznačené póly baterie. Na obrázku vpravo je zachycené, že zkoumali různé polohy kompasu kolem vodiče. U tohoto pohledu na uspořádání by bylo vhodné upozornit na to, že se magnetické pole vodiče skládá s magnetickým polem Země. Z třetího odevzdaného protokolu je vidět, že jeho autoři se zaměřili spíše na chování střelky kompasu v blízkosti baterie. V průběhu hodiny je tedy důležité žákům připomínat, že mají zkoumat okolí vnější části elektrického obvodu.

Pozorování chování střelky kompasu v okolí vodiče s proudem bylo pro žáky zajímavé, protože si všechno mohli vyzkoušet vlastníma rukama a měli na experimentování dostatek času. V následující hodině by tedy mohl být zvolen podobný přístup a bylo by možné nechat žáky vymyslet, jak vypadá magnetické pole v dutině cívky. Jako cívku mohou použít například smotaný drát. Pomocí cívky a jádra může učitel vysvětlit princip elektromagnetu. K ověření této aktivity v mnou vedené výuce už bohužel nebyla příležitost.

3.3 Měření rychlosti světla

3.3.1 Úvod

Tato aktivita může být zařazena do kapitoly *Elektromagnetické jevy, světlo* v Rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia (*RVP G*, 2007, s. 28). Žáci jsou díky historickému kontextu seznámeni s několika metodami měření rychlosti světla. Pokud jsou ve škole příslušné pomůcky, mohou si některé způsoby měření vyzkoušet sami a tyto metody porovnat. Jednou z možností je měření rychlosti pomocí interferometru. Tato pomůcka se sice ve škole často nenachází, ale zkušenost s interferometrem může být pro žáky zajímavá, protože se více blíží principu vědecké práce. Druhou variantou je určení rychlosti světla z vlnové délky

elektromagnetického vlnění v mikrovlnné troubě. Pro žáky může být přínosný fakt, že rychlost světla mohou změřit i tak jednoduchou metodou poměrně přesně.

Cíle: Žáci popíší po prostudování jednotlivých historických metod měření rychlosti světla podstatu toho, jak fungují a jak se na jejich základě rychlost světla určí. Nakreslí schéma uspořádání historických experimentů. Změří rychlost světla pomocí mikrovlnné trouby.

Pomůcky:

- mikrovlnná trouba
- toastový chleba (lepší je starší, aby nebyl moc vlhký)
- pravítko
- papíry formátu A3, fixy, pastelky

Průběh aktivity a úkoly pro žáky:

- Žáci se rozdělí do 4 skupin. Každá skupina dostane informace o měření rychlosti světla jednou určitou historickou metodou.
- Na papír nakreslí podle získaných materiálů schéma experimentu provedeného historickou metodou.
- V průběhu vyučovací hodiny se všechny skupiny postupně vystřídají u mikrovlnné trouby.
- Zjistí veličiny, které potřebují k určení rychlosti světla.
- V závěrečné části hodiny představí historický způsob měření rychlosti světla spolužákům.

3.3.2 Historie měření rychlosti světla

(Zpracováno podle Štolla, 2009, s. 151–152, 199, 246, 387; Krause, 2009, s. 142–145.)

První pokus o změření rychlosti světla provedl už *Galileo Galilei* (1564–1642). Metoda spočívala v tom, že Galileo vystoupal na jeden kopec a jeho společník na druhý. Když jeden z nich odkryl svoji lucernu, udělal totéž i druhý z nich. Galileo měřil čas od okamžiku, kdy odkryl svoji lucernu, do momentu, kdy pozoroval světlo z druhé lucerny. Během této doby uběhlo podle jeho úvahy světlo dvojnásobnou

vzdálenost mezi kopci. Kvůli reakční době experimentátorů, nepřesnému měření času a velké rychlosti světla ale nebylo možné určit hodnotu přesně.

O další měření se pokusil v roce 1675 dánský astronom *Olaf Römer* (1644–1710) na základě pozorování zatmění Jupiterova měsíce Io. Z dosavadních měření plynulo, že když se Země přibližuje k Jupiteru, je časový interval mezi dvěma po sobě následujícími zatměními kratší, a při vzdalování Země od Jupitera trvalo zatmění déle. Römer z toho vyvodil, že příčinou změny časového intervalu je měnící se vzdálenost mezi Zemí a Jupiterem. Touto metodou změřil rychlost světla c = $2{,}25 \cdot 10^8$ $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$. Výsledek je prvním potvrzením toho, že světlo se šíří konečnou rychlostí.

V roce 1849 změřil *Armand Hippolyte Fizeau* (1819–1896) rychlost světla pomocí rotujícího ozubeného kola. Pokus spočívá v tom, že štěrbina vytvoří úzký svazek světla, který prochází mezerami ozubeného kola, odráží se od zrcadla a v závislosti na rychlosti otáčení kola projde svazek následující mezerou, nebo se odrazí od zubu zpět. Vzdálenost kola od zrcadla byla 8,6 km. Při opakování tohoto experimentu byla vzdálenost mezi kolem a zrcadlem 20 km, čímž došlo ke snížení chyby měření. Rychlost světla určil na $3{,}13 \cdot 10^8$ $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$. V roce 1901 byla tato metoda zdokonalena a podařilo se určit, že světlo se šíří rychlostí $c = 299{,}901 \cdot 10^6$ $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Ozubené kolo nahradil francouzský fyzik *Jean Bernard Léon Foucault* (1819–1868) rotujícím zrcadlem a v roce 1850 provedl další měření rychlosti světla. Výsledek experimentu byl $c = 2{,}98 \cdot 10^8$ $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$. Fizeau i Foucault měřili i rychlost světla ve vodě a po staletích dohadů zjistili, že světlo se v opticky hustším prostředí šíří pomaleji, což potvrzovalo vlnovou teorii světla.

Místo zrcadla použil americký fyzik *Albert Abraham Michelson* (1852–1931) k měření rychlosti světla rotující osmiboký skleněný hranol, od kterého se odrážel světelný paprsek. Velikost rychlosti světla zpřesňoval padesát let. V roce 1879 dospěl k hodnotě $2{,}99910 \cdot 10^8$ $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$. Poslední měření provedl v roce 1930 v 1,6 km dlouhé evakuované trubici, ale vyhodnocení experimentu se již nedožil. Při tomto měření bylo dosaženo hodnoty 299 774 $\mathrm{km \cdot s^{-1}}$.

Dnes známe rychlost světla s nepřesností 1,2 $m \cdot s^{-1}$. Od roku 1983 klademe rychlost světla ve vakuu rovnou přesně c = 299 792 458 $m \cdot s^{-1}$. Při přesnějším změření rychlosti světla už tuto hodnotu ponecháme a změníme raději velikost metru, která je dnes definovaná jako dráha, kterou urazí světlo ve vakuu za čas $\frac{1}{299\,792\,458}$ s.

3.3.3 Ověření aktivity ve výuce

Tato aktivita proběhla pod dohledem paní učitelky Adamcové v kvartě na 8letém gymnáziu v Českých Budějovicích, Jírovcova 8. Vlnění už probírali žáci ve výuce dříve, takže s nimi paní Adamcová na začátku hodiny jen krátce zopakovala, jaké druhy vlnění známe, co to je vlnová délka, frekvence a perioda a jak se určí rychlost jeho šíření. Na pružině jsme jim demonstrovaly, jak vypadá stojaté vlnění, aby snáze pochopili princip mikrovlnné trouby a ujasnili si, jak mají rychlost elektromagnetického vlnění určit.

Žáci byli rozděleni do čtyř skupin. Ve třídě bylo přítomných 16 žáků, takže vytvořili čtveřice. Každá skupina si vylosovala jméno jednoho vědce, který se měřením rychlosti světla zabýval. Pro žáky byly připraveny informace o Galileovi, Römerovi, Fizeauovi a Foucaultovi (viz oddíl 3.3.2) a o jejich způsobu měření světla (viz *Příloha 10*). V textu jsou některá slova zvýrazněna kurzívou, což má žákům pomoci při orientaci v textu. Změna stylu písma by je také mohla upozornit na podstatné informace, které by neměli přehlédnout. Na prostudování těchto materiálů měli žáci přibližně 20 minut. Do skupiny dostali papír formátu A3, na který měli za úkol nakreslit (nebo překreslit) uspořádání historického experimentu.

Během vypracovávání zadaného úkolu se skupiny střídaly u mikrovlnné trouby a jejich členové určovali rychlost elektromagnetického vlnění (viz *Obrázek 8*). Do vnitřní části trouby vyskládali na papír toastový chléb, nastavili výkon na nejvyšší hodnotu (700 W) a zapnuli ji přibližně na 3 minuty. Během čekání zjistili na štítku na zadní části trouby frekvenci elektromagnetického vlnění využitého v troubě. Ze vzdálenosti dvou nejbližších spálených míst následně určili vlnovou délku a spočítali rychlost elektromagnetického vlnění, a tedy světla.

Někteří žáci se i přes zopakování pojmu stojaté vlnění domnívali, že vlnová délka je rovna vzdálenosti spálených míst, ale po nakreslení obrázku si nakonec všichni uvědomili, že pro získání vlnové délky musí tuto hodnotu (vzdálenost dvou nejbližších kmiten) zdvojnásobit. Tato vzdálenost vycházela všem skupinám přibližně 10 cm, což odpovídá vlnové délce 20 cm. Frekvence vlnění uvedená na zadním štítku trouby byla 2 450 MHz. Rychlost světla jim tedy vyšla $c = \lambda f = 0{,}2 \cdot 2{,}45 \cdot 10^9\ \mathrm{m \cdot s^{-1}} = 4{,}9 \cdot 10^8\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$, což se aspoň řádově shoduje s tabulkovou hodnotou rychlosti světla ve vakuu (vzduchu). Problém při výpočtu způsoboval žákům hlavně převod jednotek, ale tuto chybu si žáci uvědomili, když diskutovali získaný výsledek.

