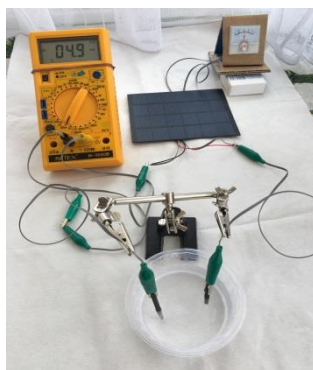
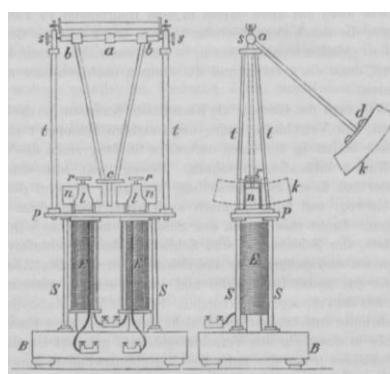
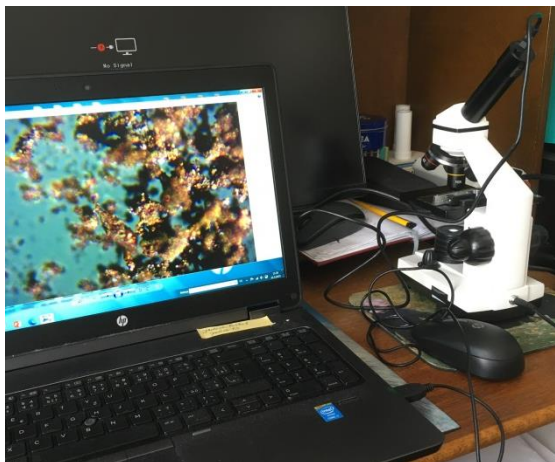


## Přírodovědné pokusy pro děti s odkazy do historie



Ing.Jindřich Hubka,CSc  
Arbesova 490  
CZ-27201 Kladno

[jh48@iex.cz](mailto:jh48@iex.cz) [jhubka1948@gmail.com](mailto:jhubka1948@gmail.com)  
[www.ah490.eu](http://www.ah490.eu)  
Czech Republic Europe

© 2026

Kladno, dne 10. února 2026

## A/ Úvod

\*\*\*\*\*

Předložená sbírka 70 přírodovědných pokusů vznikla postupně od jara 2025 jednak pro vlastní vnoučata, ale také jako vzpomínka na vzdálené dětství. Na některé z vlastních pokusů a hraček si pamatuji dodnes, zejména na ty z nich, kde bylo nutno si všechno z tehdy dostupného materiálu vyrobit vlastními silami. Proto jsou u pokusů stručné návody jak potřebnou sestavu zkompletovat z dílů vzniklých vlastní výrobou z věcí nalezených v domácnosti a potom z dalších částí, které jsou v současnosti ve velkém výběru volně dostupné v obchodech pro kutily. Výsledek nemusí být nutně perfektní, zato takový postup pomůže k zapojení vlastní představivosti, k získání trpělivosti a základní zručnosti. Nic z toho nám nemůže dát pasivní sledování pokusů na obrazovkách počítačů nebo na mobilním telefonu.

Při pokusech byl použit stejnosměrný bateriový zdroj o bezpečném velmi malém napětí 5VDC, jen v jednom případě síťový adapter 12VDC/230VAC. Nikde tedy nebylo nebezpečí dotyku částí o vyšším napětí. Při jednoduchých chemických pokusech byly používány ochranné brýle. Při sestavování pokusných sestav není vhodná přítomnost dětí do 3 let, protože jsou používány drobné kovové části a také velmi malé a silné permanentní magnety, které by malé děti mohly nepozorovaně spolknout. Domnívám se, že vhodný věk dětí je od 10 let výše. Většina pokusů je doplněna odkazem do historie. Odkazy na historii a zmínky o teoretickém základu pokusu jsou v textu uvedeny velkými červenými písmeny **HT**. Odkazy jsou spíše určeny pro podstatně starší sourozence, rodiče nebo jiné dospělé osoby. Věřím, že všichni budou dětem ochotnou radou a skutkem při pokusech pomáhat. Také doufám, že v textu odkazů do historie najdou něco pro sebe zajímavého a možná budou překvapeni.

Přes opakovanou kontrolu všech údajů zde v textu uvedených je možné, že se do argumentace nebo číselných údajů vloudily věcné omyly nebo chyby. Prosím proto čtenáře o upozornění na nedostatky elektronickou poštou na adresu [jh48@iex.cz](mailto:jh48@iex.cz)

Rád bych Vám popřál při sestavování Vašich vlastních pokusů hodně trpělivosti a úspěchu.

Autor

## B/ Fyzikální pokusy a pozorování

\*\*\*\*\*

1. Lodka ze dřeva poháněná mýdlem	str. 4
2. Potopíme kancelářskou sponku a žiletku	str. 5
3. Periskop dříve i teď vidí dál	str. 7
4. Podivné kukátko – svět vzhůru nohama	str. 9
5. Korková zátka udrží rovnováhu	str.10
6. Petrolejová lampa zvedne alobal visící na niti	str.12
7. Zkroucená guma pohání malý vozík	str.14
8. Setrvačnický stoupá po niti	str.16
9. Setrvačnický krouží drátem a pružinou	str.17
10. Závaží natahuje pružinu visící z trojnožky	str.21
11. Sestrojíme přesnou váhu a něco zvažíme	str.24
12. Váha nám napoví proč se letadlo vznese	str.28
13. Kolotoč ukazuje odstředivou sílu	str.33
14. Plechové mobily spojené ocelovým drátem	str.36
15. Kompas z hřebíku a korkové zátka	str.37
16. Magnet rovná ocelové třísky do ježky	str.38
17. Magnet v krabici	str.40
18. Měděná trubka brzdí padající magnet	str.41
19. Magnet na měděné skluzavce	str.43
20. Magnety se přetlačují na houpačce	str.45
21. Magnet drží zavěšený železný kroužek vzhůru nohama	str.47
22. Magnet snadno zmate kompas	str.48
23. Gumová rukavice se nafoukne v mikrovlnce	str.49
24. Ventilátor na houpačce	str.50
25. Svíčka roztočí visící plech a kotouček, petrolejová lampa zvedne alobal	str.52
26. Proč vítr točí větrným mlýnkem ?	str.54
27. Ventilátor chladí obvaz na sklenici	str.57
28. Kyvadlo měří vteřinu	str.59
29. Víry v proudící vodě a vzduchu určí jejich rychlost	str.61
30. Vodní kolo a násoska zahnutá	str.65
31. Petrolejová lampa roztočí reaktivní motor a model kola turbíny	str.66
32. Svíčka zvedne vodu v lahvi nad okolní hladinu	str.68
33. Pírko dohání padající korunu	str.70
34. Kapilární jev mezi sklíčky	str.73
35. Prázdňá láhev a sklenice v mrazáku	str.75
36. Hořící svíčka za sklenicí	str.77
37. Zvláštní (termovizní) kamera pozoruje kachnu na pekáči	str.79
38. Termovizní kamera pozoruje hořící svíčku pod zvětšovací sklem a v zrcadle	str.80
39. Termovizní kamera vidí přeměnu mechanické práce na teplo	str.82
40. Kedlubna, jehličky, šiška kleče a další vzorky pod optickým mikroskopem	str.85
41. Mobil, šroub, matice a nepokoj z hodin pod optickým mikroskopem	str.88

## C/ Chemické pokusy

\*\*\*\*\*

42. Měď na železném hřebíku	str.91
43. Železo na hliníkovém plechu	str.92
44. Gumová rukavice se nafukuje plynem	str.93
45. Skořápka z vejce v kyselině citronové	str.94
46. Mořská voda pod bodem mrazu teče	str.96
47. Mořská voda tvoří krystaly	str.96
48. Kyselina citronová vyčistí minci	str.97

## D/ Elektřina

\*\*\*\*\*

49. Mobil zabalený v alobalu (staniolu)	str.97
50. Měď a zinek poskytují elektřinu	str.99
51. Zmrzlina, čaj, káva, pivo a jogurt elektrolytem galvanického článku	str.102
52. Termočlánek z mědi a hliníku se ohřívá nad svíčkou	str.104
53. Obrácený termočlánek chladí	str.105
54. Solární panel zakrytý rukou	str.107
55. Solární panel pomůže rozložit vodu na dva plyny	str.108
56. Magnet na houpačce vyvolá napětí v cívce z drátu	str.109
57. Dvě cívky z drátu a ocelový šroub přenášejí elektřinu	str.110
58. Přeskočí elektřina z jiskry ve vzduchu na cívku z drátu ?	str.112
59. Elektromagnet pevně drží ocel	str.114
60. Elektromagnet brzdí houpačku	str.115
61. Cívka úplně zmate kompas	str.117
62. Stopa po tužce na papíru vede elektřinu	str.118
63. Elektromotor ze hřebíku, šroubku a magnetu	str.120
64. Sestavíme elektromotor a model generátoru zvlněného napětí	str.122
65. Elektromotor čerpá vodu	str.124
66. Elektromotor nechá zmizet tři barvy	str.126
67. Slaná voda vede elektřinu lépe	str.127
68. Elektrický náboj v šálce pohne alobalem	str.128
69. Nafouklá gumová rukavice a niť poznají elektrický náboj	str.129
70. Světlo rozsvítí diodu (LED)	str.130

## E/ Věnování a doslov

\*\*\*\*\*

## F/ Seznam literatury

\*\*\*\*\*

str.131

str.133

## 1. Loďka ze dřeva poháněná mýdlem

\*\*\*\*\*



Obr.1 Dřevěné loďky



Obr.2 Loďka s mýdlem



Obr.3 Pouštíme loďky

Prvním pokusem ověříme, jestli mýdlo může pohánět malé dřevěné loďky. Někdo si může myslet, že to vůbec nejde, uvidíme. Loďky vyřizeme z tenkého plochého dřívka lupenkovou pilkou nebo opatrně ostrým nožem. Jako stěžeň může posloužit zápalka nebo kousek špejle. Stěžeň zalepíme kapkou lepidla v otvoru loďky. Do výřezu loďky nanese mýdlo (Obr.2). Loďky opatrně položíme na hladinu čisté vody. K našemu překvapení začnou loďky pomalu plout, ale jen zmateně, tam chtějí. Mýdlo se rozšiřuje všude po hladině. Po čase proto pohyb ustane. Loďky vyjmeme z vody a vysušíme, vodu vylijeme a nádobu vytřeme do sucha. S novou čistou vodou budou loďky zase plout. Síla, která táhne loďky dopředu, je neporušené povrchové napětí vody před přídí loďky. V místě výřezu, kde se rozpouští mýdlo, je povrchové napětí vody narušeno a nemůže pořádně loďku udržet na místě.



Obr.4 Loďky plují kam chtějí



Obr.5 Sušení loďek



Obr.6 Loďky znovu na vodě

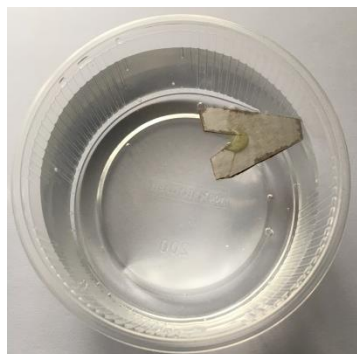
Přípravky k ručnímu mytí (saponáty) nádobí mají určitě vyšší schopnost zbavit nádobí mastnoty, než dovede mýdlo. Možná se lépe osvědčí také při pohonu malého člunu. Zkouška v malé nádobce dopadla dobře, model vyrazil rychle dopředu (Obr.8). Závod loďky s mýdlovým pohonem a dvou modrých člunů ve větší nádobě dopadl jednoznačně, nový pohon je prostě rychlejší.

**HT** Ještě drobnost, modrý člun s výřezem a člun bez výřezu byly stejně rychlé. Příspěvek výřezu jako náznak reaktivního motoru nebyl pozorován, úhel výřezu byl možná příliš velký.

Nahlédnutím do knížky o technické chemii se dozvíme pravděpodobnou příčinu rozdílů rychlostí. Při výrobě mýdla vznikají tenzidy. Jsou to látky, které pomáhají uvolnit nečistoty z povrchů a také snižují povrchové napětí vody. Tenzidy byly již před více jak 60 lety vyrobeny uměle a jsou dodnes součástí přípravků pro čištění. Jak se ukázalo při pokusu jsou umělé tenzidy při snižování povrchového napětí daleko účinnější než mýdlo.



Obr.7 Model s novým pohonem



Obr.8 Zkouška dopadla dobře



Obr.9 Dva papírové člunky



Obr.10 Zkoušíme nový pohon



Obr.11 Nový pohon vyhrává



Obr.12 Musíme vyměnit vodu

## 2. Potopíme kancelářskou sponku a žiletku

\*\*\*\*\*



Obr.13 Nové žiletky a svorky



Obr.14 Žiletka a svorky



Obr.15 Žiletka a svorka plavou

K dalšímu pokusu budeme potřebovat kancelářské svorky a žiletku, mohou být zcela nové nebo použité. Použitou žiletku zbavíme všech zbytku mýdla. Do malé nádobky dáme čistou vodu a velmi opatrně položíme svorku a žiletku na hladinu. Hladina se kolem jejich okrajů prohne jakoby byl povrch vody pokryt neviditelnou blánou, která brání jejich potopení. Blána musí mít dost sílu, kterou je možno narušit. K tomu se opět hodí prostředek pro ruční mytí nádobí, který kápneme poblíž nebo na svorku a žiletku (Obr.17). Zjistíme, že blána na vodě narušená mycím prostředkem už nemá sílu držet svorku a čepelku na hladině (Obr.18).



Obr.16 Společné plavání

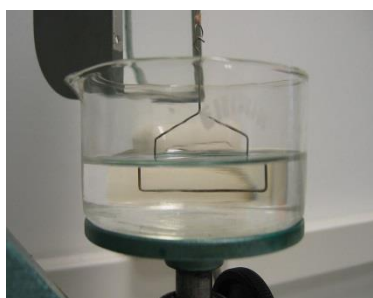


Obr.17 Kapka saponátu



Obr.18 Potopená svorka a žiletka

**HT** Sílu vyvozenou povrchovým napětím kapalin je možno přesně měřit. K tomu se používá svislá měřicí destička anebo vodorovný kroužek, který se ponoří do kapaliny (Obr.22). Pomocí ručního měřicího přístroje se destička nebo kroužek opatrně a pomalu vynořuje a vytahuje přitom kapalinu nad okolní hladinu (Obr.21,22). V přístroji je citlivá váha, která měří sílu potřebnou k vytažení kapaliny do výšky. Kroužek u měřicích přístrojů míval průměr až 60mm. Kapalina má pod kroužkem přibližně tvar dutého nízkého válce. Na ručním přístroji na Obr.21 byla naměřena hodnota povrchového napětí 72 miliNewtonů na metr (mN/m). To je výsledek zjištěný při měření vody. Automatické přístroje k zjišťování povrchového napětí roztoků se užívají hlavně k vyhodnocování účinnosti nově vyvíjených syntetických mycích a pracích přípravků (tenzidů). Povrchové napětí je možno změřit také pomocí kapilárního jevu. Další metodou je měření úhlu, který svírá tečna k povrchu kapky zkoumané kapaliny v místě dotyku s vodorovnou plochou na níž kapka leží.



Obr.19 Měřicí rámeček

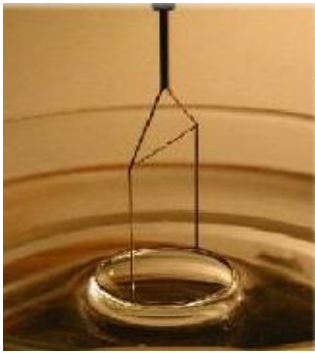


Obr.20 Plovoucí svorka

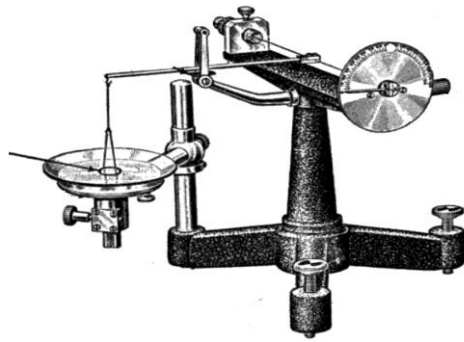


Obr.21 Ruční měřicí přístroj r.2025

Metodu měření s vodorovným kroužkem navrhnul v USA fyzik Pierre Lecomte Du Noüy před více jak 100 lety. Přístroj vyrobený podle jeho návrhu před rokem 1925 je vidět na Obr.23.



Obr.22 Měřicí kroužek



Obr.23 Ruční měřicí přístroj asi z r.1922



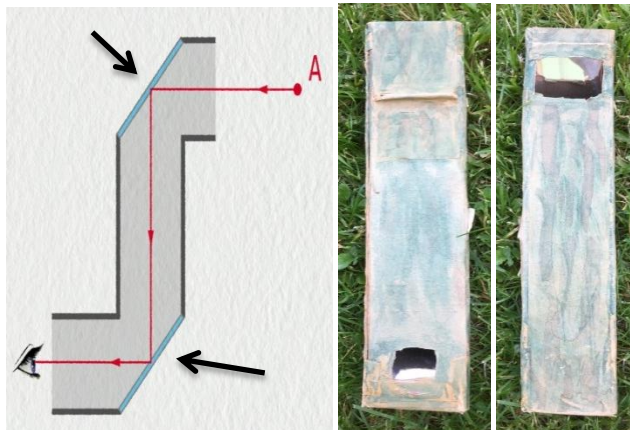
Obr.24 Fyzik P.L. Du Noüy

### 3. Periskop dříve i teď vidí dál

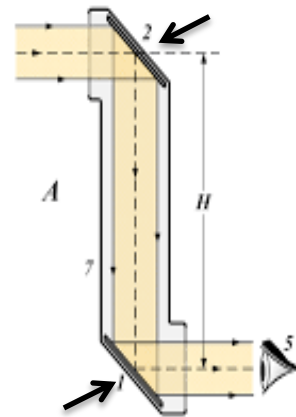
\*\*\*\*\*



Obr.25,26 Periskop



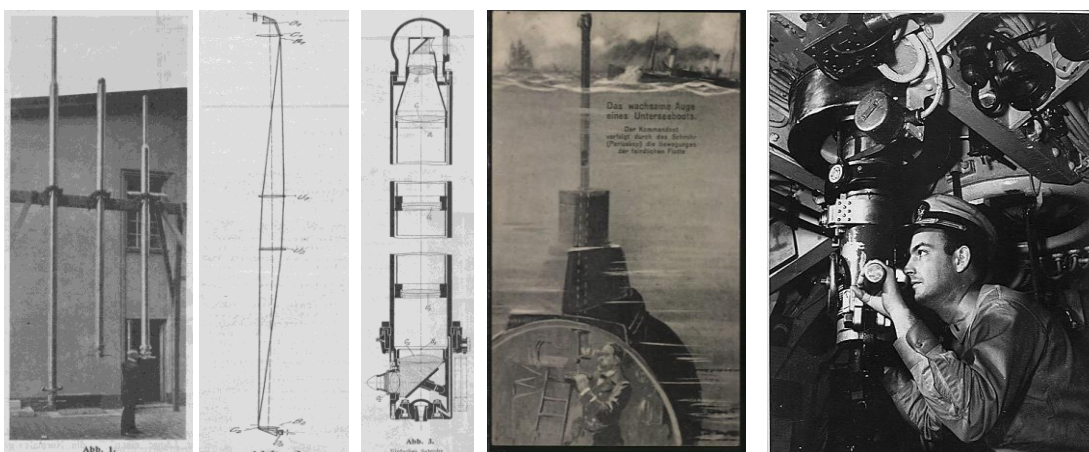
Obr.27,28 Periskop z roku 1961



Obr.29 Periskop

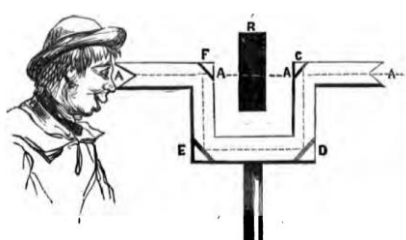
Periskop sestavíme celkem snadno z tvrdého papíru a dvou malých zrcátek. Je k tomu potřeba jen trochu šikovnosti. Vzor rozvinutého pláště hranolu si raději připravíme nejdřív z tenkého papíru, s ohledem na velikost zrcátek, která seženeme. Tento stříh po zkoušce rozměrů přeneseme na tvrdší karton, který pak zahýbáme podle jeho budoucích hran. Do hranolu slepeného z kartonu vyřízneme zářezy a do nich vložíme zrcátka, aby trochu vyčnívala z hranolu ven. Zrcátka musí svírat s osou hranolu úhel  $45^\circ$  (Obr.26,29 šipky). K pozorování slouží dva otvory vystřižené v hranolu. Celek je vhodné olepit páskou, aby zrcátka pevně držela v stabilním hranolu. Periskop podle podobného návodu jsem si zhotovil v roce 1961 ve 13 letech a mám ho dosud (Obr.27,28). Zelený maskovací nátěr vodovými barvami sloužil k tomu, abych mohl se dvěma kamarády pozorovat na louce vleže ve vysoké trávě sousedy chodící po nedaleké silnici. Přitom nikdo neměl nic tušit. ....

Periskopy našly využití ve vojenském námořnictvu. Na Obr.30 - Obr.32 je patrná délka a složitost optiky periskopu v ponorce postavené v roce 1914 (Lit.40). Dramatickou scénu z námořní bitvy někdy v letech 1914-1918 znázornil kreslíř na Obr.33. Na následujícím snímku (Obr.34) je vidět vojenský pozorovatel u periskopu v ponorce během světové války v roce 1942.



Obr.30 – 32 Periskop ponorky Lit.40 Obr.33,34 Užití periskopu ve vojenské ponorce

Pokusné pozorování pomocí dělostřeleckého periskopu provedla britská armáda na Krymu během koaliční války s Ruskem v letech 1853-1856 (Obr.36, Lit.14). Na periskop pamatovaly také knihy pro mládež, vtipná ukázka dvojitého periskopu je znázorněna na dalším dřevorytu (Obr.35)(Lit.14).



Obr.35 Dvojitý periskop

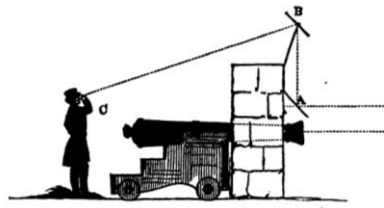


Fig. 264. A picture of enemy's battery is supposed to be on the mirror, a, whence it is reflected to c, and from that to the artilleryman at c.

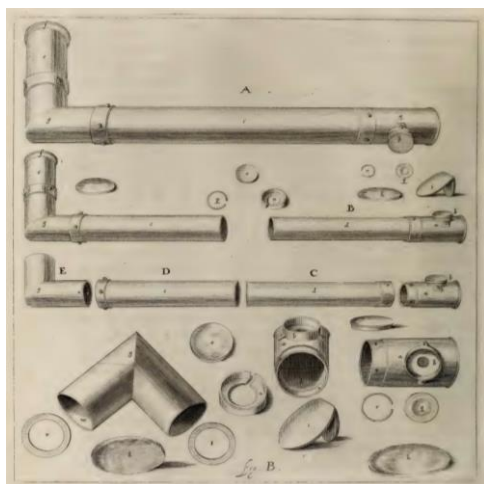
Obr.36 Periskop za krymské války Lit.14 Obr.37 Titul Lit.14



**HT** Periskopy velmi záhy našly své místo ve hvězdářství. Johannes Hevelius zkoumal v Gdaňsku v polovině 17.století povrch Měsíce. K pozorování sestavil periskop, jehož díly nalezneme na Obr.39. Úkazy na Měsíci pozoroval i v zimě. Protože by v noci pro mráz nevydržel venku upevnil periskop na půdě svého domu, kde bylo tepleji. Horní část periskopu přitom procházela střechou ven. Svoje poznatky a nákresy uvedl v knize nazvané Solenographia, která vyšla v roce 1647 (Obr.40).



Obr.38 Johannes Hevelius



Obr.39 Rozložený hvězdářský periskop



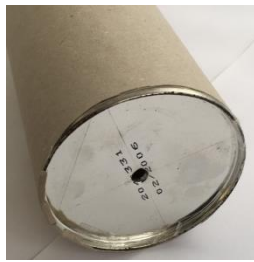
Obr.40 Kniha Solenographia

#### 4. Podivné kukátko – svět vzhůru nohama

\*\*\*\*\*



Obr.41 Doza



Obr. 42 Otvor

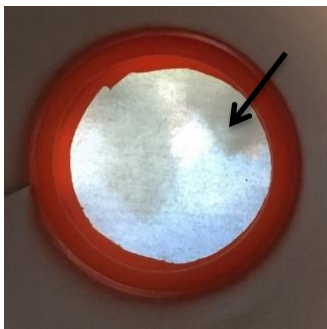


Obr.43 papírové stínítko



Obr.44 Camera obscura

K výrobě kukátka (camera obscura) budeme potřebovat dózu z plastu anebo plechovku s plastovým víčkem, ve kterém uprostřed vystříháme otvor. Pomocí víčka upneme v otvoru plechovky průsvitný tenký papír, který bude sloužit jako stínítko na které se promítne obraz (Obr.45). Papírovou trubku o průměru asi 80 mm a délce 330 mm svineme z balicího papíru kolem plechovky. Trubka slouží k odstínění bočního světla, které by rušilo při pozorování stínítka. Otvor ve dnu plechovky o průměru asi 2mm umožnil vidět na stínítku převrácený obraz štítu domu na protější straně ulice (Obr.45). Průměr otvoru se může zvětšit až na 5 mm, obraz bude lépe vidět, ale bude neostrý a méně zřetelný.



Obr.45 Stínítko s obrazem



Obr.46 Zvětšený otvor

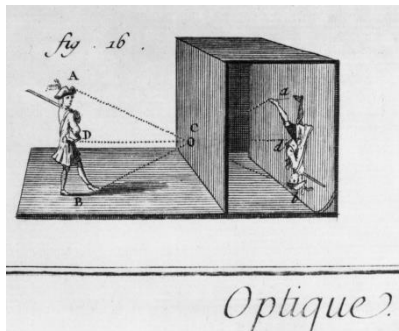


Obr.47 Moderní camera obscura Lit.52 r.2007

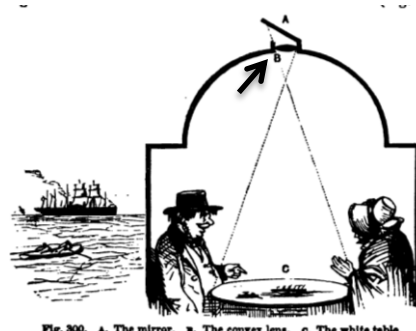
Pouhý otvor může nahradit skleněná spojná čočka, jak ji vidíme označenou šipkou na Obr.47 a Obr.50. Potom je obraz promítaný na stínítko podstatně zřetelnější.



Obr.48 Přenosná kamera



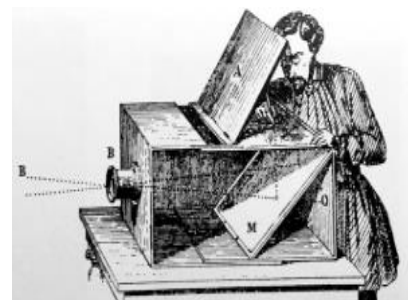
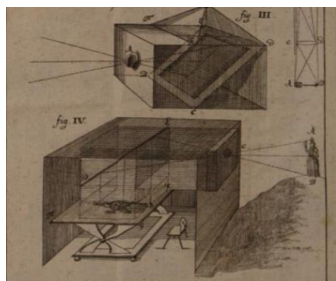
Obr.49 Encyklopedie 18.století



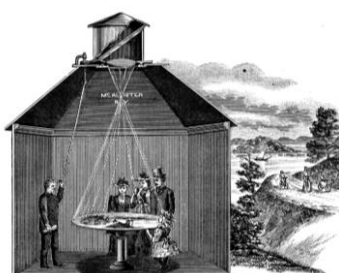
Obr.50 Pozorování moře r.1860

**HT** Princip a praktické užití camery obscury bylo v Evropě známo již v 16. století. Přenosnou kameru nalezneme třeba ve spisech fyzika Roberta Hookea, který ji doporučoval v 18.století malířům na cesty (Obr.48 Lit.4). Ve francouzské Diderotově encyklopedii z 18.století je v kapitole týkající se optiky

znázorněna komora (Obr.49). Zábavná kniha s ilustracemi pro děti z roku 1860 obsahuje zmínku o komoře zobrazující události na moři pozorované kamerou umístěnou na břehu (Obr.50, Lit.14).



Obr.51,52 Camera obscura zakreslená v knize „Optica“ z r.1710 Obr.53 Kamera pomůckou kreslíře



Obr.54,55 Pozorování krajiny a moře – USA 19./20.století Obr.56 Největší camera obscura

Kameru umístěnou na turisticky zajímavém místě v USA vidíme na dřevorytu Obr.54 a na fotografii Obr.55. V současnosti je největší kamera na světě umístěna v muzejní věži ve městě Mühlheim v Německu (Obr.56, Lit.62)

### 5. Korková zátka udrží rovnováhu

\*\*\*\*\*



Obr.57 Díly modelu Obr.58 Hotový model Obr.59 Model na lávce Obr.60 Model se drží

K výrobě modelu budeme potřebovat korkovou zátku, dvě vidličky a čtyři menší hřebíky. Těžiště sestaveného modelu se nachází až pod úroveň místa, kde je model na lávce ze dřeva postaven. Navzdory zdánlivě riskantní poloze je rovnováha stabilní. Model udrží rovnováhu i při pokusech ho vychýlit a znejistit. Podobné modely s nečekaně nízkou polohou těžiště byly vyráběny jako pomůcky pro školy již v 19.století.



Obr.61 Model jezdce r.1860



Obr.62 Panenka Lit.15 M.Faraday

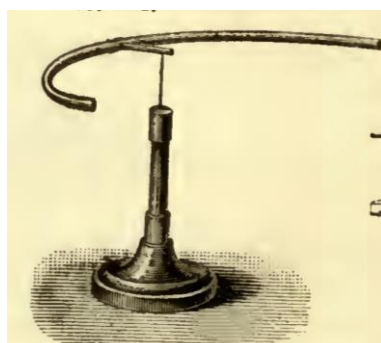


Obr.63 Jezdec r.1912 Lit.18

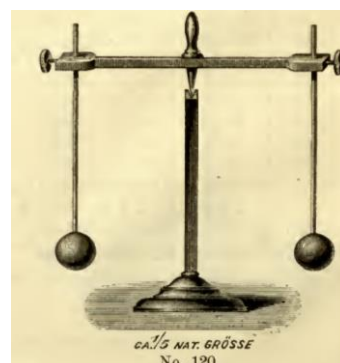
**HT** Vynikající fyzik Michael Faraday byl také autorem přednášek o klasické mechanice pro mládež, které vyšly tiskem v roce 1860 (Lit.15). Pomocí obrázku vysvětlil nečekané umístění těžiště panenky, která přes zdánlivou vratkost udržela rovnováhu (Obr.62). Podobné modely nalezneme ve starém katalogu školních pomůcek pro fyzikální kabinetů z roku 1912 (Obr.63,Lit.38). Ještě starší katalog z roku 1875 uváděl zátku s vidličkou na hrotu a hrazdu na břitu se dvěma nízko zavěšenými koulemi (Obr.64, Lit.17). Fyzikální pomůcka, kterou nalezneme v knize z roku 1893 (Obr.65), byla možná inspirována pro současné modely ptáků. Na snímcích Obr.67-69 je vidět, že těžiště modelů je právě pod koncem jejich zobáčku. Model hrazdy uložené na břitu s nízko nastaveným těžištěm vidíme na Obr.66.



Obr.64 Zátka s vidličkami Lit.17



Obr.65 Oblouk 1893 Lit.32



Obr.66 Hrazda na břitu



Obr.67,68,69



Pták s těžištěm ve špičce zobáku r.2025



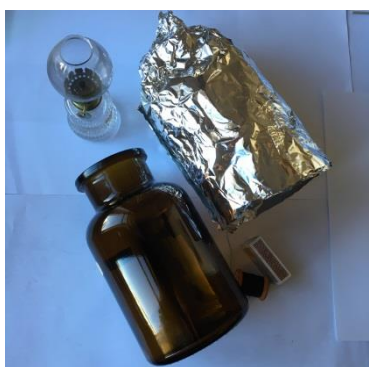
## 6. Petrolejová lampa zvedne alobal visící na niti

\*\*\*\*\*

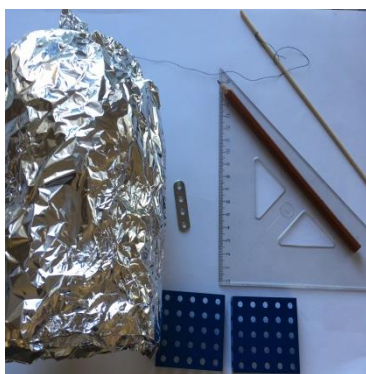


Obr.70 Alobal Obr.71,72,73 Vířivé proudění spalin a vzduchu Obr.74 Stoupající vzduch

Před vlastním pokusem se přesvědčíme, jestli teplý vzduch bude umět pohnout malým kouskem hliníkové folie – alobalu. Zapálíme svíčku a nad ní pověsíme proužek alobalu na niti (Obr.70). Plamen svíčky je velmi žhavý a spaliny stoupají nahoru. Přitom také strhávají okolní vzduch. Proužek alobalu se nepravidelně kývá. Z toho můžeme usoudit, že proud spalin a vzduchu stoupající směrem vzhůru není urovnaný a pravidelný. Jsou známy přístroje a postupy umožňující nepravidelně stoupající víry zviditelnit pro lidské oči (Obr.71 – 73). Takové přístroje ale nemáme a sotva nás k nim někdo pustí. Také však víme, že bezmotorové letadlo dokáže kroužit a stoupat nad letní krajinou (Obr.74). Nějaká síla tedy musí větroň zvedat nahoru. Přijdeme tomu na kloub. Vymyslíme pokus, vyzkoušíme jestli petrolejová lampa zvedne plášť z tenkého alobalu. Tím se pozná, že teplý vzduch opravdu dokáže zvedat věci do výšky. Připravíme si malou petrolejovou lampu, zápalky, nit, špejli, tužku a malé ocelové díly mechanické stavebnice, také láhev jako formu na plášť, který bude vypadat jako nějaká divná čepice.