Obrázek 8: V mikrovlnné troubě se ohřívá toastový chléb, učitelka vysvětluje žákům pojem stojaté vlnění

3.3.4 Reflexe aktivity

Hlavní nevýhodou tohoto měření bylo, že toastový chléb byl poměrně čerstvý a dlouho trvalo, než se na něm spálená místa objevila. Protože měli žáci na splnění všech úkolů pouze jednu vyučovací hodinu, musely jsme nakonec s paní učitelkou měření trochu urychlit a vzít k mikrovlnné troubě více žáků najednou. Při opakování této aktivity ve výuce doporučujeme nechat chléb oschnout, aby na ohřev v mikrovlnné troubě stačil kratší čas, nebo zařadit pokus do dvouhodinového cvičení.

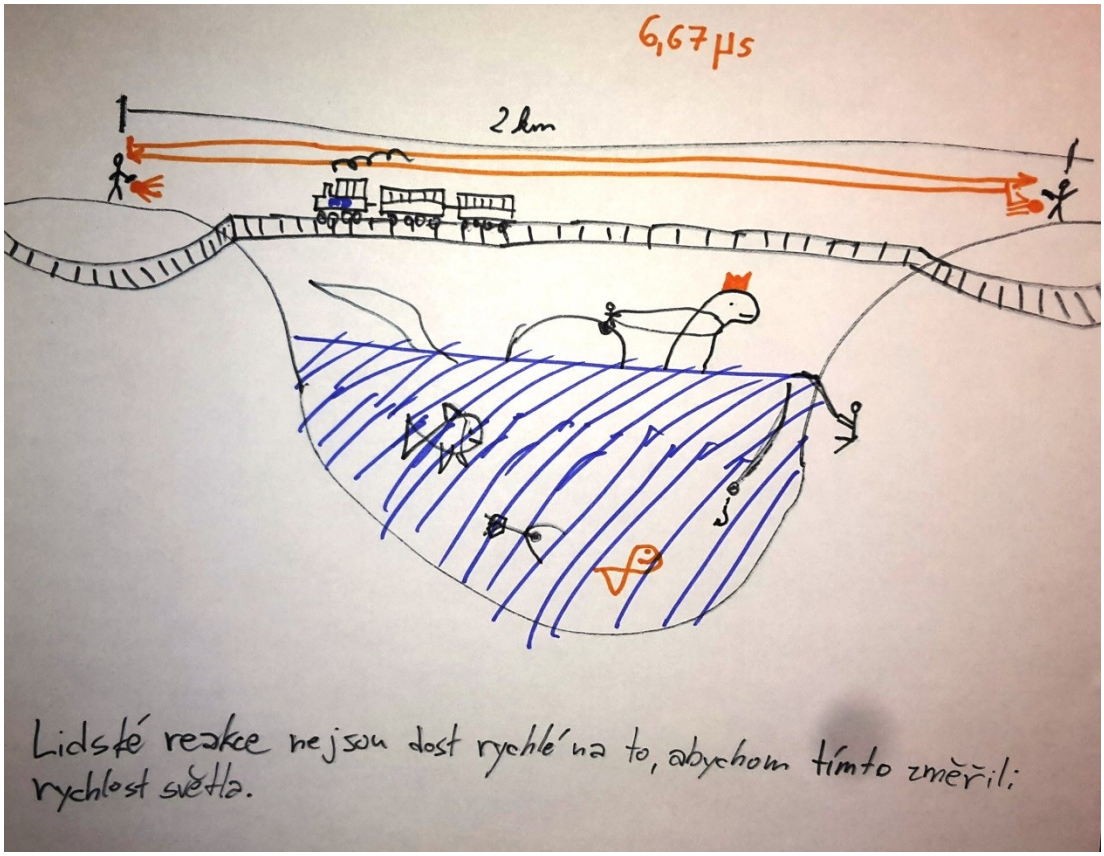
Při měření rychlosti světla v mikrovlnné troubě žáci změřili vlnovou délku větší, než odpovídá frekvenci daného vlnění. Toastové chleby byly do trouby umístěny na papíru, aby došlo k jejich snadnému vyndání, ale pravděpodobně se během přenosu od sebe trochu oddálili (viz *Obrázek 9*), na což jsem žáky během měření zapomněla upozornit. Jinou možností je, že původně vlhký chléb po vysušení v troubě zmenšil své rozměry, takže mezi jednotlivými plátky vznikly mezery. Rychlost světla jim proto při výpočtu vyšla vyšší, než je tabulková hodnota. Při další realizaci tohoto experimentu by žáci mohli zkoumat, proč mezery mezi chleby vznikly.

Obrázek 9: Měření vzdálenosti nejbližších kmiten na toastovém chlebu

V posledních deseti minutách vyučovací hodiny představili žáci jimi vylosovanou metodu ostatním skupinám. S porozuměním principu jednotlivých metod měření rychlosti světla neměli žáci problém. Tři skupiny stihly všechno podstatné vysvětlit a ukázat ostatním žákům na obrázcích, na poslední skupinu už bohužel nezbyl čas. Schémata všech experimentů jsou fyzikálně v pořádku (na přiměřené úrovni), někteří žáci se pečlivě věnovali i jejich výtvarnému provedení (viz *Obrázek 10* a *Příloha 11*).

Aby žáci určili, zda je Galileovým způsobem možné změřit rychlost světla, spočítali, že světlo urazí vzdálenost mezi lucernami asi za 6,67 μs (viz *Obrázek 10*). První pozorovatel by tedy měřil dvojnásobný čas, ale i 13,3 μs je příliš krátká doba ve srovnání s lidskými reakcemi. Žáci zabývající se Römerovým pokusem měli vyjádřit z rovnice $t_1(c - v) = t_2(c + v)$ rychlost světla, aby si procvičili také matematické

úpravy. S tímto úkolem neměli členové dané skupiny problém. Ke kreslení obrázku využili stejně jako další skupiny schémata pokusů z připravených informací (viz *Příloha 10*). Zbylé dva pokusy považuji za náročnější na pochopení, takže cílem u nich bylo pouze vysvětlit ostatním spolužákům jejich základní princip. Díky této aktivitě si žáci procvičí práci s textem, vypracují na základě něj shrnutí a přednesou nastudované informace svým spolužákům.



Obrázek 10: Výtvarně zpracovaná představa o metodě měření rychlosti světla, kterou použil Galileo Galilei

Ve škole, kde probíhalo ověření této aktivity, byl k dispozici interferometr, ale nakonec nedošlo k jeho začlenění do výuky, protože by princip jeho fungování byl pro žáky z kvarty hůře pochopitelný a v rámci jedné vyučovací hodiny na jeho využití s náležitým komentářem nezbýval čas. Vhodnější třída pro tento experiment by byl druhý ročník 4letého gymnázia, protože tam je mechanické vlnění zařazeno do výuky znovu a žáci se zabývají i skládáním a interferencí vlnění, nebo třetí ročník 4letého gymnázia, ve kterém je probíráno elektromagnetické vlnění. Bohužel nebyla příležitost aktivitu v těchto třídách realizovat.

4 Závěr

Při průzkumu českých informačních zdrojů se ukázalo, že je poměrně obtížné dohledat materiály k provádění historických experimentů, případně jejich analogií ve výuce fyziky na středních školách. Mezi zahraničními zdroji najdeme historických experimentů nebo jejich analogií více. Zajímavé jsou motivace učitelů k zařazení historie do výuky fyziku. Patří mezi ně například seznámení žáků s prací vědců, která jim má pomoci zbavit se miskoncepcí. Na základě těchto zjištění vznikly v rámci této bakalářské práce tři aktivity týkající se historických experimentů ve fyzice. S ohledem na typ školy a stáří žáků byly zvoleny pokusy týkající se měření tíhového zrychlení, měření rychlosti světla a Oerstedův pokus.

K jednotlivým experimentům byl na základě literatury sepsán jejich historický kontext, ze kterého mohou učitelé fyziky čerpat informace do své výuky. Znalost historie, života vědců a okolností při fyzikálních objevech by mohla žákům pomoci při porozumění jejich významu. Aktivity byly ověřovány na gymnáziu v Českých Budějovicích, Jírovcova 8. Při jejich uskutečnění ve výuce se ukázalo, že překážkou při zařazování historie do výuky fyziky může být nedostatek času. Naopak výhodou těchto aktivit je, že nevyžadují žádné složité přístroje a k jejich realizaci stačí žákům jednoduché pomůcky. Mohou si je tedy vyzkoušet i mimo školu a nejsou náročné na pochopení.

Hlavní náplní aktivit, které jsou zaměřeny na Oerstedův pokus a měření tíhového zrychlení, je provádění žákovských experimentů. Při nich mají žáci popsat průběh měření a zpracovat naměřená data nebo pozorovaný jev. K těmto úkolům nebyly vytvořeny pracovní listy, aby si žáci sami zvolili způsob, kterým zadání splní. Tento přístup se více blíží práci vědců a může v žácích rozvíjet samostatnost a pečlivost. Po analýze odevzdaných protokolů vyšlo najevo, že část žáků vynechala některé úkoly nebo narazila na problém se systematickým zpracováním naměřených hodnot. Přesto se domnívám, že tento přístup je pro rozvoj žáků vhodnější než vyplňování předem připravených tabulek nebo odpovídání na konkrétní, jasně zadané otázky. Formulování závěru vlastními slovy je podle mého názoru smysluplné, protože po žácích vyžaduje hlubší zamyšlení nad výsledky experimentu. Zbylý čas byl věnován

historii. Soustředili jsme se hlavně na problémy tehdejších fyziků a okolnosti vzniku jejich objevu.