Obr.75 Příprava pokusu



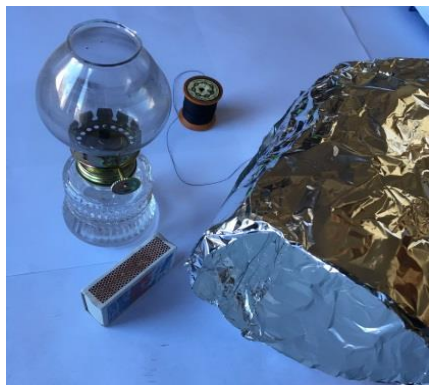
Obr.76 Láhev zabalená v alobalu



Obr.77 Hotová čepice z alobalu

Dvojitě navinutý plášť má průměr asi 10 cm a výšku 24 cm, v jeho horní části je na kousku špejle uložené dovnitř připevněna nit. Další kousek dřevěné špejle bude sloužit jako dvojkřídlová páka. Na jednom konci páky bude na niti viset alobalová čepice nad petrolejovou lampou. Na druhém konci páky bude navlečen ocelový díl stavebnice, který bude sloužit jako protizávaží a zároveň jako ukazovátka rovnováhy. Na kraj stolu připevníme pomocí lepicí pásky tužku. Na tužku položíme

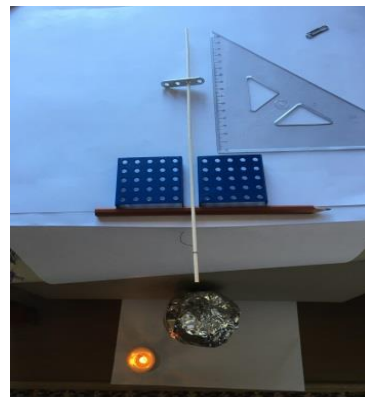
opatrně špejli se zavěšenou čepicí. Ocelový díl s otvory budeme posunovat po špejli tak dlouho, až zůstane trochu zvednutý, ale nezvedne se úplně od plochy stolu (Obr.80). Teprve po přesném vyvážení páky přisuneme pod visící čepici petrolejovou lampu (Obr.81).



Obr.78 Hliníkový plášť je hotov



Obr.79 Připravíme petrolejku

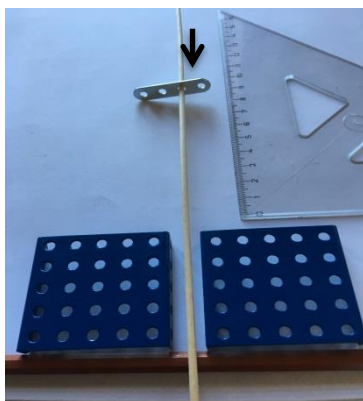


Obr.80 Plášť visí za nit na váze

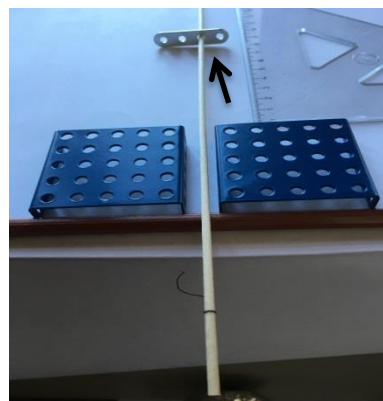
Zjistíme, že během asi 5 vteřin se čepice naplní horkými spalinami natolik, že se začne zvedat. Poznáme to podle nepatrného pohybu závaží směrem dolů k desce stolu (Obr.82). Po asi 15 vteřinách je vztaková síla už natolik velká, že závaží na opačném konci páky poklesne až na stůl (Obr.84). Teď odsuneme petrolejovou lampu stranou a budeme pozorovat co se stane. Zjistíme, že po asi po dalších 40 vteřinách se spaliny a vzduch pod hliníkovou čepicí ochladí natolik, že se páka vrátí zpátky do původní výchozí polohy, kde byla před zahájením pokusu (Obr.80). Úspěšný pokus potvrdil, že uzavřený teplý vzduch umí zvedat hliníkovou čepici.



Obr.81 Petrolejová lampa hřeje



Obr.82 Závaží se naklání



Obr.83 Závaží se ještě víc naklání

**HT** První odvážné průkopníky bezmotorového létání napadlo využít vztlaku horkého vzduchu už koncem 18.století. Velký balon splený z textilu a papíru byl určen k pokusnému letu koše ze zvířaty. Kachna, kohout a beran letěli úspěšně do výšky ve Versailles ve Francii dne 19.září 1783. Když bylo jasné, že takový let balonem mohou zvířata ve zdraví přežít, nastoupili do balonových košů odvážní lidé. První let horkovzdušného balonu s posádkou dvou osob se uskutečnil dne 19.září 1783 v Paříži. Na Obr.85, 86 jsou na dvou dramatických obrazech zachyceny první lety francouzských balonů v roce 1783.



Obr.84 Plášť zvednul páku



Obr.85 Balon letí



Obr.86 Teplovzdušný balon startuje

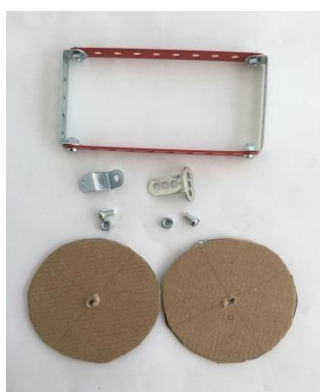


Obr.87

## 7. Zkroucená guma pohání malý vozík

\*\*\*\*\*

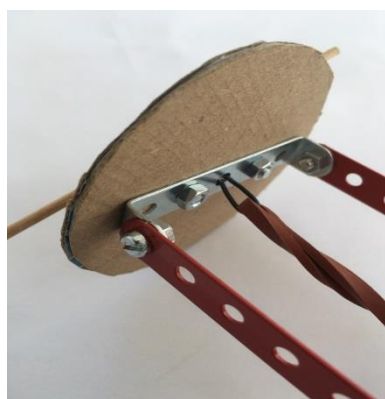
Pokus má ukázat, že napětí zkroucené pryže může pohánět model vozíku sestavený z kovových dílů mechanické stavebnice a tvrdého papíru. Nejdřív připravíme díly budoucího vozíku.



Obr.88 Díly vozíku



Obr.89 Upevnění prvního kola



Obr.90 Upevnění druhého kola



Obr.91,92 Sestavený vozík a špejle

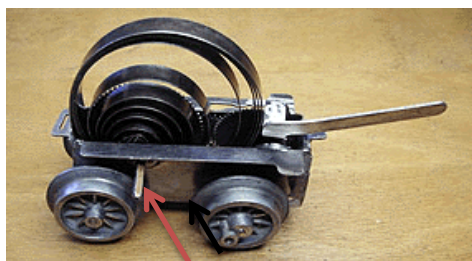


Obr.93,94 Uchycení špejle ke kolu

Snadný způsob postavení vozíku je vybrat a sestavit několik dílů mechanické stavebnice a doplnit je koly z tvrdého papíru, špejlí a gumovým kroužkem (Obr.88). První kolo upevníme na ocelový rám jedním průvlečným šroubkem, který zároveň drží malý úhelník s provlečeným gumovým kroužkem (Obr.89). Druhé kolo připevníme k rámu pomocí dvou šroubků, přitom v ose papírového kola vymačkneme otvor k provlečení drátku (Obr.90). Drátek byl navlečen na gumový kroužek a po provlečení sloužil na druhé straně kola k upevnění špejle. Drátek byl protažen otvorem v kole a v malém úhelníku, který je přišroubován zevně k papírovému kolu (Obr.93,94). Délka špejle a také místo kde je připevněna špejle drátkem je vidět na Obr,91,92.

Nyní vezmeme hotový vozík za rám do ruky a zkroutíme gumový kroužek pomocí otáčení špejle. Gumový kroužek bude zkroucen do šroubovice a zkrátí se. Když vozík postavíme na zem nebo na stůl a pustíme ho, tak se rozjede a pojede tak dlouho dokud bude gumový kroužek aspoň trochu zkroucený.

**HT** Vozík začne uvolněním při startu využívat potenciální energii napjatosti zkroucené gumové pružiny. Tato energie se nevratně zmaří vykonáním mechanické práce při jízdě vozíku po vodorovné rovině. Mechanická práce je konána přemáháním všech třecích sil, hlavně valivého tření kol. Mechanickou práci rozumíme působení síly podél dráhy. Práce se nakonec promění na teplo. Mechanickou práci jako součin síly a dráhy definovali nezávisle na sobě v roce 1829 dva významní fyzikové ve Francii (Obr.100 a Obr.101,102). Mechanická práce byla jimi matematicky vyjádřena jako součet (integrál) skalárních součinů vektoru síly a malých úseků dráhy. Současná jednotka mechanické práce je Joule ( $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = \text{síla } 1 \text{ Newton} \times \text{dráha } 1 \text{ metr}$ ).



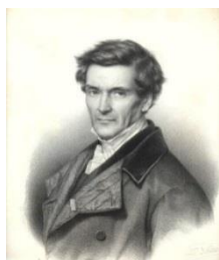
Obr.95 Pohon vozíku plochou pružinou Obr.96 Ozubený pohon Obr.97 Figurka na pero

V polovině 20. století a také už dříve byly v oblibě hračky, které využívaly k pohybu energii napjatosti ocelové ploché pružiny. Pružina se natahovala pomocí čtyřhranu nasazovacím klíčkem (Obr.95 šipka), který nebylo radno ztratit. Říkalo se tomu autíčka na klíček. Někde vevnitř byl malý převod ozubenými koly (Obr.96). Podobný pohon měly chodící figurky (Obr.97), skákající práci z plechu anebo malým lodním šroubem poháněný plechový parník. Ukázka autíčka na setrvačnick je na Obr.103.



Obr.98 Pohon auta pružinou na klíček

Obr.99 Pohon nákladních aut na klíček



Obr.100 L.Foucault

Obr.101,102 Jean-Victor Poncelet

Obr.103 Auto na setrvačnick

Zamyšlený muž na Obr.100 je francouzský fyzik Léon Foucault (\*1819 +1867), který proslul výsledky studia elektrických vířivých proudů, sestrojováním optických přístrojů a zejména po něm nazvaným kyvadlem, které prokazuje rotaci Země. Na Obr.101 je fyzik Jean-Victor Poncelet (\*1788 +1867), jako matematik přispěl k rozvoji projektivní geometrie, jako inženýr zlepšil tvarováním lopatek účinnost vodního kola. Na Obr.102 je Poncelet portrétován v uniformě generála, velitele vojenské vysoké školy. Poncelet byl totiž celý život ženijním důstojníkem a profesorem, účastnil se polního tažení do Ruska v roce 1812, v ruském zajetí se mu přes těžkosti podařilo napsat knihu o projektivní geometrii.

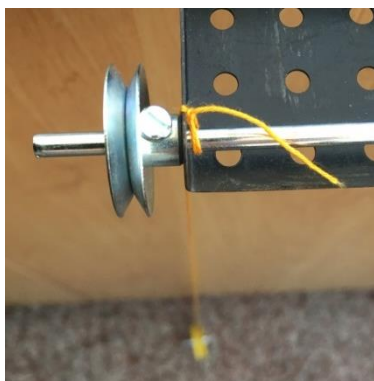
## 8. Setrvačnický stoupá po niti

\*\*\*\*\*

Model setrvačnicku sestavíme nejsnáze z dílů mechanické stavebnice. Užijeme k tomu dvě kolečka a hřídel. Otvorem jednoho z koleček provlékneme pevnou přízi v délce asi 1 metru podle Obr.104. Kolečka upevníme na hřídeli těsně, jen asi 3mm od sebe. Po dotažení šroubků navineme přízi na hřídel. Konec příze upevníme na nosník také zhotovený ze stavebnice, který bude ležet zatížený na desce stolu (Obr.105). Spuštěný setrvačnick se roztočí a bude klesat tak dlouho až se všechna příze odvine. Potom se setrvačnick bude vracet, ale kupodivu se nedostane až do místa odkud byl spuštěn. Důvodem je, že během cesty ztratil část své kinetické energie třením o vzduch a také vláknovým třením v odvíjené a navíjené přízi. Kdy se vlastně podařilo přesně vysvětlit co se při pokusu dělo?



Obr.104 Díly setrvačnicku



Obr.105 Závěs setrvačnicku



Obr.106 Setrvačnick v dolní poloze

**HT** Při vysvětlení jevu nám přijdou vhod pojmy polohové (potenciální) energie a pohybové (kinetické) energie. Největší polohovou energii má setrvačnick při startu, nejmenší pak v okamžiku odvinutí příze z hřídelky zcela dole. S pohybovou energií je tomu přesně naopak. Setrvačnick v klidu před startem bude mít nulovou pohybovou energii, zcela dole se kde bude nejrychleji otáčet, bude mít maximum pohybové energie. Jsme tedy svědky přelévání energie polohy do pohybové energie a potom zpět do polohové energie. Součet obou energií setrvačnicku bude až na tření stálý. Nebýt těch nevyhnutelných ztrát třením, tak by se setrvačnick přeléváním energie pohyboval nahoru a dolů snad věčně. Takové zdůvodnění co se při pokusu dělo nám může připadnout jednoduché a jasné, vše najdeme v učebnicích. Možná nás udiví, že k zákonu fyzika dospěla historicky nedávno, teprve v roce 1847. Přísně a zasmušile vyhlížející starší pán je Hermann von Helmholtz, profesor fyziky na univerzitě v Berlíně, který v tomto roce zveřejnil tiskem svou přednášku „Ueber die Erhaltung der Kraft“ (Zákon o zachování energie)(Obr.107, 108, Lit.23 r.1882).

V textu své přednášky prvně uvedl, že v případech podobných našemu provedenému pokusu, v poli zemské tíže, nabývá energie pohybová svou velikost na úkor energie potenciální a naopak. Jejich součet však zůstává konstantní. Helmholtz svoje tvrzení patřičně podepřel také matematicky.

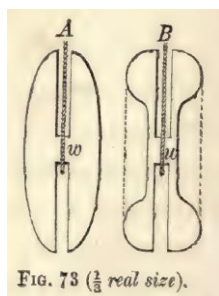


Der Verlust an Quantitat der Spannkraft stets gleich dem Gewinn an lebendiger Kraft, und der Gewinn der ersteren dem Verlust der letzteren. Es ist also stets die Summe der vorhandenen lebendigen und Spannkraft constant. In dieser allgemeinsten Form können wir unser Gesetz als das Princip von der Erhaltung der Kraft bezeichnen.



Obr.107 H.Helmholz Obr.108 Definice zachování energie Obr.109 H.Helmholz v laboratoři

Již staří Řekové v 4.století našeho letopočtu znali hračku, kterou nazýváme „jojo“. Je zobrazena na řecké keramické váze uložené v muzeu (Obr.110). Na zábavu se jen tak nezapomíná, také rokokové dámy uměly v 18.století volný setrvačnick na provázku prohánět nahoru a dolů. Aktivním zvedáním doplnily tu část energie, kterou setrvačnick v důsledku tření ztratil. Také kniha o fyzikálních modelech z roku 1875 oblíbenou hračku znala (Obr.112,Lit.17). Moderní doba nezůstává pozadu, můžeme si koupit prostou hračku dřevěnou (Obr.113), nebo také z křiklavě obarvených plastů.

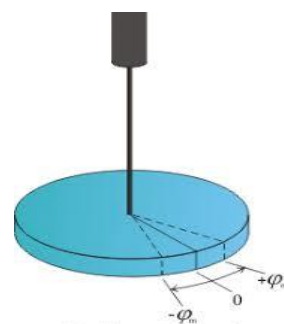
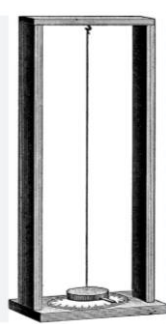


Obr.110 Hračka jojo Obr.111 Hračka jojo Obr.112 jojo r.1875 Obr.113 Hračka r.2025.

### 9. Setrvačnick krouť drátem a pružinou

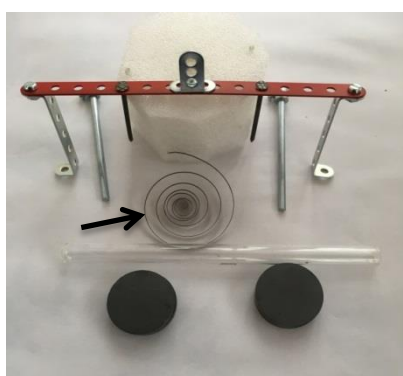
\*\*\*\*\*

Spouštění a zvedání setrvačnicku je jedna věc, jeho točení kolem své vlastní osy je věc druhá. Zkusme proto další pokus, opět k němu budeme potřebovat díly mechanické stavebnice a také ocelový drát.

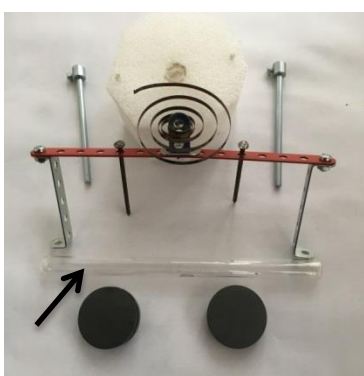


Obr.114 Kroucení drátem Obr.115 Kroucení drátem Obr.116,117 Drát jako pružina – kmity

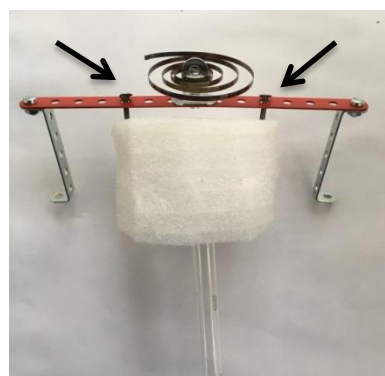
Delší ocelový drát může být účinnou pružinou, která způsobí pravidelné kmity setrvačníku kolem jeho vlastní osy. Setrvačnick složíme z dílů mechanické stavebnice (Obr.114). Drát je vhodné upnout tak, aby jeho osa byla pokud možno shodná s osou setrvačníku. Setrvačnick pověšíme svisele podle skříně nebo stolu na pevný úvazek (Obr.115). Když setrvačnick pootočíme z rovnovážné polohy a pustíme ho začne se vracet do polohy původní a dále do protější úvratě (Obr.116,117). Kmity budou pravidelné jako je obvyklé u kyvadla, ale brzo se utlumí. Daleko účinnější je použít pro takový pokus plochou kalenou pružinu, která je svinutá do spirály (Obr.118 šipka). Díly většího setrvačníku vidíme na Obr.118. Jako ložisko uijeme k dosažení co nejmenšího tření skleněnou zkumavku (Obr.119 šipka). Zkumavka bude sevřena v otvoru válce z pružného pěnového plastu, bude nasazena na starý ocelový pletací drát upevněný v základovém prkénku. Ocelové jho setrvačníku sestavené z dílů spojených šroubky bude upevněno k pěnovému plastu dvěma hřebíky (Obr.120,šipky).



Obr.118 Součásti setrvačníku



Obr.119 Nasazení pružiny



Obr.120 Skleněné ložisko

Pružinu nasadíme na malý díl stavebnice, který byl přišroubován k nosnému dílu setrvačníku (Obr.121 šipka). Konec pružiny sevřeme upínací svorkou, která je upevněna ve stojanu (Obr.122,123 šipka). Nyní pootočíme setrvačnick, zatím bez přidavných dílů, jak je vidět na snímku Obr.121. Budeme si pamatovat jak dlouho jeden kmit trval. Potom do setrvačníku navlékneme dole dvě závaží (Obr.123)



Obr.121 Uchopení pružiny



Obr.122 Uchopení pružiny



Obr.123 Torzní kmity setrvačníku

a opět budeme sledovat časové trvání kmitů. Zjistíme, že setrvačnick se závažími má delší dobu kmitu. Nakonec přidáme na setrvačnick další závaží v podobě dvou tmavých feritových magnetů (Obr.125, 126 šipky ). Pozorováním a odhadem zjistíme, že se doba kmitu opět prodloužila.



Obr.124 Tlumené kmity



Obr.125 Těžší setrvačnick



Obr.126 Zatížení dalšími magnety

**HT** Klasická mechanika nás učí , že setrvačnick má mít většinu hmoty soustředěnou na svém obvodu, zároveň má mít co největší průměr. Kinetická energie setrvačnicku je totiž úměrná veličině nazývané moment setrvačnosti hmoty k ose rotace. Je to součet (integrál) všech dílčích částí hmoty setrvačnicku násobený druhou mocninou vzdálenosti těchto částí hmoty od osy rotace, značí se písmenem „I“. Kinetická energie rotujícího setrvačnicku se spočte následovně:  $E_k = \frac{1}{2} * I * \omega^2$  , kde „ $\omega$ “ je úhlová rychlost rotace. Tyto výpočty a úvahy byly známy již v 19.století. Výrobci prvních kapesních hodinek vybavených jen jednou ručičkou je počátkem 16.století určitě vytušili a prakticky využili při návrhu a úspěšné výrobě prvních malých setrvačnicků, které se nazývají nepokoj (Obr.127,128). Od té doby až dodnes najdeme uvnitř kapesních nebo náramkových mechanických hodinek podobnou pružinu a malý setrvačnick, jaké jsme užili při našem pokusu. Zdokonalení nepokoje se kromě hodinářů věnovali významní fyzikové své doby, jako byl třeba Robert Hooke v Anglii. Na fiktivním obraze z 21.století, který znázorňuje skutečnou událost, vysvětluje Robert Hooke anglickému králi Karlu II. svoji konstrukci nepokoje v kapesních hodinkách a sice během jejich náhodného setkání v londýnském parku koncem léta roku 1675 (Obr.129,130).



Obr.127 Kapesní hodinky z r. 1510



Obr.128 Hodinky z r.1550

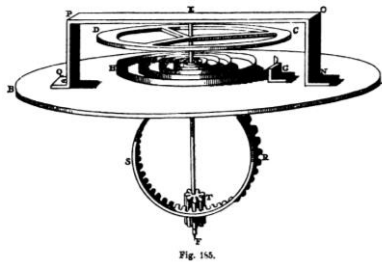


Obr.129 Karel II. a Hooke r.1675

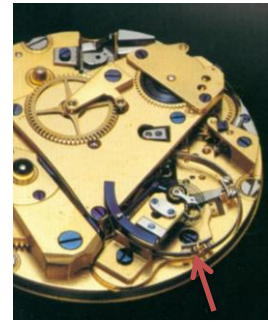
Holandský fyzik Christiaan Huychens navrhl v 17.století další zlepšení nepokoje, které ukazuje rytina na Obr.131 (Lit.64). Na nepokoj řemeslně krásně provedených kapesních hodinek z roku 1813 ukazuje šipka na Obr.132. Torzní kyvadlo daleko rozměrnější než nepokoj kapesních hodinek bylo užíváno ve větších hodinách. Příklad pokojových hodin z roku 1885 s velkým torzním kyvadlem je vidět na fotografii Obr.133.



Obr.130 Hooke popisuje nepokoj



Obr.131 Huygensův nepokoj Lit.64

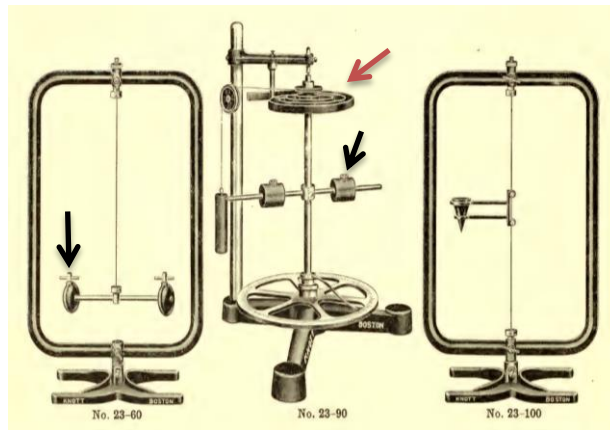


Obr.132 Hodinky r.1813

Povšimneme si školních modelů torzního kyvadla z roku 1912 (Obr.134,Lit.38). Červená šipka ukazuje na ocelovou pružinu, černé šipky ukazují na závaží jejichž vzdálenost od osy rotace bylo možno nastavit a potom zajistit dotažením šroubku. Demonstrační přístroj zcela vpravo na Obr.134 využíval namísto pružiny torzní strunu s napětím nastavitelným pomocí šroubu. Ukázky současných laboratorních přístrojů, které slouží k předvedení a vyhodnocení torzních kmitů, nalezneme na Obr.135,138.



Obr.133 Hodiny r.1885



Obr.134 Školní přístroje z roku 1912



Obr.135 Torzní kyvadlo



Obr.136 Torzní nepokoj hodinek r.2025



Obr.137 Kyvadlo (nepokoj) r.2025



Obr.138 Kyvadlo r.2025

Současné náramkové mechanické hodinky vynikají kromě očekávané přesnosti hlavně velmi dokonalým řemeslným provedením a lze je považovat za moderní druh luxusních šperků (Obr.136,137).

## 10. Závaží natahuje pružinu visící z trojnožky

\*\*\*\*\*

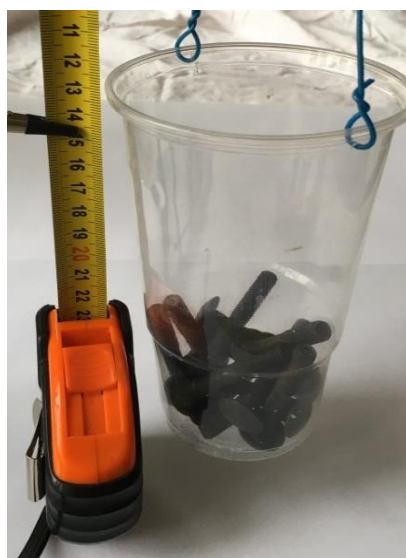


Obr.139,140 Trojnožka pro fotografy

Obr.141 Pružina se zátěží

Obr.142 Pružina

K pokusu budeme potřebovat pružinu nejlépe ve tvaru válce, která bude opatřena závěsnými oky. Námí použitá ocelová pružina z kaleného drátu o průměru 0,7mm má vnější průměr 12,5mm a celkovou délku v klidu 113mm. Počet závitů pružiny je 118. Budeme potřebovat trojnožku a metr.



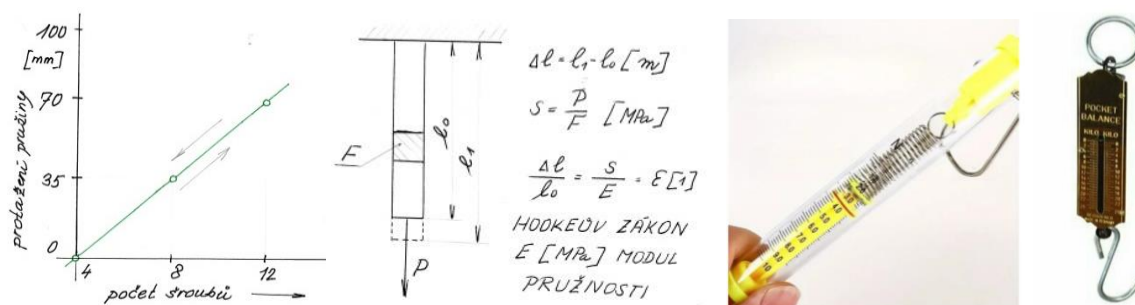
Obr.143 Pružina

Obr.144 Zatěžování pružiny

Obr.145,146 Protažení pružiny

Vhodná malá závaží nebyla k dispozici, k zatěžování pružiny bylo proto vybráno 12 stejných ocelových šroubů M8 o délce 55mm, jejich celková váha byla 270 gr. Všechny 12 šroubů bylo vloženo do kelímku, jehož horní okraj byl po zavěšení na pružinu považován za výšku nula. Po dvojnásobném odebrání čtyřech šroubů bylo zjištěno zpětné zkrácení pružiny o 35mm a 70mm od výchozí nulové polohy. Poslední čtveřice šroubů byla nutným základním zatížením, aby závitů pružiny byly od sebe odděleny malými

mezerami. Zpětným vrácením šroubů do kelímku nastal výchozí stav, během zatížení a odtížení probíhala vratná pružná deformace. Postup lze znázornit graficky na Obr.(147).

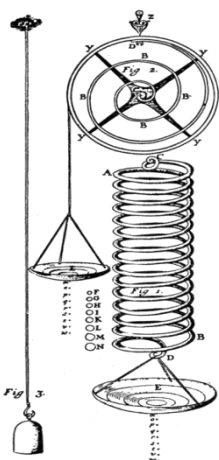


Obr.147 Pružina pod zátěží

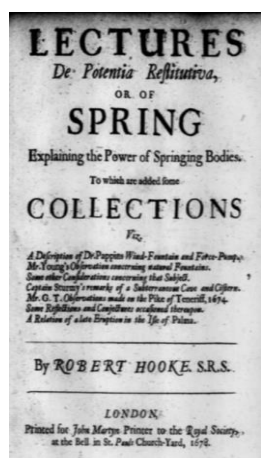
Obr.148 Hookeův zákon

Obr.149,150 Pružinová váha a mincíř

Natahování a odtěžování pružiny mělo za následek mechanické napětí v průřezu kaleného drátu. **HT** Závislost deformace a napětí byla přesně rozpoznána a matematicky formulována až koncem první třetiny 19.století. Současná formulace této závislosti je nazvána Hookeovým zákonem (r.2025, Obr.148). Zákon říká, že podíl přírůstku délky k původní délce „ $l_0$ “ tahem namáhané tyče je stejný jako poměr mechanického napětí („ $s$ “, v MPa) k Hookeově modulu pružnosti oceli v tahu („ $E$ “, v MPa). Přímé úměry mezi zatížením a prodloužením pružin využívají současné laboratorní váhy (Obr.149), nebo také dříve hojně oblíbený mincíř (Obr.150). Podívejme se nyní do minulosti s otázkou kdo vlastně přišel jako první s myšlenkou systematického zkoumání vlastností pružin.



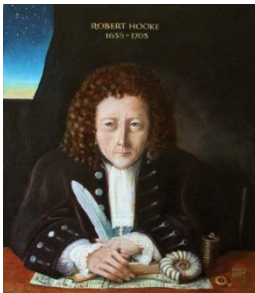
Obr.151 Pružiny v knize z roku 1678 (Lit.3)



Obr.152 Fiktivní portrét Roberta Hooka (21.stol.)

Anglický fyzik Robert Hooke zkoumal prodloužení vinuté válcové pružiny pomocí malých závaží, jak vidíme na jeho vlastním nákresu v knize vydané v roce 1678 (Obr.151,Lit.3). Protažení dlouhého drátu, který Hooke zatěžoval postupně závažími o váze až 20 liber (cca 9kg), bylo zkoumáno v londýnském kostele St.Paul's a také ve Westminsteru (Lit.43). Hooke zjistil ve všech případech přímou úměru mezi zatížením a prodloužením. Dosud neznámý poznatek formuloval větou v latinském jazyce, zápis vzorce algebraickou formou nebyl ještě obvyklý. Objevená zákonitost se týkala pružin jako celku, nevztahovala se k vlastnostem a průřezu ocelového drátu pružin. Trvalo ještě dlouho, než byla pružnost materiálů objasněna a formulována dokonaleji. Přispěli k tomu zejména švýcarský matematik Leonard Euler a anglický fyzik Thomas Young. Francouzský fyzik Navier

formuloval v třicátých letech 19.století Hookeův zákon již tak, jak ho známe dnes (Obr.148). Tahové napětí tyče o průřezu „F“ silou „P“ vztáhnul na jednotku plochy. Zavedl pojem modulu pružnosti „E“, který je odlišný pro různé materiály. Stanovil, že relativní prodloužení tyče je rovno podílu tahového napětí na jednotku plochy a modulu pružnosti. V této podobě formulovaný zákon byl pojmenován z respektu k původnímu objevu zákonem Hookeovým. Jak vypadal Robert Hooke nevíme. Podle zachovaných soudobých slovních popisů jeho podoby a jeho osobních vlastností vznikl počátkem 21.století fiktivní portrét, jehož autorkou je současná britská malířka Rita Greer (Obr.152,153). Na obraze vidíme zamyšleného vědce, pružinu, mikroskop k pozorování přírodnin, dokonce nějaký stavební výkres kupole. Všestranný přírodovědec Robert Hooke byl totiž také úspěšným architektem.