Cílem poslední aktivity je seznámit žáky s různými historickými metodami měření rychlosti světla a změřit rychlost elektromagnetického vlnění v mikrovlnné troubě. Žáci byli při provádění této aktivity rozděleni do čtyř skupin, z nichž každá zpracovala informace o jedné metodě. V závěru hodiny představily jednotlivé skupiny danou metodu ostatním spolužákům. Díky této aktivitě si žáci procvičili práci s textem a prezentování obrázků, které vznikly na základě získaných informací. Vytvořené obrázky jsou graficky pěkně zpracované a fyzikálně správné (na přiměřené úrovni), s pochopením základního principu zadaných metod neměli žáci problémy. V průběhu hodiny se skupiny vystřídaly u mikrovlnné trouby. Smyslem této části aktivity bylo zopakovat stojaté vlnění a ukázat jim, že rychlost světla mohou snadno změřit i doma. Chyba vzniklá při měření byla způsobena nepřesným určením vlnové délky. Důležité je zajistit, aby se jednotlivé kusy toastového chleba od sebe při vyndání z trouby neoddálily. Nepřesný výsledek může vést žáky ke kritickému myšlení a diskuzi.

Na základě zkušeností získaných při ověřování aktivit byly upraveny didaktické materiály, ze kterých mohou při jejich zařazení do výuky čerpat učitelé fyziky. Jedná se o stručná shrnutí obsahující cíl aktivity, seznam pomůcek, úkoly pro žáky, popis jednotlivých činností v rámci aktivity a komentář k jejich průběhu. V příloze se také nacházejí důležité informace, které byly poskytnuty žákům při experimentování.

Při reálné výuce jsem si uvědomila, že je obtížné vyhradit na historii fyziky více času, přesto jsem přesvědčená o tom, že má smysl seznámit žáky alespoň se základními okolnostmi některých objevů. Přála bych si, aby žáci získali zájem o fyziku a nebyla v jejich očích nudná. Byla bych ráda, kdyby k probuzení jejich nadšení přispěly i mnou zpracované aktivity. Obdobným způsobem by bylo možné na téma této bakalářské práce navázat a vytvořit aktivity i k dalším fyzikálním objevům a experimentům.

Seznam použité literatury

Abed, M. E. (2014). Cosmic balloons. *Physics Education*, *49*(6), 706−710.

Bozzo, G., Bonanno, A., & Sapia, P. (2017). A 'sparkling' low-cost revisitation of the historical Hertz's experiment. *Physics Education*, *52*(1), 1−5.

Břízová, L., & Šlégr, J. (2017). Estimation of the solar constant with simple bolometer. *Physics Education, 52*(1), 1−5.

Caleon, I., & Subramaniam, R. (2007). From Pythagoras to Sauveur: tracing the history of ideas about the nature of sound. *Physics Education, 42*(2), 173−179.

Crawford, E. (1993). A critique of curriculum reform: using history to develop thinking. *Physics Education*, *28*(4), 204−208.

Dvořák, L. (Ed.). (2008). *Lze učit fyziku zajímavěji a lépe? Příručka pro učitele*. Praha: Matfyzpress.

Gluck, P. (2010). Motion on cycloid paths: a project. *Physics Education*, *45*(3), 270−277.

Horváth, P. (2006). Historický prístup k zavedeniu stavovej rovnice ideálneho plynu. In R. Holubová (Ed.), *Veletrh nápadů učitelů fyziky 11: Sborník z konference* (s. 189−199). Praha: Prometheus.

Kraus, I. (2007). *Fyzika v kulturních dějinách Evropy: Od Leonarda ke Goethovi*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT.

Kraus, I. (2008). *Fyzika v kulturních dějinách Evrop: Století elektřiny*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT.

Kraus, I. (2009). *Fyzika v kulturních dějinách Evropy: Romantici a klasikové*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT.

Mayer, V., & Varaksina, E. (2014). Modern analogue of Ohm's historical experiment. *Physics Education*, *49*(6), 689−692.

Michelsen, C. (2017). Hans Christian Oersted, narratives, oeuvres and physics education. *Physics Education*, *52*(3), 1−6.

Oon, P. T., & Subramaniam, R. (2009). The nature of light: I. A historical survey up to the pre-Planck era and implications for teaching. *Physics Education, 44*(4), 384−931.

Parolin, S. O., & Pezzi, G. (2015). Kundt's tube experiment using smartphones. *Physics Education*, *50*(4), 443−447.

RVP G. Rámcový výdělávací program pro gymnázia. (2007). Praha: Výzkumný ústav pedagogický v Praze.

Svoboda, E., & Kolářová, R. (2006). *Didaktika fyziky základní a střední školy – Vybrané kapitoly*. Praha: Nakladatelství Karolinum.

Štoll, I. (2009). *Dějiny fyziky*. Praha: Prometheus.

Teichmann, J. (1991). History and historical experiments in physics education with special regard to astronomy. *Physics Education*, *26*(1), 46−51.

Tucci, P. (2015). How two differing portraits of Newton can teach us about the cultural context of science. *Physics Education*, *50*(4), 448−452.

Ward, R. J. (2015). Measuring the speed of sound in water. *Physics Education*, *50*(6), 727−732.

Yavuz, A. (2015) Measuring the speed of sound in air using smartpone applications. *Physics Education*, *50*(3), 281−284.

Yavuz, A., & Temiz, B. K. (2016). Detecting interferences with iOS applications to measure speed of sound. *Physics Education*, *51*(1), 1−6.

Žák, V. (2017). Elektřina a magnetismus – v hlavní roli tužková baterie. In R. Holubová (Ed.), *Veletrh nápadů učitelů fyziky 22: sborník z konference* (s. 331–336). Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.

Seznam příloh

Příloha 1: Didaktický materiál pro učitele k aktivitě týkající se měření tíhového zrychlení

Příloha 2: Didaktický materiál pro učitele k aktivitě týkající se Oerstedova pokusu

Příloha 3: Didaktický materiál pro učitele k aktivitě týkající se měření rychlosti světla

Příloha 4: Úkoly zadané při měření tíhového zrychlení na základě volného pádu a pomocí kyvadla

Příloha 5: Informace o matematickém kyvadle, které byly poskytnuty žákům při výuce

Příloha 6: Ukázka odevzdaného, učitelkou neopraveného protokolu o měření tíhového zrychlení pomocí volného pádu (nejsou uvedeny jednotlivé hodnoty při měření času)

Příloha 7: Ukázka odevzdaného, učitelkou neopraveného protokolu o měření tíhového zrychlení pomocí volného pádu (chybně umocněný čas ve vztahu pro výpočet tíhového zrychlení)

Příloha 8: Ukázka odevzdaného, učitelkou neopraveného protokolu o měření tíhového zrychlení pomocí kyvadla (chybí závěr, stručná diskuze)

Příloha 9: Zápisy z provádění Oerstedova pokusu

Příloha 10: Informace týkající se různých metod měření rychlosti světla, které měli žáci za úkol nastudovat a použít při prezentaci

Příloha 11: Obrázky vytvořené žáky, zachycující historické metody měření rychlosti světla

Příloha 1: Didaktický materiál pro učitele k aktivitě týkající se měření tíhového zrychlení

Měření tíhového zrychlení

Cíle: Žáci dokáží po provedení pokusu vysvětlit, které veličiny a z jakého důvodu měřili. Seznámí se s historickými přístupy k měření tíhového zrychlení a dokáží diskutovat, na jaké problémy mohli tehdejší fyzikové narazit.

Pomůcky:

Volný pád:

- několik předmětů o různých hmotnostech a velikostech (například golfový, pingpongový a tenisový míček, polystyrenová koule nebo volejbalový míč)
- stopky (např. v mobilním telefonu)
- délkové měřidlo („metr“)

Kyvadlo:

- dvě špejle
- izolepa
- nit (nesmí se vlivem běžných sil prodloužit)
- několik závaží o různých hmotnostech (např. 50 g a 100 g)
- stopky (např. v mobilním telefonu)
- délkové měřidlo („metr“)

Průběh aktivity a úkoly pro žáky:

- Pokud má učitel k dispozici přístroj na měření tíhového zrychlení (například padostroj), může ho využít k demonstračnímu pokusu na začátku vyučovací hodiny, nebo jako motivaci do další hodiny.
- Žáci se rozdělí do skupin a zvolí si metodu, kterou chtějí tíhové zrychlení měřit (na výběr je měření pomocí volného pádu s využitím stopek, natočení videozáznamu volného pádu mobilním telefonem a případně převedení na zpomalené video, nebo použití matematického kyvadla).

- Při určování tíhového zrychlení na základě volného pádu vyberou žáci nejvhodnější a nejméně vhodný předmět pro tento experiment a svůj výběr zdůvodní.
- K provedení experimentu s kyvadlem využijí žáci různě těžká závaží a různé délky závěsu.
- Měření několikrát zopakují a z průměrných hodnot spočítají velikost tíhového zrychlení.
- Zamyslí se například nad tím, na jaké komplikace mohl narazit při experimentu Galileo, jak by výsledek vypadal na Měsíci a která z použitých metod je přesnější.
- Na papír zaznamenají průběh experimentu, uvedou naměřené hodnoty a výsledky měření a diskutují zadané otázky.

Doplnění k průběhu aktivity:

V průběhu aktivity je důležité dohlédnout na žáky, aby výchylka kyvadla nebyla příliš velká (doporučuji vychýlit závaží o pár centimetrů), dále aby délku l měřili do těžiště závaží a nevynechali žádnou část protokolu. Skupinová práce žáků by měla být rozvržena tak, aby v závěru vyučovací hodiny zbylo alespoň deset minut na závěrečné shrnutí a diskuzi výsledků.

Příloha 2: Didaktický materiál pro učitele k aktivitě týkající se Oerstedova pokusu

Oerstedův pokus

Cíle: Žáci během vyučovací hodiny prozkoumají chování střelky kompasu v blízkosti vodiče s proudem. Pomůcky mají k dispozici, ale uspořádání experimentu musí sami vymyslet a nakreslit. Popíší podstatu tohoto pokusu. Při opakování tohoto pokusu sami určí, jaké pomůcky k němu potřebují, a předvedou jej samostatně bez návodu či pracovního postupu. Nakreslí, jak přibližně vypadají magnetické indukční čáry v okolí vodiče s proudem.

Pomůcky:

- tužková baterie (typ AA, napětí alespoň 1,5 V)
- vodič (například proužek alobalu) – délka 10−15 cm, šířka 2 cm
- zmagnetovaná jehla nebo kompas

Průběh aktivity a úkoly pro žáky:

- Žáci jsou rozděleni do skupin po 2 až 4 lidech, ale počet se může odvíjet od dostupnosti pomůcek.
- Žáci mají za úkol prozkoumat různé vzájemné polohy vodiče a střelky kompasu.
- Umístí vodič rovnoběžně se střelkou a prozkoumají chování při obou orientacích proudu.
- Na základě předchozích experimentů nakreslí, jak si představují tvar magnetických indukčních čar v okolí vodiče (orientované kružnice se středem ve vodiči, které leží v rovině kolmé na vodič).

Doplnění k průběhu aktivity:

Žáky je vhodné na začátku upozornit, že alobal stačí přiložit k baterii na krátkou chvíli, aby ji zbytečně dlouhou dobu nezkratovali a nespálili se. Důležité je také zdůraznit, že při zkoumání magnetického pole nás zajímá jeho podoba v okolí vodiče s proudem. Žáci by tedy měli přikládat kompas spíše k alobalu než k baterii, aby z experimentu vyvodili správný závěr.

Příloha 3: Didaktický materiál pro učitele k aktivitě týkající se měření rychlosti světla

Měření rychlosti světla

Cíle: Žáci popíší po prostudování jednotlivých historických metod měření rychlosti světla podstatu toho, jak fungují a jak se na jejich základě rychlost světla určí. Nakreslí schéma uspořádání historických experimentů. Pokus využívající mikrovlnnou troubu slouží k zopakování poznatků o stojatém vlnění a k seznámení se základní funkcí tohoto elektrospotřebiče.

Pomůcky:

- mikrovlnná trouba
- toastový chleba (lepší je starší, aby nebyl moc vlhký)
- pravítko
- papíry formátu A3, fixy, pastelky

Průběh aktivity a úkoly pro žáky:

- Žáci se rozdělí do 4 skupin. Každá skupina dostane informace o měření rychlosti světla jednou určitou historickou metodou.
- Na papír nakreslí schéma experimentu provedeného historickou metodou.
- V průběhu hodiny se všechny skupiny postupně vystřídají u mikrovlnné trouby.
- Změří veličiny, které potřebují k určení rychlosti světla.
- V závěrečné části hodiny představí historický způsob měření spolužákům.

Pro průběh experimentu je lepší, když bude toastový chleba pár dní starý, aby byl sušší. Ohřev bude probíhat rychleji a nemuselo by dojít vlivem vysoušení v troubě ke změně rozměrů chleba. Po jeho vyjmutí z mikrovlnné trouby je důležité dohlédnout na to, aby se od sebe jednotlivé kusy neoddálily a nezvětšila se tím vzdálenost, ze které žáci určují vlnovou délku. Při kreslení obrázků popisujících historické metody měření rychlosti světla by měly být výsledkem obrázky, ze kterých bude po stručném slovním popisu jasná podstata této metody.

Příloha 4: Úkoly zadané při měření tíhového zrychlení na základě volného pádu a pomocí kyvadla

Vaším úkolem je určit hodnotu **tíhového zrychlení** na základě **volného pádu**.

Na výběr máte několik předmětů.

Rozhodněte, který z nich bude pro experiment nejvhodnější a který nejméně vhodný.

Svůj výběr *zdůvodněte*.

Jak by dopadl experiment na Měsíci?

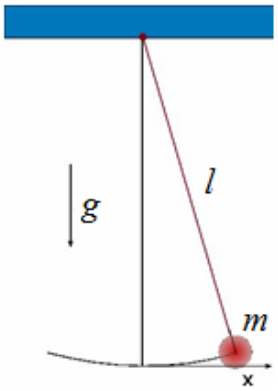
Na přiloženém papíru najdete informaci o **matematickém kyvadle**.

Využijte ho ke změření **tíhového zrychlení**.

K jeho změření použijte různě těžká *závaží* a různé délky *závěsu*.

Příloha 5: Informace o matematickém kyvadle, které byly poskytnuty žákům při výuce

Matematické kyvadlo je nejjednodušším modelem kyvadla, u kterého provádíme jistá zanedbání:
1. omezíme se na *malé výchylky*, abychom oblouk, po kterém se závaží pohybuje, mohli považovat za úsečku,
2. *zanedbáme* tření v místě závěsu, odporovou sílu vzduchu a hmotnost vlákna.

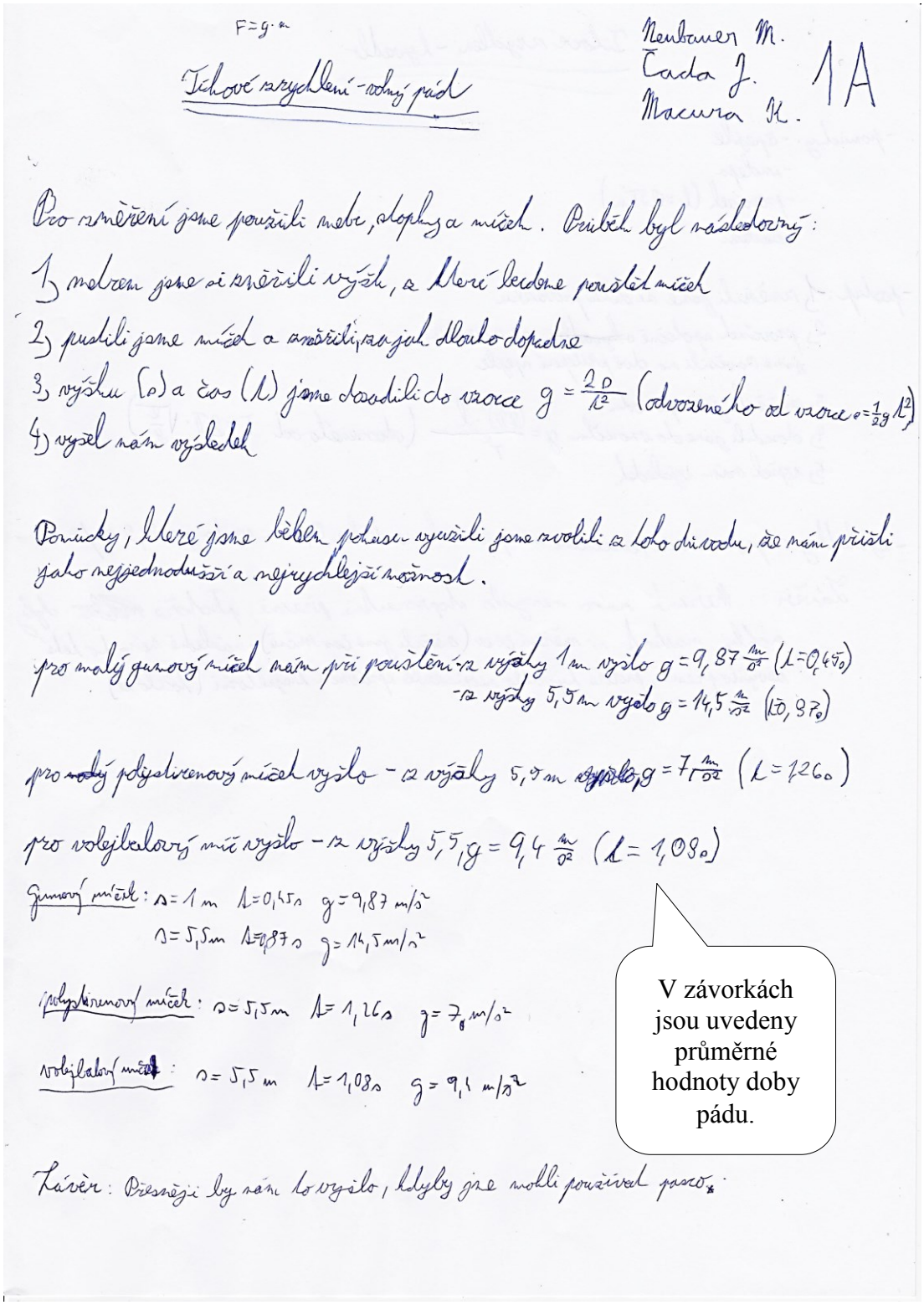


Pro periodu kmitání matematického kyvadla platí vztah

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

kde l je délka závěsu měřená od místa uchycení do těžiště závaží a g je tíhové zrychlení.

Příloha 6: Ukázka odevzdaného, učitelkou neopraveného protokolu o měření tíhového zrychlení pomocí volného pádu (nejsou uvedeny jednotlivé hodnoty při měření času)



$F = g \cdot a$

Neubauer M.
Čada J.
Macura K.
1A

Tíhové zrychlení - volný pád

Pro změření jsme použili meče, stopky a míček. Průběh byl následovný:
1) mečem jsme si změřili výšku, z které bychom pouštěli míček
2) pustili jsme míček a zároveň zajali dlaní dopadnutí
3) výšku (s) a čas (t) jsme dosadili do vzorce $g = \frac{2s}{t^2}$ (odvozeného od vzorce $s = \frac{1}{2} g t^2$)
4) vyšel nám výsledek

Pomůcky, které jsme během pokusu využili jsme zvolili za toho důvodu, že nám přišli jako nejjednodušší a nejrychlejší možnost.

pro malý gumový míček nám při pouštění z výšky 1 m vyšlo $g = 9{,}87 \frac{m}{s^2}$ ($t = 0{,}45$ s)
- z výšky 5,5 m vyšlo $g = 14{,}5 \frac{m}{s^2}$ (0,97 s)

pro ~~malý~~ polystyrenový míček vyšlo - z výšky 5,5 m ~~vyšlo~~ $g = 7 \frac{m}{s^2}$ ($t = 1{,}26$ s)

pro volejbalový míč vyšlo - z výšky 5,5 $g = 9{,}4 \frac{m}{s^2}$ ($t = 1{,}08$ s)