Obr.153 R.Hooke



Obr.154 L.Euler

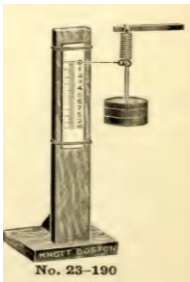


Obr.155 T.Young

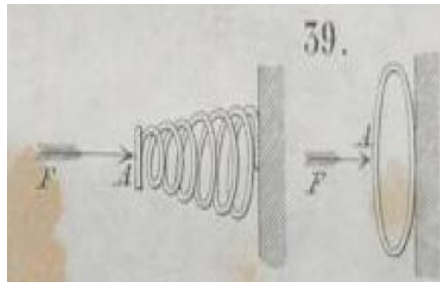


Obr.156 L.C.Navier

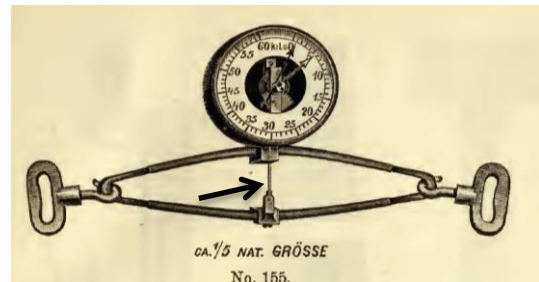
Výukový model váhy určený pro školy v USA na počátku 20.století ukazuje Obr.157 (Lit.38). Modely pružin namáhaných na tlak jsou znázorněny na Obr.158 , litografie pochází ze školní učebnice fyziky vydané v roce 1844 (Lit.10). K laboratornímu měření tažných sil na školách byla určena pružina znázorněná na Obr.159 (Lit.32). Velikost tažné síly v závěsích byla měřena pomocí vzájemného přiblížení ramen pružiny. Přístroj s ručkou měřil míru vtláčování tyčinky, která se opírala o protější rameno pružiny (šipka). Přístroj měl stupnici vyznačenou v kilogramech. Skutečný přístroj z roku 1826



Obr.157 Váha



Obr.158 Pružiny namáhané na tlak



Obr.159 Měření tažné síly mezi závěsy



Obr.160 Pružinová váha z roku 1826



Obr.161 Sada závaží z roku 1853



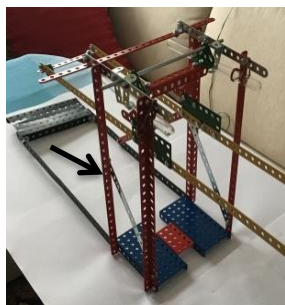
Obr.162 1 kg r.1886

vidíme na snímku (Obr.160). K ověření kalibrace vah byla nutná kontrolní závaží (Obr.161,162)

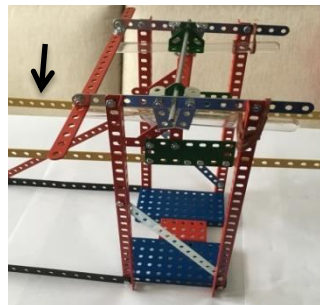
## 11. Sestrojíme přesnou váhu a něco zvažíme

\*\*\*\*\*

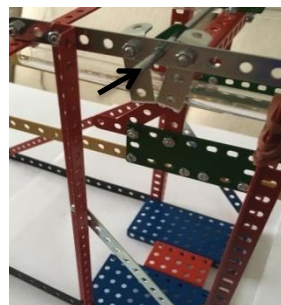
Přesnou váhu nemáme po ruce a proto se pokusíme sestavit váhu z dílů stavebnice. Nejdříve je nutné postavit stabilní stojan, jehož konstrukce se nesmí viklat (Obr.163 šipka). Z několika delších dílů sestavíme vodorovné rovnoramenné vahadlo s ocelovou hřídelkou v horní části (Obr.164,165 šipka). Součástí stojanu bude uchycení pro dvě podélně uložené skleněné zkumavky na nichž bude ocelová hřídelka vahadla spočívat. Hřídelka a dvě zkumavky se budou dotýkat pouze ve dvou bodech.



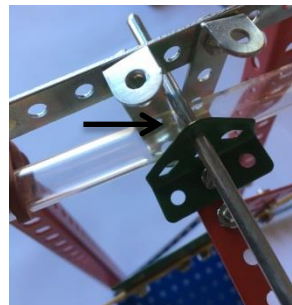
Obr.163 Stojan váhy



Obr.164 Stojan váhy

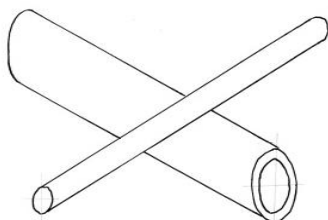


Obr.165 Ložisko váhy



Obr.166 Detail ložiska

Bodový dotyk v ložisku sestaveném ze dvou mimoběžných válců byl zvolen k dosažení co nejmenšího odporu při nepatrném kyvném pohybu vahadla (Obr.166 až 168). Součástí vodorovného vahadla je v hořejší poloze umístěná ocelová hřídelka o průměru 3,5 mm, která spočívá na dolejší skleněné zkumavce o vnějším průměru 10 mm. Při půdorysném průmětu jsou osy obou válců na sebe kolmé. V prostoru jsou obě osy mimoběžkami.



Obr.167 Mimoběžné válce

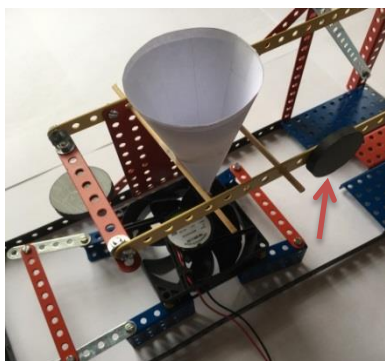


Obr.168 Bodové ložisko

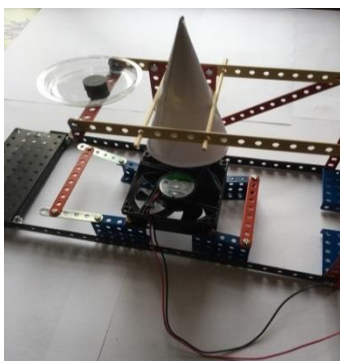


Obr.169 Rozvinutý plášť vrchlíku

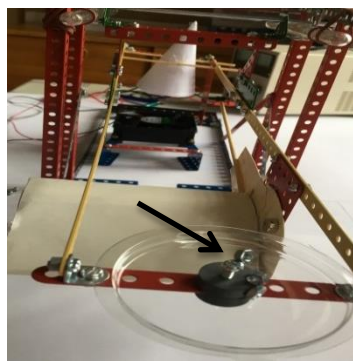
Vrchlík – plášť kolmé kužele – lze svinout z kruhového kancelářského papíru o průměru 210mm s jedním vystřiženým segmentem (Obr.169). Šev papírového pláště podélně zalepíme průhlednou lepicí páskou. Na vnější povrch pláště přilepíme pomocí průhledné pásky dvě krátké dřevěné špejle, které budou upevňovat vrchlík v obou ramenech vahadla. Vahadlo vyvážíme do vodorovné roviny polohou feritových magnetů (Obr.170 šipka).



Obr.170 Vrchlák špičkou dolů

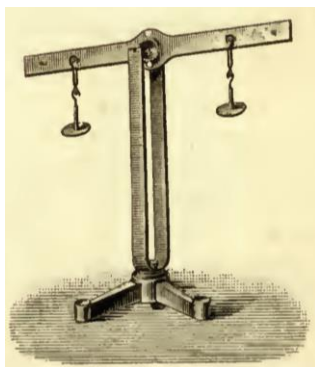


Obr.171 Vrchlák základnou dolů

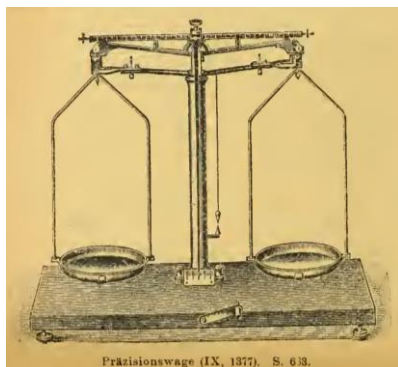


Obr.172 Rameno váhy

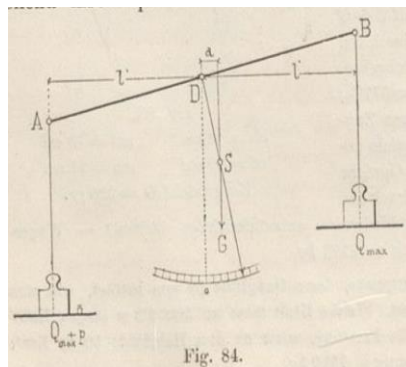
Vrchlák upevníme na konec vahadla (Obr.170). Spustíme ventilátor, proud vzduchu bude narážet do vnějšího pláště kužele. Tím bude vahadlo vychýleno. U opačného konce vahadla bude upevněno svisle na stojánku měřítko. Poznamenejme si výchylku ramene v milimetrech a zastavíme ventilátor. **HT** Potom pomocí improvizovaných závaží zjistíme kolik gramů je nutno vložit na magnet do misky, aby nastala stejná výchylka vahadla váhy jako při běhu ventilátoru (Obr.172). Malá závaží o váze zlomku gramu však nemáme. Nesnáz obejdeme tím, že zvážíme větší množství stejných šroubků a maticek z mechanické stavebnice a spočteme váhu jednotlivého šroubku a maticky (Obr.178). Našich 15 šroubků stavebnice Merkur vážilo cca 10 gramů. Zkušební zátěž třemi šroubky způsobila výkyv konce vahadla o cca 10 mm. Měřitelný výkyv konce vahadla (citlivost) způsobila jedna maticka o váze cca 0,5 gramu. Svislý proud vzduchu vzhůru do dutého kužele si vyžádal kompenzační váhu 3 maticek po 0,5 gramu. Naopak proudění vzduchu směrem na špičku převráceného kužele si vyžádalo 1 maticku o váze 0,5 gramu (Obr.170). Tím bylo zjištěno, že součinitelé odporu jsou v poměru 1 : 3 (0,33). Nyní nahlédneme do starších údajů a grafů na Obr.176,177 (Lit.45 r.1965, Lit.47 r.1979).



Obr.173 Váha Lit. 32 r.1893



Obr.174 Přesná váha Lit.39 r.1914



Obr.175 Laboratorní váha

**HT** Součinitele odporu pro kužel bez dna o vrchovém úhlu  $30^\circ$  jsou uvedeny podle smyslu proudění ve velikosti cca 0,34 a 1,25. Poměr součinitelů je  $0,34/1,25=0,27$ . Poměr součinitelů z citované odborné literatury je tedy nižší než poměr zjištěný na vlastnoručně sestaveném modelu (0,33). Přesto se dá říci, že shoda výsledků je ohledem na jednoduchost sestaveného modelu vcelku dobrá. Váha s rovnoramenným vahadlem byla častým modelem ve školách. V katalogu školních pomůcek z roku 1893 nalezneme model na Obr.173 (Lit.32). Laboratorní váhy ukazuje náčrt na Obr.174 (Lit.39). Myšlenka vyrovnání vahadla do vodorovné polohy a ukazování polohy vahadla, jak jsme ji užili při našem pokusu, je patrná z výkresu na Obr.175. Školní váhu vidíme také na Obr.186.

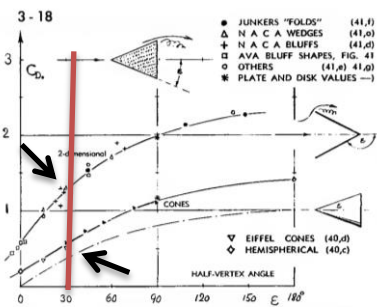
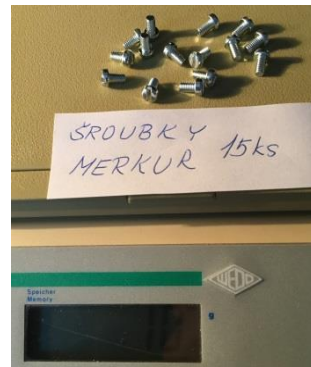


Figure 34. Drag coefficients of wedges, cones and similar shapes as a function of their half-vertex angle. At  $\alpha = 90^\circ$  the shape is that of plates in normal flow; between 90 and 180°, "folds" and hollow cones are plotted with their opening against the oncoming stream.

Halbkugel		1,33
ohne Boden mit Boden		1,17
Kreisplatte		1,11
$\alpha = 0^\circ$ ( $\frac{a}{b} = \frac{1}{5}$ )	$(\frac{a}{b} = \frac{1}{20})$	1,56
		2,03
$\alpha = 45^\circ$ ( $\frac{a}{b} = \frac{1}{5}$ )	$(\frac{a}{b} = \frac{1}{20})$	0,92
		1,54
Prisma $\frac{a}{b} = \frac{1}{25}$ parallel zur Längsachse angeströmt		0,81
Kreisring $\frac{a}{b} = 0,5$		1,22
Kegel ohne Boden		0,34
Kegel ohne Boden		0,51



Obr.176 Součinitele odporu Lit.45

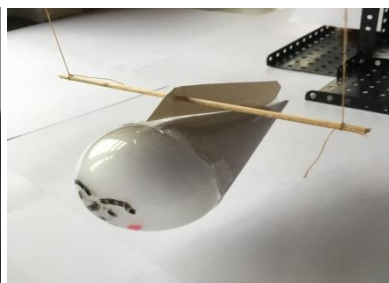
Obr.177 Kužel

Obr.178 Váha více šroubků

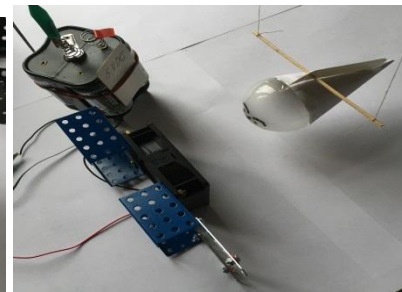
Model veselé kapky měl natolik malý aerodynamický odpor, že nebyl pomocí naší váhy a také na našem závěsu v podobě hrazdy vůbec zjištělný. Pokus s modelem kapky je patrný z následujících snímků.



Obr.179 Model kapky

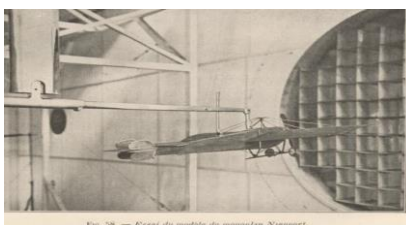


Obr.180 Kapka na hrazdě

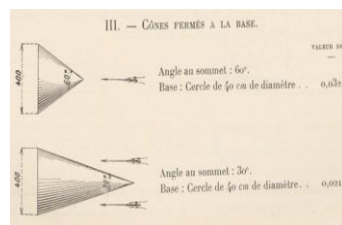


Obr.181 Kapka v proudu vzduchu

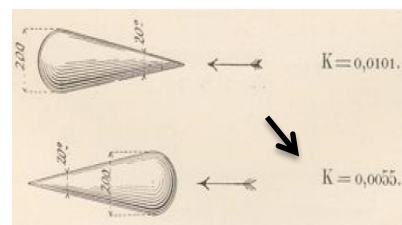
Délka modelu usměvané kapky je 131mm, největší průměr 58mm. Kapka byla složena ze staré nefunkční žárovky (60W E27) a kužele svinutého z papíru ve tvaru kruhu o průměru 210mm. Před svinutím z kruhu vystřihneme jeden segment, aby bylo svinování snadnější (Obr.169). Kapku a kužel bez dna o průměru 58 mm ponese jako závěs dvě dřevěné tyčinky (špejle). Kapka v proudu vzduchu směrem na kulovou část nezpůsobila na váze vůbec žádnou výchylku ramene váhy. Při zkoumání výchylky na lehké hrazdě zavěšené na nitích tomu bylo stejně (Obr.180). Podívejme se do minulosti, na počátek 20.století (Lit.63). Na Obr.184 vidíme nepatrnou hodnotu součinitele aerodynamického odporu pro kapku  $K=0,0055$ , která byla zjištěna pokusně Gustavem Eiffelem roku 1910 (Lit.63). V té době byly předmětem aerodynamických měření také modely letadel (Obr.182).



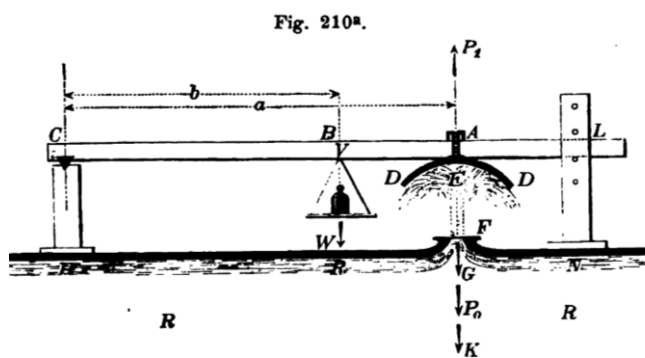
Obr.182 Model letadla Lit.63



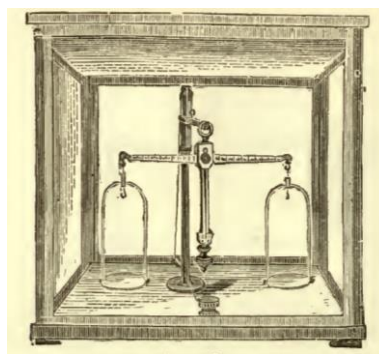
Obr.183,184 Aerodynamické odpory těles v proudu vzduchu r.1910



Podobná měření sloužící ke zjištění součinitele odporu, tady vhodného tvaru lopatek vodních turbin, byla prováděna s vodou již v 19.století, jak dokládá dřevoryt na Obr.185 (Lit.20).