Gumový míček: $s = 1$ m $t = 0{,}45$ s $g = 9{,}87$ m/s²
$s = 5{,}5$ m $t = 0{,}87$ s $g = 14{,}5$ m/s²

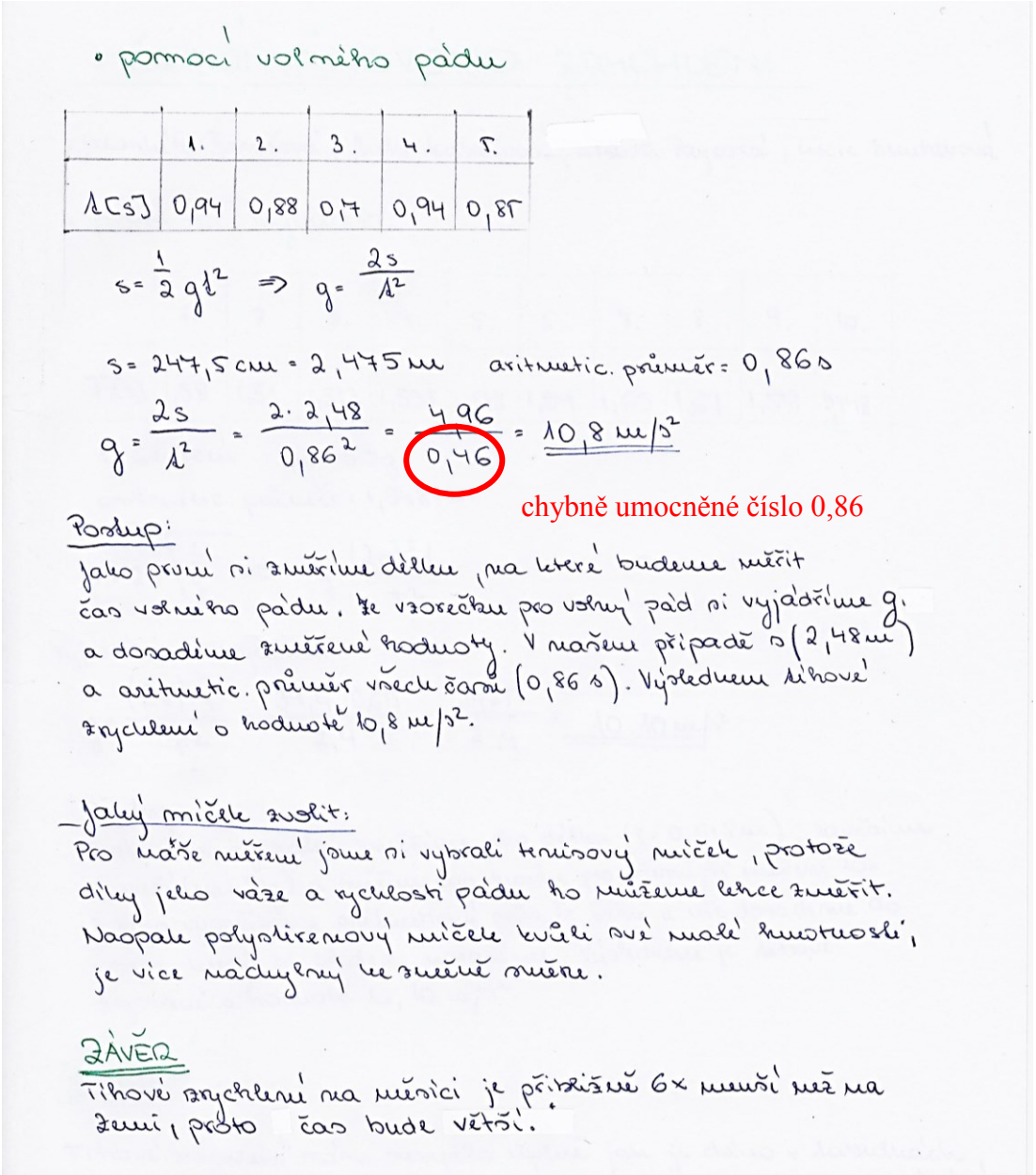
polystyrenový míček: $s = 5{,}5$ m $t = 1{,}26$ s $g = 7$ m/s²

volejbalový míč: $s = 5{,}5$ m $t = 1{,}08$ s $g = 9{,}1$ m/s²

V závorkách jsou uvedeny průměrné hodnoty doby pádu.

Závěr: Přesnější by nám to vyšlo, kdyby jsme mohli používat pásco~~u~~.

Příloha 7: Ukázka odevzdaného, učitelkou neopraveného protokolu o měření tíhového zrychlení pomocí volného pádu (chybně umocněný čas ve vztahu pro výpočet tíhového zrychlení)



• pomocí volného pádu

	1.	2.	3.	4.	5.
t[s]	0,94	0,88	0,7	0,94	0,85

$s = \frac{1}{2} g t^2 \Rightarrow g = \frac{2s}{t^2}$

$s = 247,5\ cm = 2,475\ m$ aritmetic. průměr = 0,86 s

$g = \frac{2s}{t^2} = \frac{2 \cdot 2,48}{0,86^2} = \frac{4,96}{0,46} = 10,8\ m/s^2$

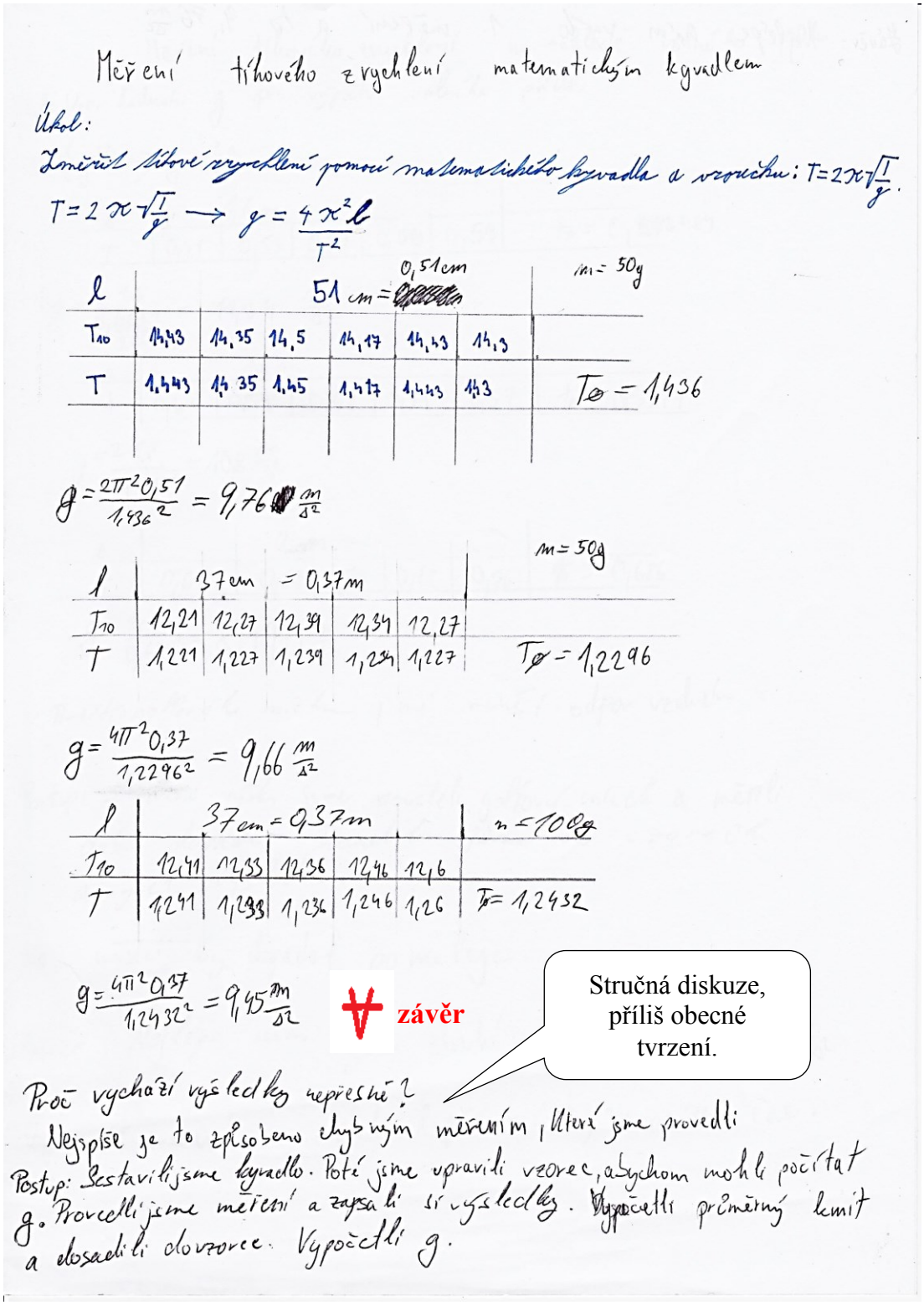
chybně umocněné číslo 0,86

Postup:
Jako první si změříme délku, na které budeme měřit čas volného pádu. Ze vzorečku pro volný pád si vyjádříme g a dosadíme změřené hodnoty. V našem případě s (2,48 m) a aritmetic. průměr všech časů (0,86 s). Výsledkem tíhové zrychlení o hodnotě 10,8 m/s^2.

Jaký míček zvolit:
Pro naše měření jsme si vybrali kovový míček, protože díky jeho váze a rychlosti pádu ho můžeme lehce změřit. Naopak polystyrenový míček kvůli své malé hmotnosti, je více náchylný ke změně směru.

ZÁVĚR
Tíhové zrychlení na měsíci je přibližně 6× menší než na Zemi, proto čas bude větší.

Příloha 8: Ukázka odevzdaného, učitelkou neopraveného protokolu o měření tíhového zrychlení pomocí kyvadla (chybí závěr, stručná diskuze)



Měření tíhového zrychlení matematickým kyvadlem

Úkol:

Změřit tíhové zrychlení pomocí matematického kyvadla a vzorečku: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \rightarrow g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$

l	51 cm = 0,51 cm					$m_1 = 50$ g
T_{10}	14,43	14,35	14,5	14,17	14,43	14,3	
T	1,443	1,435	1,45	1,417	1,443	1,43	$T_\varnothing = 1,436$

$g = \frac{2\pi^2 0,51}{1,436^2} = 9,760 \frac{m}{s^2}$

l	37 cm = 0,37 m					$m = 50$ g
T_{10}	12,21	12,27	12,39	12,34	12,27	
T	1,221	1,227	1,239	1,234	1,227	$T_\varnothing = 1,22296$

$g = \frac{4\pi^2 0,37}{1,22296^2} = 9,66 \frac{m}{s^2}$

l	37 cm = 0,37 m					$m = 100$ g
T_{10}	12,41	12,33	12,36	12,46	12,6	
T	1,241	1,233	1,236	1,246	1,26	$T_\varnothing = 1,2452$

$g = \frac{4\pi^2 0,37}{1,2452^2} = 9,45 \frac{m}{s^2}$

závěr

Stručná diskuze, příliš obecné tvrzení.

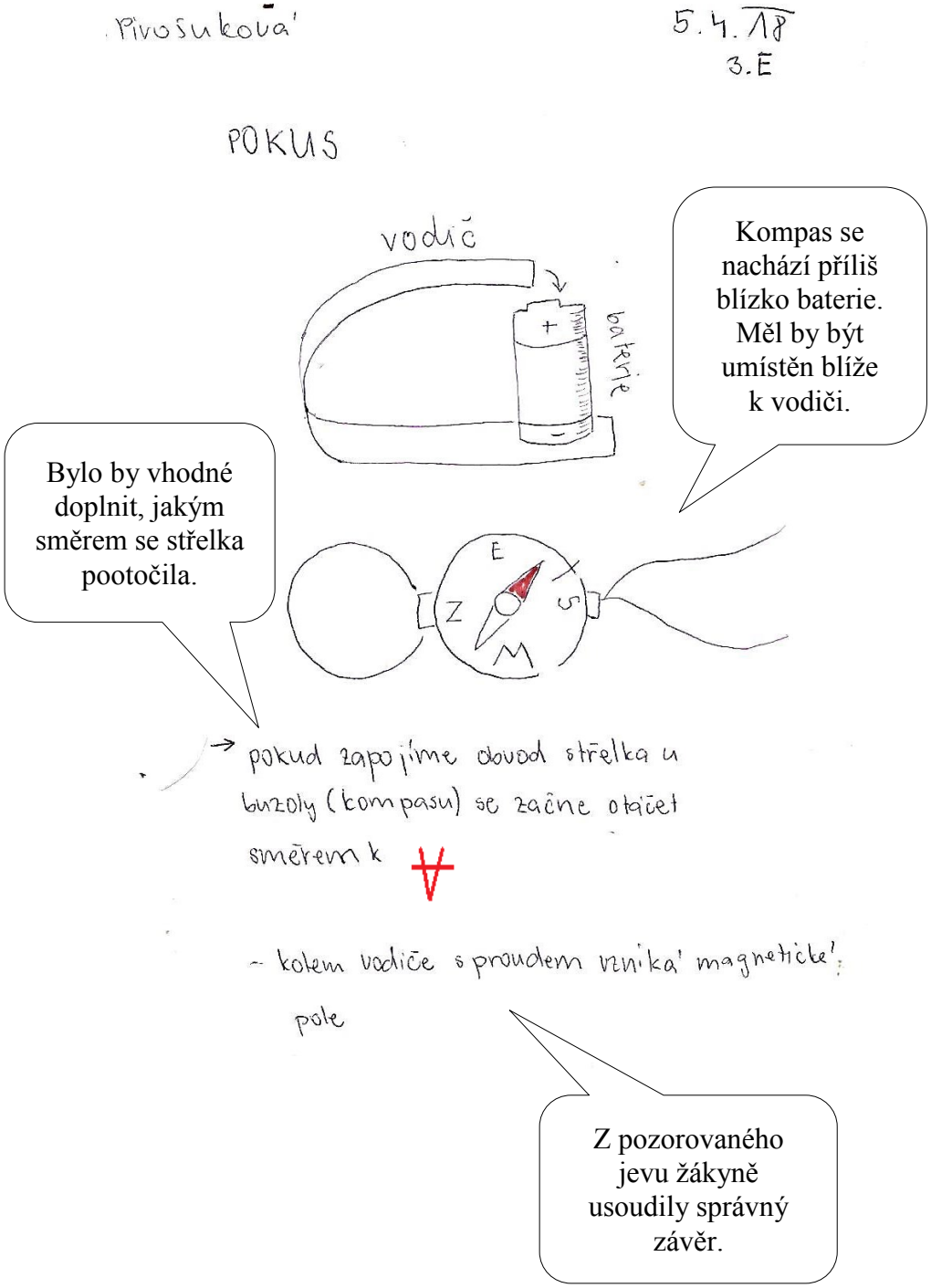
Proč vychází výsledky nepřesně?

Nejspíše je to způsobeno chybným měřením, které jsme provedli

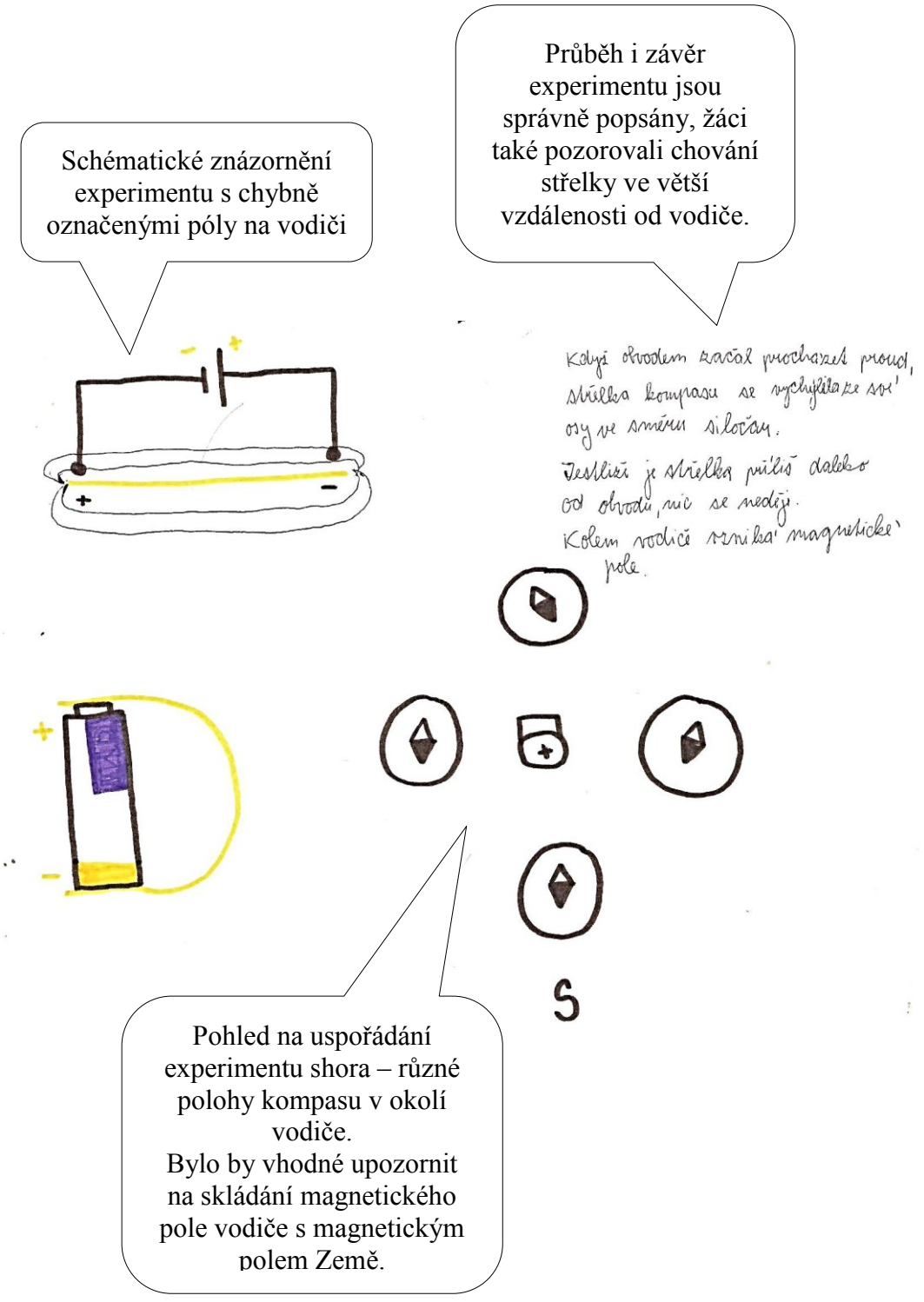
Postup: Sestavili jsme kyvadlo. Poté jsme upravili vzorec, abychom mohli počítat g. Provedli jsme měření a zapsali si výsledky. Vypočetli průměrný limit a dosadili do vzorce. Vypočetli g.