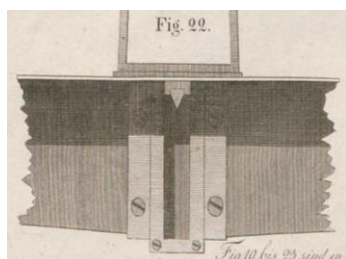


Obr.185 Koeficient odporu lopatek Lit.20 r.1880



Obr.186 Školní váha Lit. 32

V roce 1831 vyšla v Praze tiskem sbírka mědirytin, která byla přílohou vysokoškolské učebnice tehdejšího Polytechnického institutu (předchůdce nynějšího ČVUT Praze). Rytiny ukazují provedení vahadla vah s břitovým ložiskem, které zaručovalo malou ztrátu třením (Lit.7,Obr.187,188). Vahadlo s takovým uložením vidíme také na váze Obr.190. Dva příklady provedení pružinových vah jsou uvedeny na Obr.191,192. Vůz s nákladem na Obr.189 je tažen koněm, jehož postražky jsou připevněny k oku váhy. Druhé oko váhy táhne vůz. Číselník visí pod pružinou (šipka). Smyslem praktického pokusu bylo změřit sílu, kterou musí kůň při tažení vozu vynaložit (viz také Obr.160).



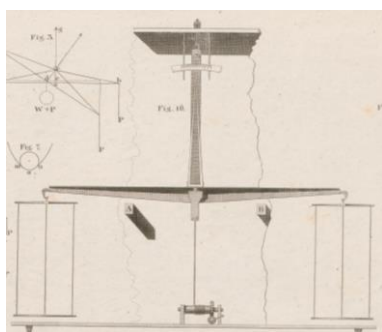
Obr.187 Vahadlo s břitem



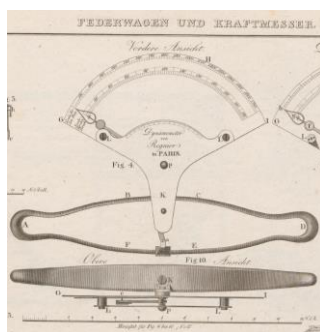
Obr.188 Břit Lit.7



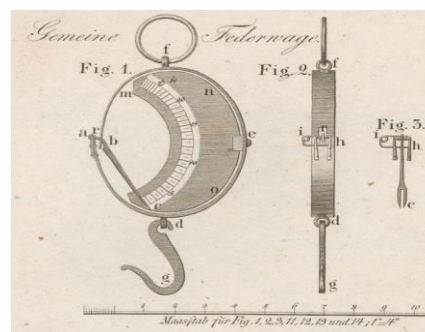
Obr.189 Pružinová váha k zjištění tažné síly koně



Obr.190 Vahadlová váha r.1831



Obr.191 Pružinová váha



Obr.192 Pružinová váha do obchodu

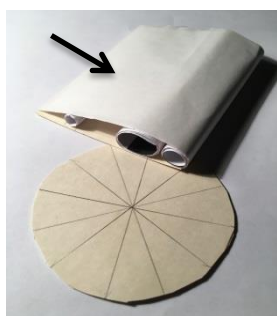
## 12. Váha nám napoví proč se letadlo vznese

\*\*\*\*\*

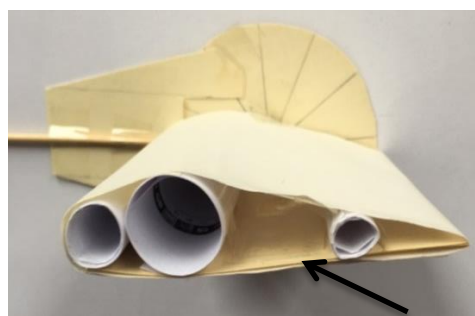
K pokusu budeme potřebovat malý model křídla motorového letadla. Můžeme postupovat tak, že nejdříve svineme z papíru tři trubičky. Do poslední vrstvy papíru trubiček slabě naneseleme lepidlo aby trubičky měly potřebnou pevnost. Trubičky nalepíme na tvrdší papír ve tvaru obdélníka (šipka Obr.193,195). Lepený spoj můžeme ještě zlepšit páskami z průhledné kancelářské lepenky, kterými připevníme trubičky k tvrdému papíru. Tenký papír nám poslouží jako potah křídla (Obr.194 šipka). Tenkým papírem opatrně ovineme model a konec papíru přichytíme lepicí páskou. Připravíme si kruhový terčik z tenkého kartonu, který úsečkami rozdělíme na 12 segmentů po 30° úhlových. Model křídla nalepíme na terčik, můžeme ho ještě doplnit o ukazovátko z krátké dřevěné špejle (Obr.195).



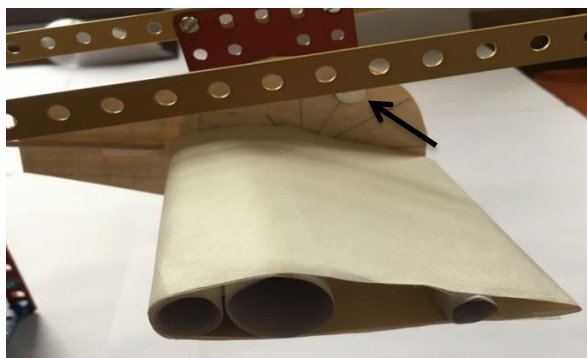
Obr.193 Model křídla letadla



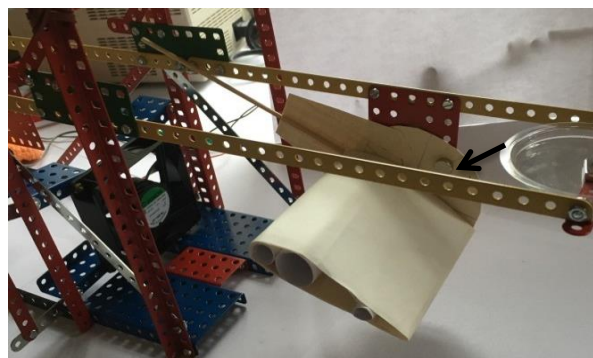
Obr.194 Model křídla



Obr.195 Model křídla na terčiku

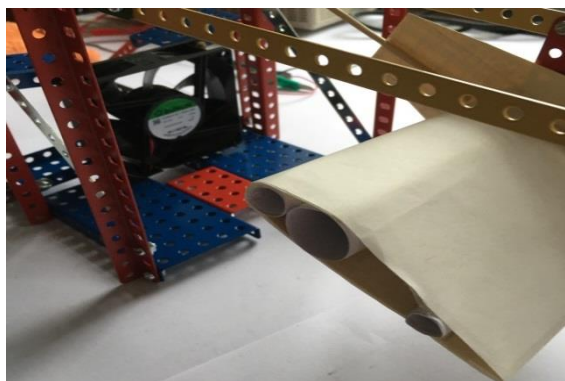


Obr.196 Model křídla letadla upevněný na váze

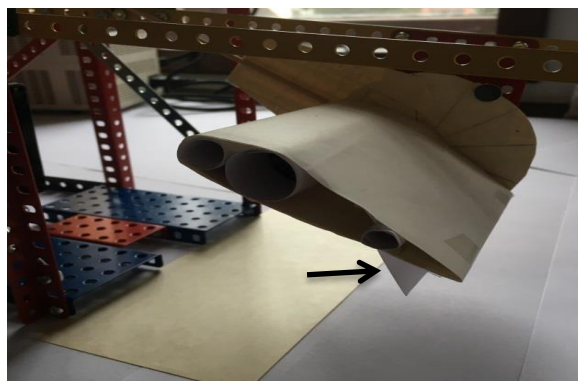


Obr.197 Model křídla letadla upevněný na váze

Model křídla upevníme k ocelové váze pomocí magnetů (Obr.196,197 šipka).



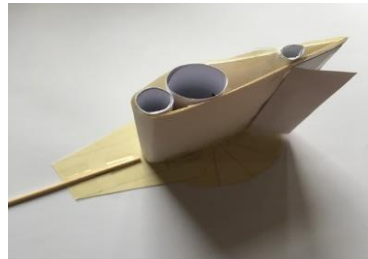
Obr.198 Model křídla bez vztlakové klapky



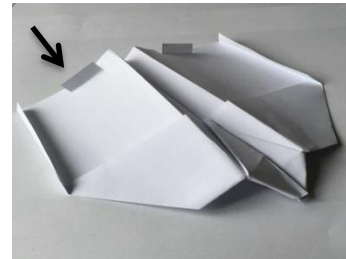
Obr.199 Křídlo s vysunutou vztlakovou klapkou



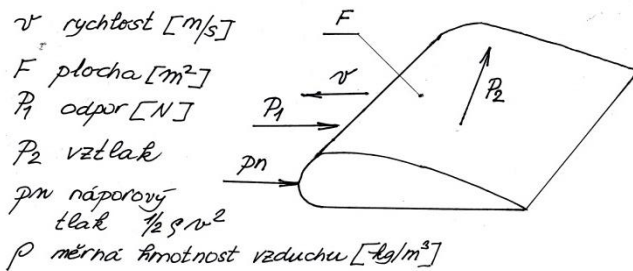
Obr.200 Terčik s ukazatelem náklonu



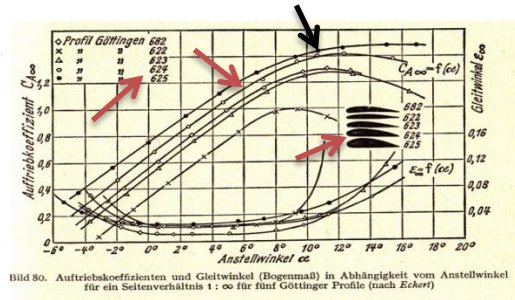
Obr.201 Vysunutá klapka



Obr.202 Letadélko „vlašťovka“



Obr.203 Model křídla s profilem Göttingen „624“



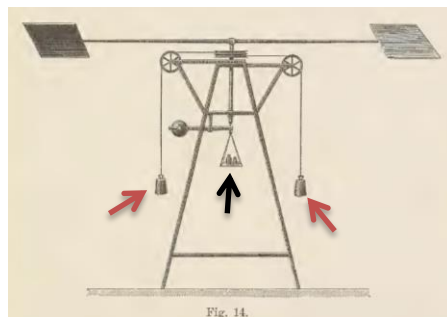
Obr.204 Tabulka součinitelů vztlaku

**HT** Tvar modelu křídla nebyl zvolen náhodně. Přibližně odpovídá historickému profilu „624“, který je včetně grafů citován ve starší odborné literatuře (červené šipky, Obr.204, Lit.47,41). U profilu „624“ je nejvyšší vztlak dosahován při náklonu křídla o 15° (černá šipka). Takový náklon křídla zvolíme u našeho modelu, součinitel vztlaku byl v grafu odečten ve výši cca  $CA=1,4$ . Při náklonu modelu 0° je součinitel vztlaku  $CA=0,6$ . Součinitel  $CA$  udává jakým násobkem náporového tlaku je vztlakový tlak  $P_2$  (Obr.203). Poměr obou součinitelů je  $k=0,6/1,4=0,43$ . Tolik údaje z historické literatury. Nyní můžeme přistoupit k měření vztlaku na modelu a zjistit v jakém poměru bude vztlak modelu křídla při náklonu 0° a 15°. Přestavováním modelu do obou náklonů a vážením obou vztlaků při běhu ventilátoru byl zjištěn poměr cca 0,34. Mezi amatérsky zjištěnými přibližnými údaji a údaji z historického měření v aerodynamickém tunelu není dobrá shoda (0,43 vs 0,34). To nás nepřekvapilo, malý model totiž nemá dokonalost profesionálního měření ve velkém tunelu.

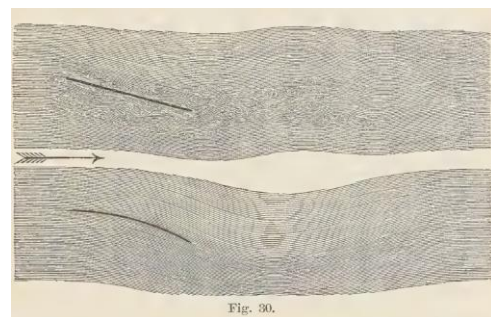
Přenesme se nyní do poslední třetiny 19. století, do doby počátků bezmotorového létání. K předním průkopníkům létání, ale hlavně prvních měření na velkých modelech, patřil německý technik a podnikatel Otto Lilienthal (\*1848 +1896, Obr.205, Lit.28). Na obr.206 vidíme kresbu jeho přístroje o délce ramen 7 metrů na kterém měřil vztlak rotujících desek a zahnutých tenkých profilů křidel z plechu. Červené šipky ukazují na klesající závaží, která udržovala roztáčením přístroj v chodu.



Obr.205 Lilienthal

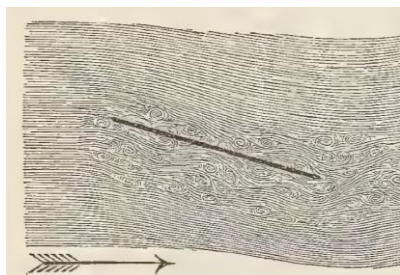


Obr.206 Příklad přístroje k měření vztlaku

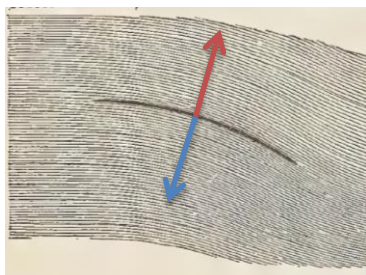


Obr.207 Proudění kolem profilů křídla

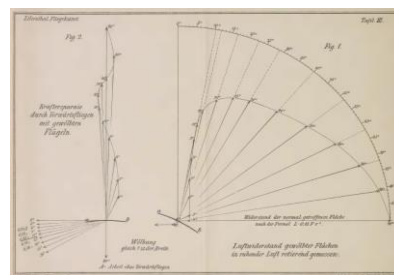
Černá šipka ukazuje na závaží, která vyvažovala vztlak dvou plochých modelů křídel. Svoje výsledky vyjádřil Lilienthal graficky proudnicemi (Obr.207 – Obr.209), které obtékaly profil křídla. Lilienthal jako technik rozpoznal hlavní složku vztlaku tenkých plechových profilů ve tvaru výseče kružnice nebo kvadratické paraboly. Byla jí odstředivá síla a reakce k ní, způsobené zrychlením pohybu vzduchu vespod podél zakřiveného profilu (Obr.209,215).



Obr.208 Proudnice kolem desky



Obr.209 Akce a reakce



Obr.210 Polární diagram profilu

Číselné výsledky svých měření vynášel Lilienthal do jím navržených polárních grafů. Tento způsob ukazování vztlkových a náporových součinitelů profilu v závislosti na úhlu náklonu se udržel dosud.

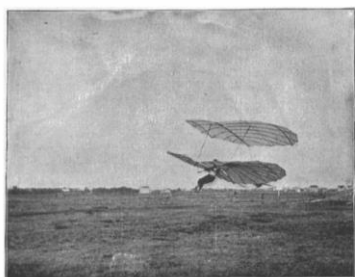


Fig. 3 OTTO LILIENTHAL'S LATEST FLYING MACHINE

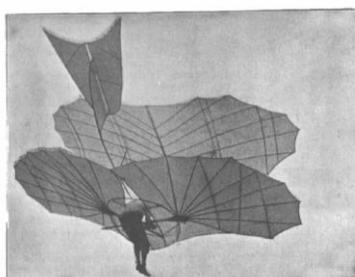
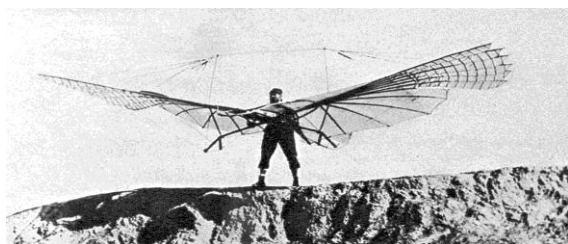


Fig. 4



Fig. 2

Obr.211,212,213 Pokusné bezmorumé lety kluzákem Otto Lilienthala (Lit.36)



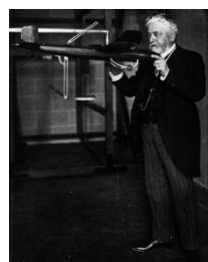
Obr.214 Otto Lilienthal před startem

teilt werden. Dergleichen schwache Parabelbögen und Kreisbögen sind einander zwar sehr ähnlich, jedoch lässt sich die Parabelform des Vogelflügel-Querschnittes noch nachweisen.  
Der nach unten gerichtete Bestandteil der lebendigen Kraft der Luftteilchen nach Verlassen der Fläche ist maßgebend für den nach oben gerichteten auf die Fläche ausgeübten Druck. Die Luft verlässt aber die gewölbte Fläche in möglichst geordneter Masse, und wird vermöge der ihr erteilten größeren nach unten gerichteten lebendigen Kraft noch viel weiter nach unten gehen; also eine vertikale Luftbewegung wird eintreten, welche beträchtlich mehr ausgedehnt ist, als die Projektion der Fläche nach der Windrichtung.