Příloha 9: Zápisy z provádění Oerstedova pokusu

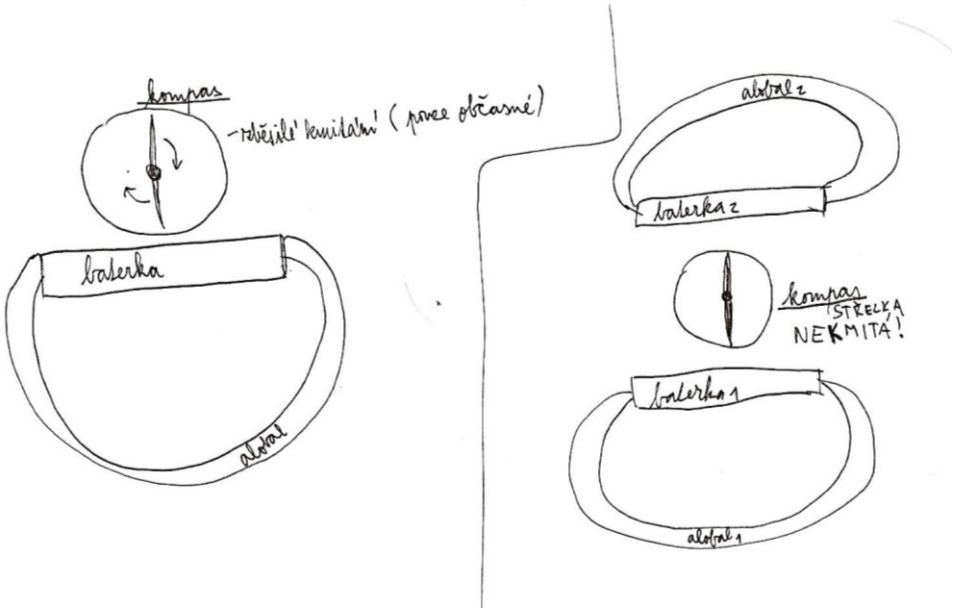
Příloha 9a: Součástí tohoto zápisu je schéma uspořádání pokusu, jeho slovní popis a závěr. V „bublinách“ je uveden komentář autorky bakalářské práce.



Příloha 9b: V tomto zápisu z provádění experimentu se nachází několik schémat jeho uspořádání, průběh a závěr. V „bublinách“ jsou komentáře autorky bakalářské práce.



Příloha 9c: Na tomto obrázku je zachyceno uspořádání experimentu s kompasem v blízkosti baterie. Během provádění experimentu je tedy důležité žáky upozornit na to, že nás zajímá magnetické pole v okolí vnější části elektrického obvodu.



Příloha 10: Informace týkající se různých metod měření rychlosti světla, které měli žáci za úkol nastudovat a použít při prezentaci

(Zpracováno podle knihy Štolla, 2009, s. 151–152, 199, 246, 387.)

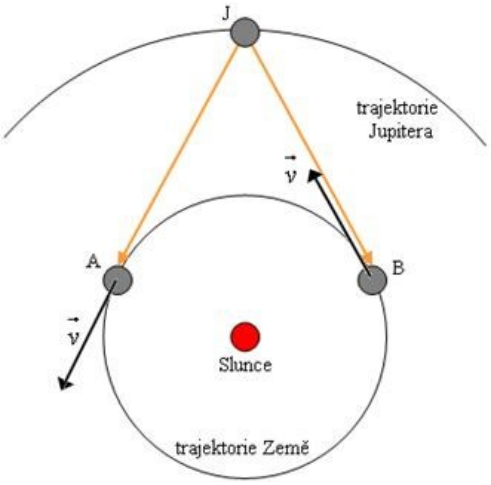
Galileo Galilei (1564−1642)

Ve starověku a středověku převládal názor, že světlo se šíří nekonečně velkou rychlostí. O jedno z prvních měření se pokusil až Ital Galileo Galilei. Metoda spočívala v tom, že Galileo vystoupal na jeden kopec a jeho společník na druhý (vzdálenost mezi kopci byla asi 2 km). Jeden z nich odkryl svoji lucernu. Druhý udělal totéž ve chvíli, kdy uviděl světlo z první lucerny. Galileo *měřil čas* od okamžiku, kdy odkryl svoji lucernu, do momentu, kdy pozoroval světlo z druhé lucerny. Během této doby uběhlo světlo *dvojnásobnou* vzdálenost mezi kopci. Ze vzdálenosti a času pak mohl vypočítat rychlost světla.

Je možné touto metodou zjistit rychlost světla? Jakým způsobem?

Olaf Römer (1644 – 1710)

O měření rychlosti světla se v roce 1675 pokusil dánský astronom Olaf Römer, který dalekohledem pozoroval *oběh měsíce Io* kolem Jupitera. Z dosavadních měření plynulo, že když se Země k Jupiteru *přibližovala*, byla doba mezi následujícími zatměními 42,5 hodiny. Při *vzdalování* Jupitera od Země vycházel Io za Jupiterem stále *později*. Römer z toho vyvodil, že příčinou změny časového intervalu je měnící se vzdálenost mezi Zemí a Jupiterem a světlo tedy urazí *různou dráhu*. Touto metodou změřil rychlost světla jako 220 000 km/s.



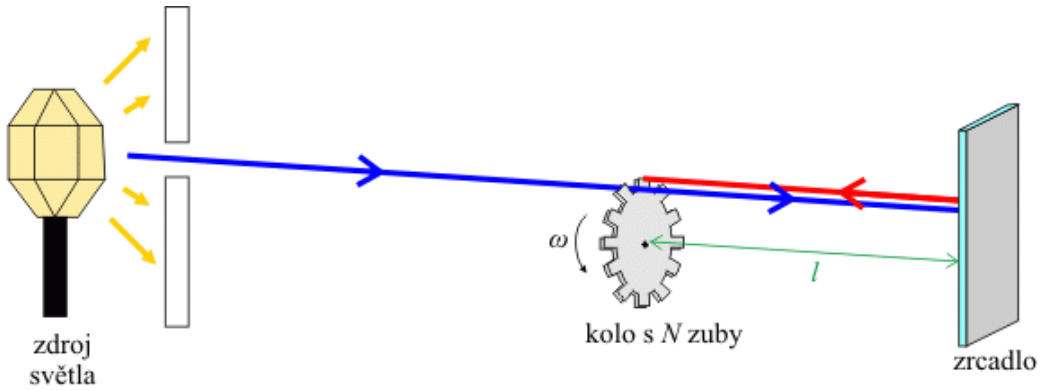
http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/664-mereni-velikosti-rychlosti-svetla

Když světlo z Jupitera dopadá na Zem nacházející se v bodě A, urazí delší dráhu než v případě, kdy se Země nachází v bodě B své trajektorie. Země se v bodě A vzdaluje od Jupitera rychlostí v, zatímco v bodě B se k němu stejně velkou rychlostí přibližuje.[1]

Světlo se šíří konečnou rychlostí, takže je čas t_1 měřený na Zemi v bodě A mezi dvěma po sobě jdoucími zatměními měsíce Jupitera větší než čas t_2 měřený na Zemi nacházející se v bodě B.
Kdyby byla Země v klidu, byl by měřený čas v obou případech stejný.
Můžeme tedy psát $t_1(c - v) = t_2(c + v)$.[2] Jak z této rovnice vyjádříte rychlost světla?

Hippolyte Fizeau (1819–1896)

V roce 1849 změřil Hippolyte Fizeau rychlost světla pomocí *rotujícího ozubeného kola*. Pro určení rychlosti šíření světla měnil rychlost jeho otáčení a sledoval, kdy se světlo vrátí stejnou mezerou mezi zuby, kterou prošlo směrem k zrcadlu. Při určité rychlosti rotace kola projde paprsek vycházející ze zdroje jedním otvorem a po odrazu od zrcadla otvorem následujícím. Jestliže trochu zrychlíme nebo zpomalíme rotaci ozubeného kola, narazí odražený paprsek přímo do zubu. Rychlost světla je možné vypočítat ze vzdálenosti zdroje a zrcadla, počtu zubů na kole a rychlosti rotace.



http://reseneulohy.cz/213/mereni-rychlosti-svetla

[1] Jedná se pouze o schématický obrázek.

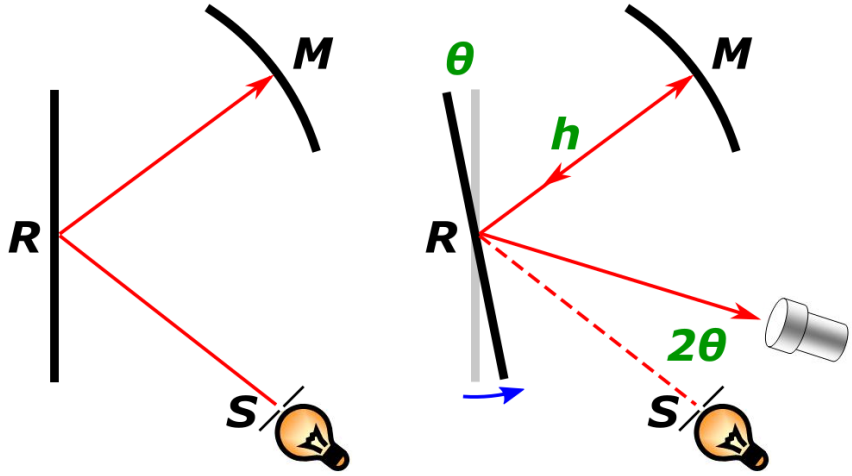
[2] V této rovnici vystupuje výraz $c + v$, který by z hlediska STR vyžadoval podrobnější diskuzi.

Na obvodu kola bylo 720 zubů, kolo bylo od zrcadla ve vzdálenosti 8,6 km. Při opakování tohoto experimentu byla vzdálenost mezi kolem a zrcadlem 20 km, čímž došlo ke snížení chyby měření. Rychlost světla Fizeau určil jako $3{,}13 \cdot 10^8$ m/s. V roce 1901 byla tato metoda zdokonalena a podařilo se určit, že světlo se šíří rychlostí $c = 299{,}901 \cdot 10^6$ m/s.

Léon Foucault (1819 – 1868)

Léon Foucault využíval k měření rychlosti světla *točící se zrcadlo*. V roce 1854 provedl experiment, při kterém se světlo odrazilo od otáčejícího se zrcadla směrem k nepohyblivému zrcadlu. Paprsek se poté odrazil zpět na rotující zrcadlo, které se mezitím pootočilo o malý úhel, a paprsek se tedy od něj odrazil pod jiným úhlem. Vzdálenost mezi zrcadly byla 18 metrů. Z úhlu pootočení paprsku určil Foucault rychlost šíření světla na 298 000 km/s.