Obr.215 Hlavní složka vztlaku (Lit.28 s.83)



Obr.216 G.Eiffel



Obr.217 G.Eiffel



Obr.218 Aerodynamický tunel (r.1910)

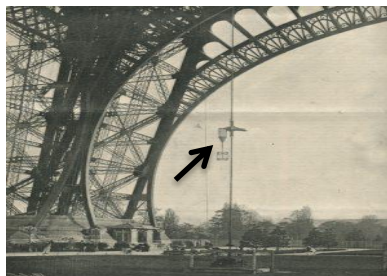


Obr.219 G.Eiffel

Konstruktor a vynálezce Gustav Eiffel zkoumal aerodynamický odpor těles od roku 1903 (Obr.216).



Obr.220 Spouštění modelů



Obr.221 Pád modelu kužele

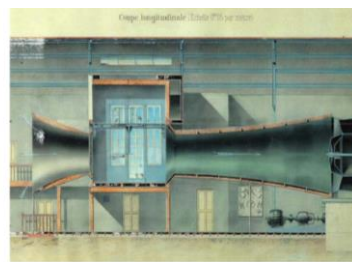


Fig. 4. Watercolor drawing of the Eiffel wind tunnel located in the rue Boileau (© Aérodynamique Eiffel).

Obr.222 Výkres Eiffelova tunel

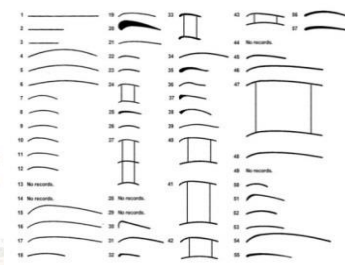
Využil k tomu pád modelů těles podél pevného svislého vedení, které bylo zřízeno u jím navržené ocelové věže v Paříži. K tělesům patřily také kužele bez dna o průměru až 400mm, které jsou dobře vidět na Obr.220,221. Eiffel později navrhnul a nechal v Paříži postavit první aerodynamický tunel (Obr.218,219,222). Výsledky svých rozsáhlých měření vydal knižně v roce 1910 (Lit.63).



Obr.223 Váhy a zkušební tunel – Wright Brothers

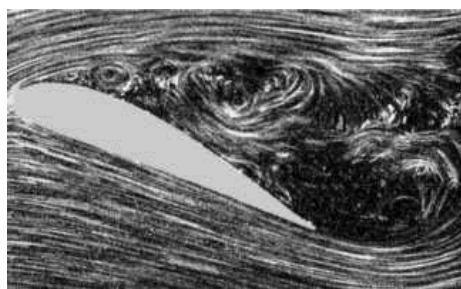


Obr.224 Váha

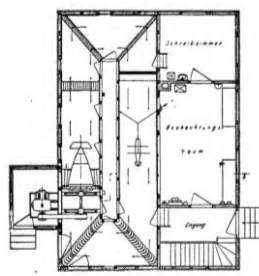


Obr.225 Měřené profily křídel

V USA bratři Orville a Wilbur Wrightové uskutečnili první motorový pilotovaný let v roce 1903. Ke zkoumání vzlaku a vhodnosti profilů křídel (Obr.225) sloužil jimi zhotovený malý aerodynamický tunel, který byl vybaven složitými váhami k měření složek vzlaku ve více místech (Obr.223,224).



Obr.226 Obtékání křídla (Lit.41 r.1922)

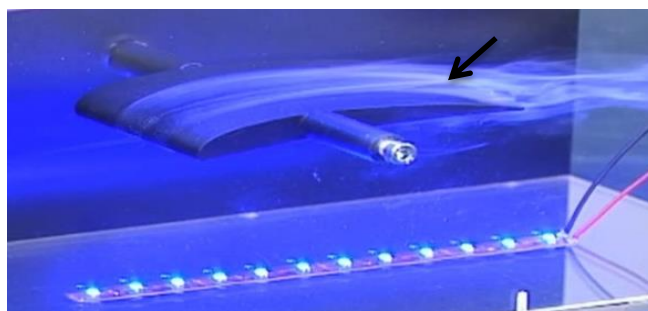


Obr.227 Tunel r.1922



Obr.228 Bernoulli

Aerodynamické tunely dosáhly brzo značných rozměrů, jak ve vidět na Obr.222,227 (Lit.63,41).Tehdy nové profily křídel se vyznačovaly další významnou složkou vzlaku, kterou působil Bernoulliho jev (Obr.228). Bylo zjištěno, že na přední části horního povrchu křídla vzniká podtlak v důsledku vyšších rychlostí vzduchu při obtékání horní plochy. V zadní části horní plochy bylo brzy zjištěno vířivé proudění (Obr.230). Bernoulliho jev lze ukázat vnuceným rychlým proudem vzduchu mezi dvěma visícími listy papíru. Listy se v důsledku podtlaku kupodivu přiblíží k sobě (Obr.228).



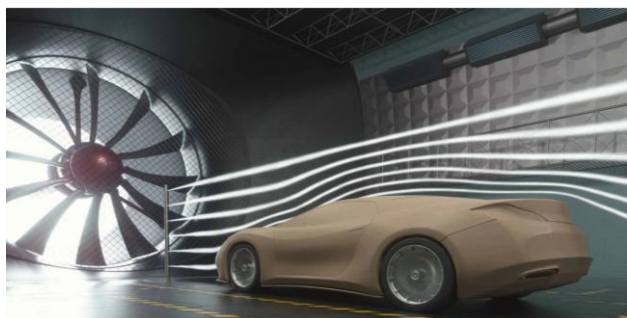
Obr.229 D.Bernoulli Obr.230 Oblast vířivého proudění nad profilem křídla Obr.231 I.Newton

Vztlak na křídle byl a dosud je zdůvodňován pomocí poznatků z fyziky, jejichž autory byli v 18.století Isaac Newton a Daniel Bernoulli (Obr.229,231). V moderních aerodynamických tunelech lze zviditelnit víry v úplavu za křídlem (Obr.233). Brzdící klapky jsou u letadel (Obr.232) podobné těm vztlakovým u dětských modelů letadélek „vlaštovek“ (Obr.202).

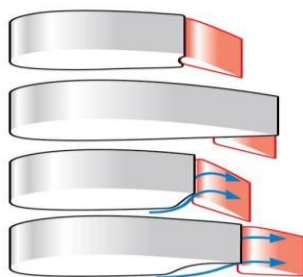


Obr.232 Vztlakové a brzdící klapky letadla

Obr.233 Vířivá stezka v úplavu za křídlem



Obr.234 Zviditelnění proudnic pomocí proužků kouře Obr.235 Křídlo v oblasti největšího vztlaku



Obr.236 Vztlakové klapky křídla

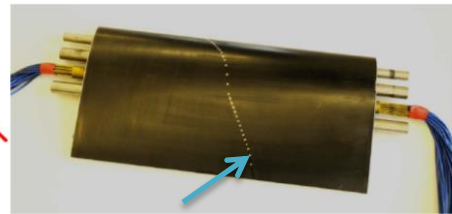
Obr.237 Druhy klapek

Obr.238 Vztlakové klapky křídla

V tunelech je možno pomocí kouře usoudit na plynulé obtékání karoserií automobilů (Obr.234,239).



Obr.239,240 Současné velké aerodynamické tunely



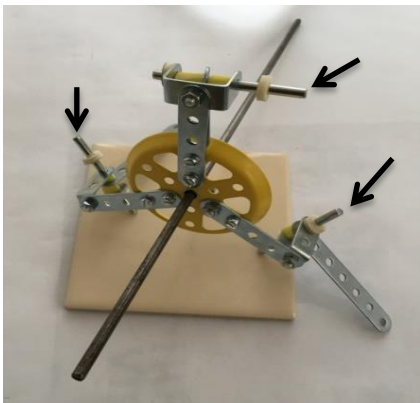
Obr.241 Měření podtlaku křídla Lit.60

Aerodynamické zkušební tunely mají v současnosti značné rozměry (Obr.240). Ke zkoumaným jevům patří také měření průběhu statických tlaků na horní straně křídel. Na Obr.241 vidíme otvory k odběru tlaku a napojené hadičky, které vedou z vnitřku aerodynamického tunelu do oddělené měřicí ústředny. Měřený díl je modelem části křídla současného dopravního letadla Airbus A319 (Lit.60 r.2025).

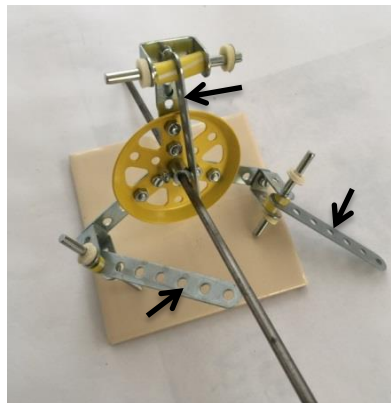
### 13. Kolotoč ukazuje odstředivou sílu

\*\*\*\*\*

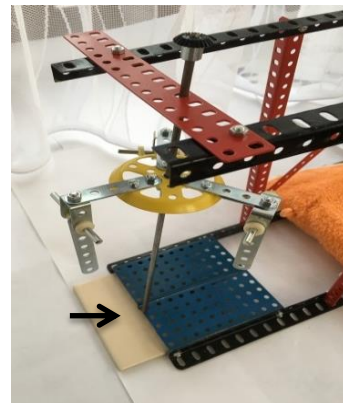
Určitě si dobře vzpomeneme jak nás odstředivá síla táhla ven z kolotoče mezi diváky. Ještě důležitější byla jízda na řetězovém kolotoči anebo dokonce na horské dráze. Příčiny nám pomůžou odhalit následující pokus. Budeme k němu potřebovat ocelové díly stavebnice (Obr.242-Obr.244).



Obr.242 Model kolotoče

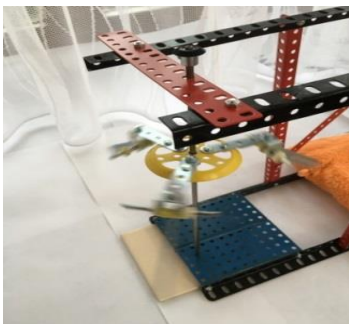


Obr.243 Model kolotoče

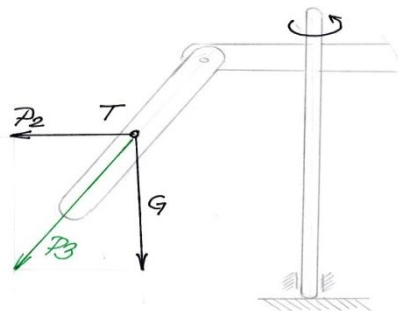


Obr.244 Upevnění kolotoče

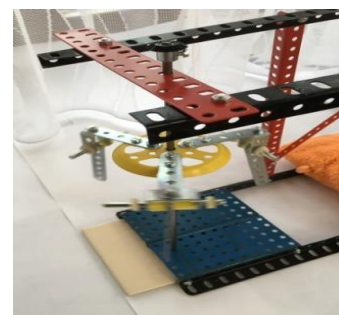
Hřídelku provlečeme kolem, na obvod kola připevníme pomocí šroubků ocelové díly stavebnice. Na konec dílů budou navlečeny tři krátké hřídelky (obr.242 šipky). Model kolotoče ještě doplníme třemi výkyvnými raménky (Obr.243 šipky). Kolotoč pak upevníme do stojanu. K dosažení malého tření se hřídelka bude otáčet na povrchu keramické dlaždice (Obr.244 šipka). Kolotoč na zkoušku roztočíme.



Obr.245 Kolotoč se rozbíhá



Obr.246 Síly působící na model kolotoče



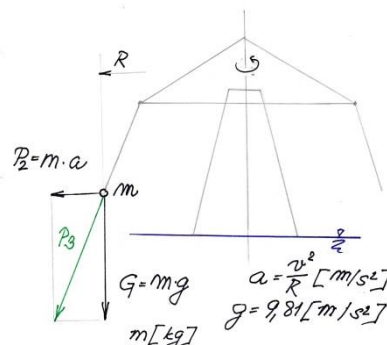
Obr.247 Kolotoč se zastavuje

Při rozběhu kolotoče se výkyvná raménka budou zvedat (Obr.245) podobně, jako u velkého řetízkového kolotoče (Obr.248). Důvodem je působení tíhové přitažlivosti Země, která se projevuje tíhou „G“ (Obr.246). Zároveň na ocelová raménka působí v těžišti odstředivá síla označená „P2“.

**HT** Obě síly v součtu působí v těžišti raménka jako síla „P3“ (Obr.246). Na děti sedící na sedačkách na řetízkovém závěsu působí síly podobně (Obr.248,249). Síly jsou způsobovány zrychlením zemské tíže „g“, v důsledku otáčení kolotoče navíc ještě odstředivým zrychlením „a“ (Obr.249). Zrychlení „a“ se zvyšuje s otáčkami kolotoče a sice s druhou mocninou obvodové rychlosti „v“.



Obr.248 Kolotoč v moři na mělčině – USA kolem roku 1920

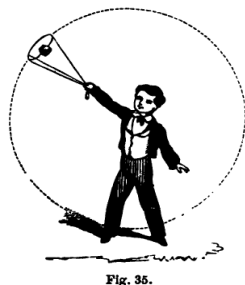


Obr.249 Síly působící na kolotoči



Obr.250,251,252 Působení zemské tíže a odstředivé síly na zábavních kolotočích

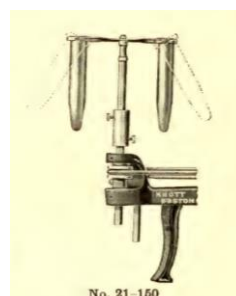
Sílu vznikající při otáčení si děti mohly ověřit pokusem podle nákresu v knize z roku 1860 (Obr.253, Lit.14). Pro školní kabinety byl v 19.století určen přístroj s dvojicí kulových závaží, poháněný pomocí kliky a řemínku (Obr.254). Podobný model určený pro školy v USA najdeme v katalogu z roku 1912 (Obr.255, Lit.38).



Obr.253 Model r.1860



Obr.254 Školní přístroj – odstředivá síla

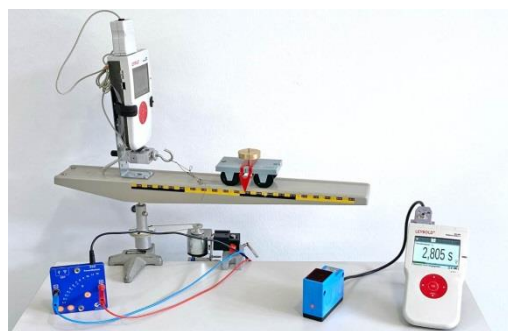


Obr.255 Přístroj (r.1912)

Snímek na Obr.256 ukazuje přístroj na kliku opatřený posuvným závažím. Moderní přístroje pro školy mohou být vybaveny měřením sil, které působí na vozík při rotaci ramene (Obr.257, rok 2025).

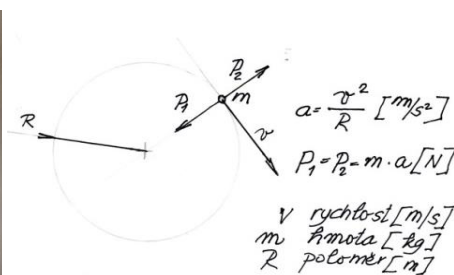
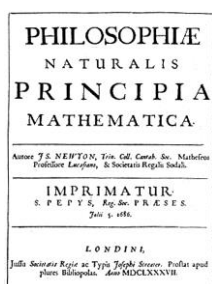


Obr.256 Školní přístroj pro dokázání odstředivé síly



Obr.257 Experiment- měření odstředivé síly

**HT** Fyzikálně objasnil zákon akce a reakce Isaac Newton ve své knize „Principia“ vydané prvně v roce 1687 (Obr.258,259). Návod jak vyčíslit odstředivé zrychlení při pohybu bodu po kružnici pochází ze 18.století od fyzika Christiaana Huychense, v současné formulaci je vztah zapsán na Obr.261.