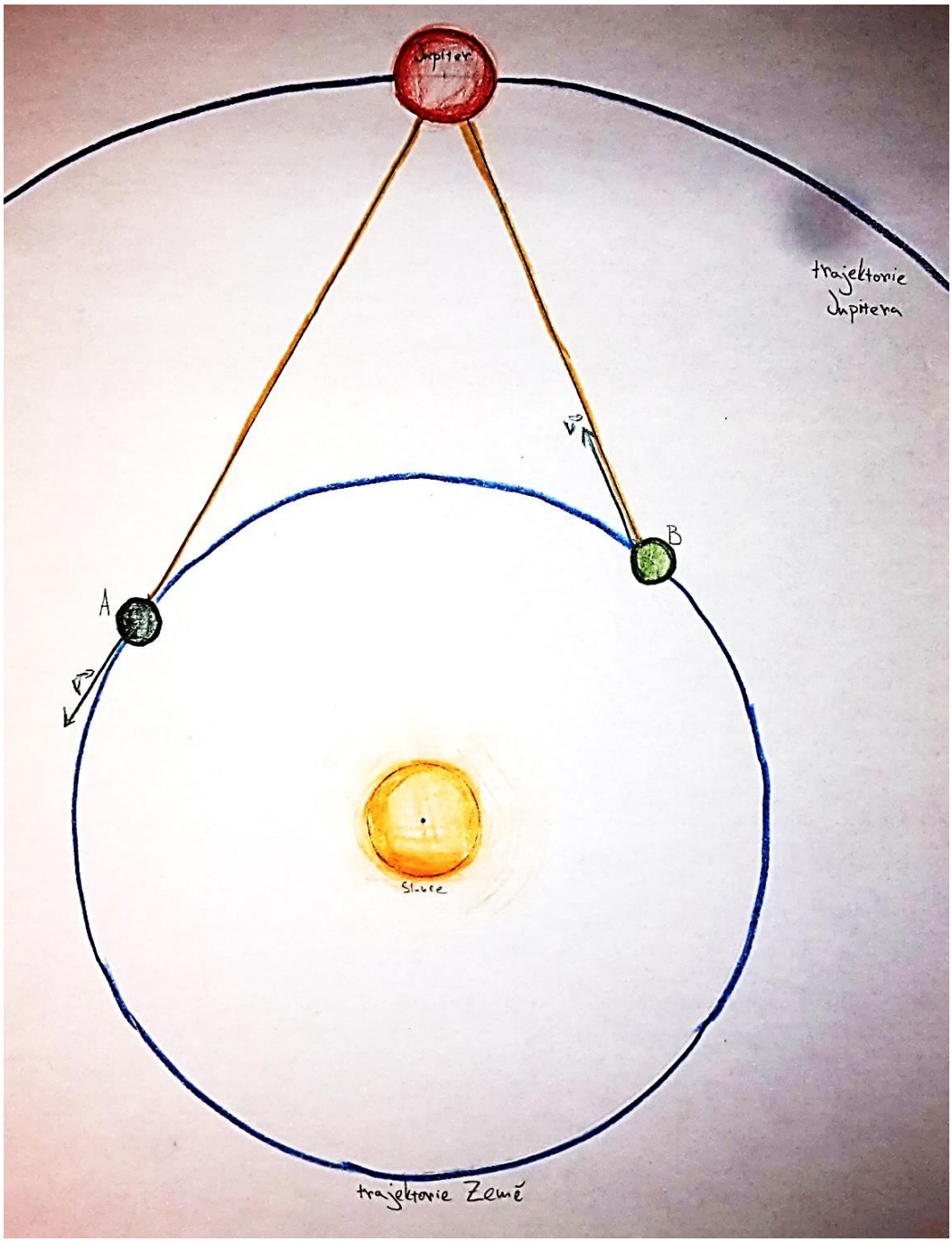
Foucaultovu metodu použil v roce 1926 Albert Abraham Michelson a zpřesnil hodnotu rychlosti světla na 299 909 km/s.



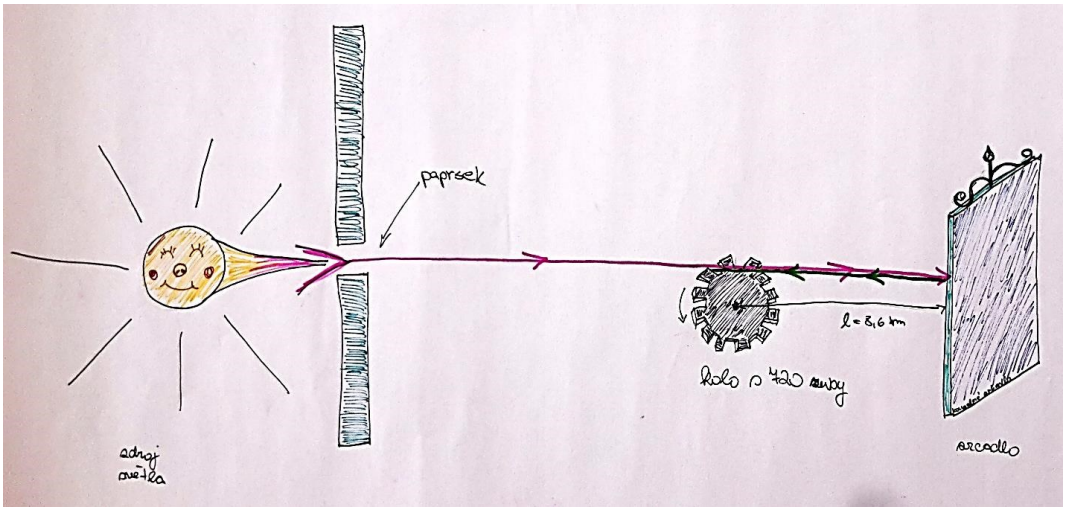
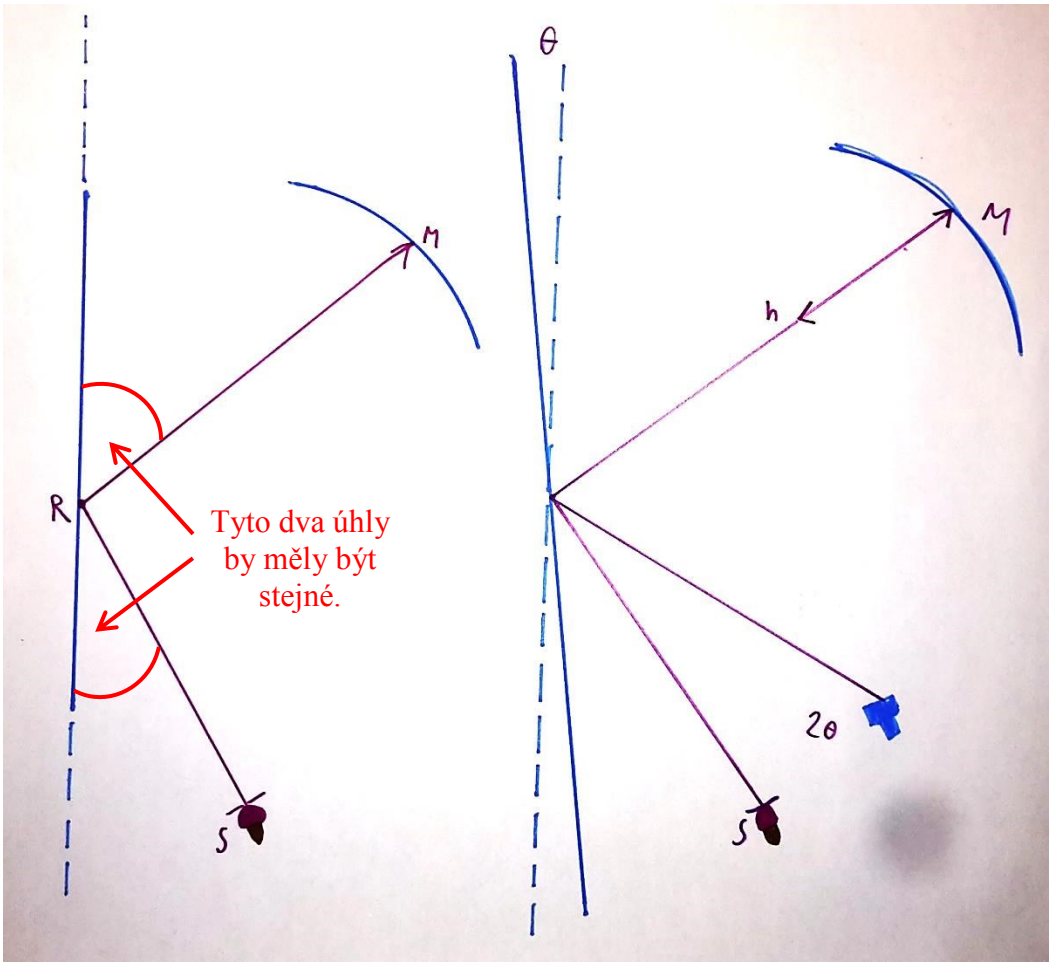
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Speed_of_light_calculation_using_Foucault%27s_rotating_mirror.png

Příloha 11: Obrázky vytvořené žáky, zachycující historické metody měření rychlosti světla

Příloha 11a: Obrázek znázorňuje pokus provedený Olafem Römerem. Nákres je vhodný ke snazšímu pochopení principu tohoto pokusu. Oceňuji také jeho grafické zpracování.



Příloha 11b: Na obrázku se nachází experiment provedený Hippolytem Fizeauem. Schéma je fyzikálně v pořádku a pomáhá žákům při pochopení této metody. Má navíc i estetickou hodnotu.



Příloha 11c: Na obrázku je zachycený experiment podle Léona Foucaulta. Z nákresu není jasné, jestli je úhel odrazu světla od rovinného zrcadla roven úhlu dopadu. Je tedy vhodné na tento fakt žáky upozornit.