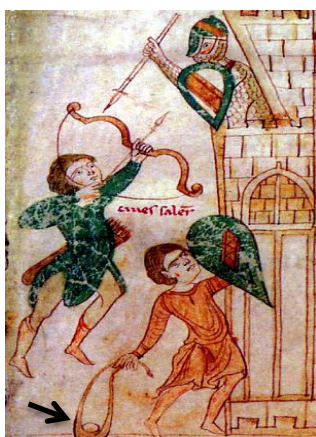


Obr.258,259 Principia – Isaac Newton Obr.260 Ch. Huychens Obr.261 Odstředivá síla a zrychlení

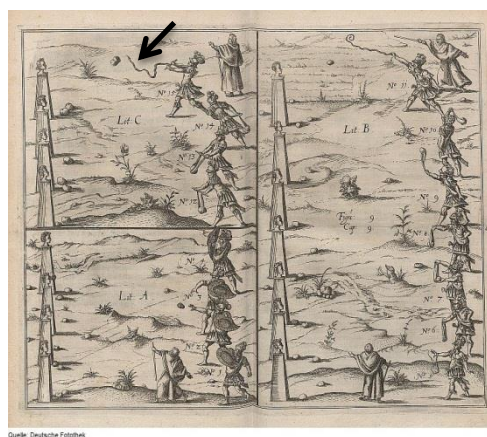
Odstředivou sílu využívali římsí vojáci ve válkách, jak o tom svědčí reliéf s dobře viditelným prakem na Trajánově sloupu postaveném r.113 v Římě. Metací prak byl užíván také ve středověku (Obr.263). Mědirytina z roku 1616 ukazuje jednotlivé fáze vojenského výcviku v ovládnání praku (Obr.264).



Obr.262 Prak Trajánově sloupu



Obr.263 Prak v roce 1196



Obr.264 Výcvik v ovládnání praku (r.1616)

#### 14. Plechové mobily spojené ocelovým drátem

\*\*\*\*\*

Prakticky se ukázalo, že název mobil není vhodné v případě toho pokusu použít. Vzniká totiž dojem, že bude ukázáno něco podobného jako je současný mobilní telefon, se vši grafikou, fotoaparátem, videokamerou atd. Vhodnější název je ukázka přenosu zvuku po drátě. K pokusu připravíme dvě nejlépe ocelové krabičky, ocelový drát dlouhý asi 15 metrů a dva hřebíky (Obr.265,266). Krabičky z hliníku a měděný drát jsou méně vhodné, měkčí materiál totiž způsobuje útlum zvukových vln.



Obr.265 Součásti „mobilu“

Obr.266 Sestrojíme přenosný „mobil“

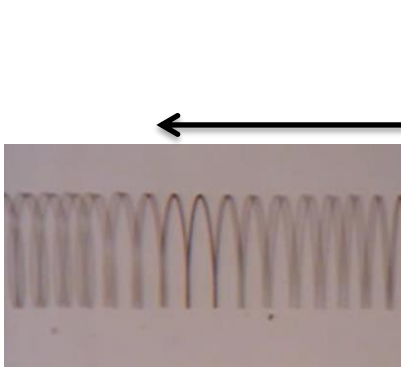
Obr.267 Upevnění drátu

Do dna krabiček prorazíme otvory, skrz oba otvory provlékneme drát, který uvážeme pevně na hřebíky. Oba účastníci hovoru na volném prostranství napnou drát, přitom dbají, aby se drát nedotýkal trávy nebo keřů. Je vhodné držet krabičky prsty za okraj, aby nenastal útlum přenosu.



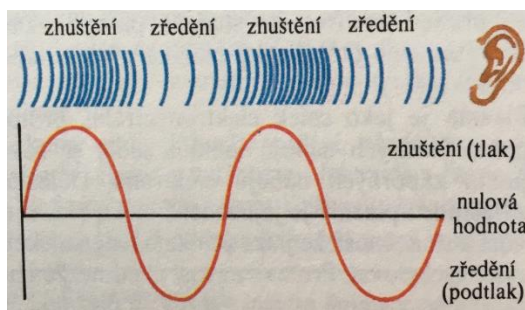
Obr.268-272 Snímky ukazují jisté potíže při navazání hovoru pomocí „mobilu“ s drátem

Při troše dobré vůle a zřetelné výslovnosti uslyší příjemce slabý hovor (Obr.272) vysílaný protěžší krabičkou (Obr.268). Zvuk je přenášen podélným vlněním v ocelovém drátu. Symbolicky je vlnění modelováno pohybem pružiny na Obr.273.



Obr.273 Podélné vlnění

Obr.274,275 Podélné zvukové vlnění v drátu bytlo tlumené

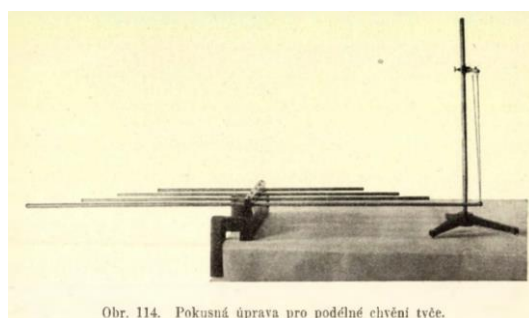
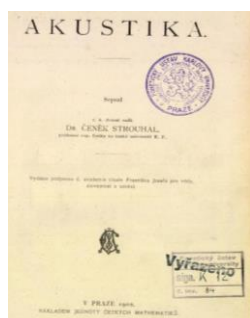


Obr.276 Je nutno mluvit hlasitě

Obr.277 Podélné zvukové vlnění v drátu

Obr.278 Slyšet bylo

**HT** Podélné vlnění bylo již v 19.století předmětem četných pokusů. Jeden laboratorní pokus spočívající v nárazu na závěsu visící kuličky na konec podélně vibrující tyče je vidět na Obr.280. Experiment byl uveden v učebnici „Akustika“, která byla napsána profesorem Strouhalem a byla vydána v Praze roku 1902 (Obr.279).



Obr.279 Titul Lit.1902

Obr.280 Experiment s podélnými vibracemi

### 15. Kompas z hřebíku a korkové zátky

\*\*\*\*\*

Jednoduchý kompas můžeme sestavit sami z hřebíku, korkové zátky a průhledné lepicí pásky. Zátku opatrně rozřízneme na dvě poloviny. Pomocí průhledné pásky přilepíme hřebík k zátce (Obr.281). Potom vezmeme jeden nebo více silných magnetů a třením zmagnetujeme konec hřebíku(Obr.282).



Obr.281 Hřebík

Obr.282 Magnetizace hřebíku pomocí magnetů

Obr.283 Kompas ukazuje stejně

Tím magnetické vlastnosti přeneseme na obyčejný hřebík. Dál naplníme malou misku vodou a náš kompas položíme na hladinu. Vedle misky položíme opravdový kompas a budeme sledovat, jestli budou oba ukazovat stejným směrem. Pokud tomu nebude tak, pak jsme nejspíš hřebík magnetovali nesprávnou stranou (pólem) magnetu. Zkusíme další hřebík magnetizovat druhou stranou magnetu a pokus provedeme znovu.

**HT** Kompas byl minulosti nezbytný pro plavbu na moři. Nejstarším středověkým záznamem je listina z roku 1269 (Lit.30). Nákresem a slovním popisem je v ní popsána funkce kompasu tehdy lodníky používaného (Obr.284,285). K sestavení kompasů byl používán nerost magnetit, který má vlastnosti magnetu. Na Obr.286 vidíme takový magnet v pouzdře s nástavci vyobrazený v latinsky psané knize nazvané „De magnete“ z roku 1600 (Lit.1). Schopnost přírodního magnetitu přidržovat ocelové hřebíky je patrná ze snímku na Obr.287. Ocelové předměty lze kromě třením zmagnetizovat také magnetickým polem cívky, kterou protéká stejnosměrný elektrický proud. Směr proudu a severní pól magnetu (N) jsou patrné z kresby v knize z roku 1876 (Lit.18).



Abb. 170. Kompas nach Pierre de Maricourt, 1269.

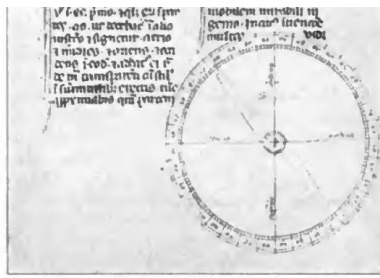
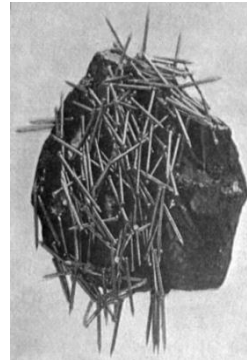


Abb. 170. Kompas nach Pierre de Maricourt, 1269.

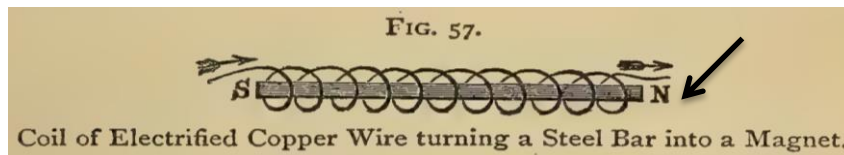


Obr.286



Obr.287 Magnetit

Obr.284,285 Kompas v rukopise z roku 1269



Obr.288 Magnetizace ocelové tyčinky pomocí cívky a proudu ( Lit.18)

### 16. Magnet rovná ocelové třísky do ježka

\*\*\*\*\*



Obr.289 - 291 Prostorové upořádání ocelových třísek na kulovém magnetu

K pokusu budeme potřebovat magnet ve tvaru kuličky anebo válečku, plastovou misku a ocelové

třísky nebo ocelové tenké hřebíčky. Průměr našeho magnetu ve tvaru koule je 10mm. Třísky dáme do misky a magnet pod miskou. Pohybem magnetu můžeme získat rozmanité prostorové uspořádání třísek. Pokus budeme provádět na stole a ne nad kobercem. Při oddálení magnetu se totiž mohou třísky z misky vysypat na zem.



Obr.292 Severní pól je nahoře

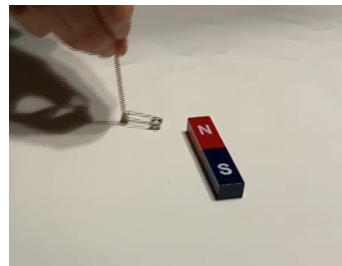
Obr.293,294 Kulový magnet s osou pólů rovnoběžně z rovinou



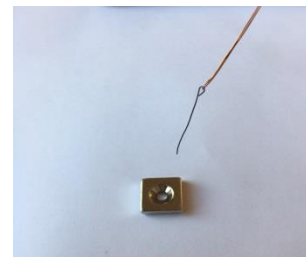
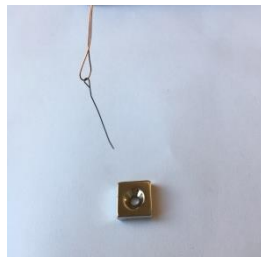
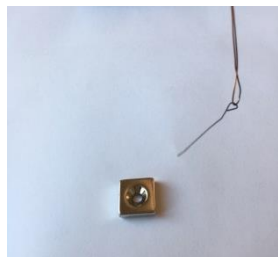
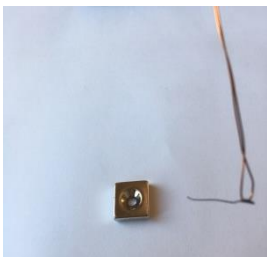
Obr.295 Kulový magnet



Obr.296 Magnetit

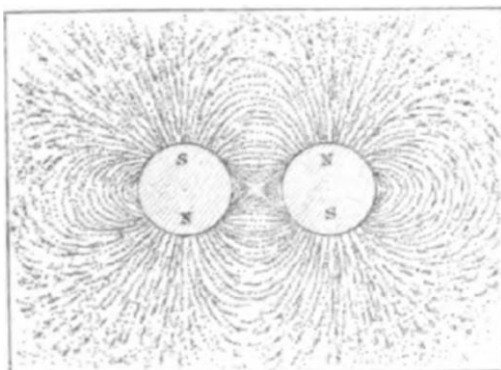


Obr.297 Hledání silokřivek

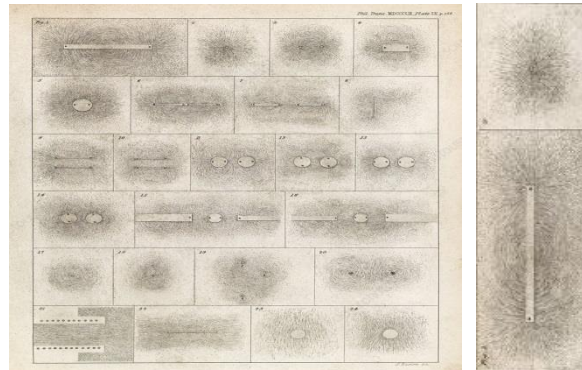


Obr.298 – Obr.301 Vyhledávání silokřivek v prostoru kolem magnetu pomocí ocelového drátku

**HT** Významný britský fyzik Micheal Faraday (\*1791 +1867) zkoumal magnety v první polovině 19.století. Myšlenka znázornit neviditelné silové pole magnetu silokřivkami pochází právě od něj.



Obr.302 Silokřivky kolem magnetů

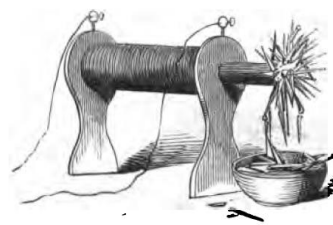


Obr.303,304 Nákresy silokřivek - Faraday r.1852

Nákresy silokřivek mezi jižními a severními póly magnetů pocházejí z jeho publikace „Experimental Researches“, kterou Faraday vydal v roce 1855 (Obr.302,Lit.13). Další výkresy silokřivek vidíme na mědirytinách na Obr.303,304. Část vybavení laboratoře, kde pracoval Faraday, se zachovala v Londýně dodnes (Obr.305). Silokřivky můžeme modelovat i za použití elektromagnetu (Obr.306).



Obr.305 Faraday's Laboratory – The Royal Institution , London



Obr.306 Ježek na elektromagnetu

## 17. Magnet v krabice

\*\*\*\*\*



Obr.307 Zkoumáme magnet



Obr.308 Magnet v krabice



Obr.309 Magnet v krabice

Magnet v plastovém kelímku a schovaný uvnitř papírové krabičky působí na ocelové předměty. Plast a papír nepředstavují pro magnetické siločáry překážku. Jestlipek je možné naopak schovat magnet tak, aby ho nebylo možné poznat ? K pokusu připravíme krabičky z oceli a hliníku, tenkou hliníkovou foii a kousky plechu z mědi. Nejdřív složíme pruh papíru a hliníkové folie a zkusíme do nich magnet zavinout (Obr.310). Magnet schovaný ve svitku však působil bez problému na ocelový díl stavebnice (Obr.311). Zkusíme magnet schovat do ohrady z měděného plechu, ale ani to nepomohlo (Obr.312). Kampas také ukazuje na magnet před ním ukrytý v hliníkové krabice (Obr.313).



Obr.310,311 Zavinutí magnetu do alobalu,papíru



Obr.312 Magnet a měď



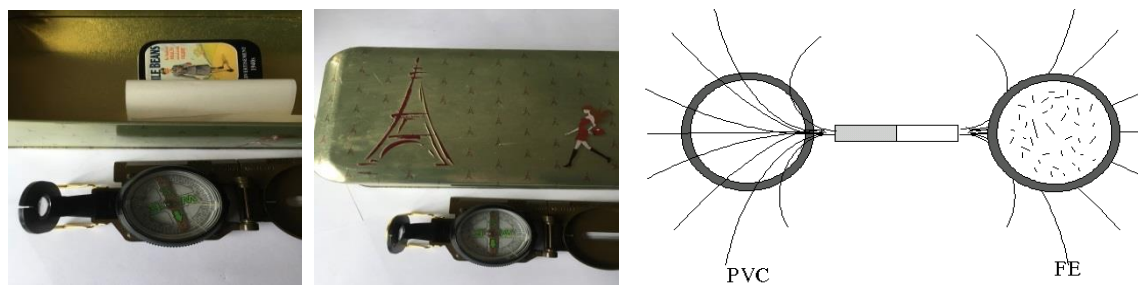
Obr.313 Magnet a hliník



Obr.314,315 Magnet v dvojité ocelové krabici Obr.316,317 Magnet v dvojité ocelové krabici

Schovat magnet do dvou otevřených krabiček z ocelového plechu už byl lepší nápad. Nedaleko ležící kompas nepozná, že je magnet blízko něj (Obr.314,315). Pokud ale kompas položíme blíž ke krabičkám nastane změna (Obr.317). Střelka kompasu ukáže na schovaný magnet. Zavření obou krabiček víčkem nám mnoho nepomůže, kompas stále ukazuje směrem k blízko ukrytému magnetu (Obr.319).

**HT** Plasty, jako je třeba PVC, stíní magnetické pole v porovnání s ocelí jen nepatrně (Obr.320).



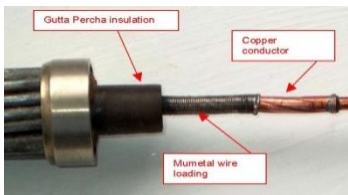
Obr.318,319 Magnet v zavřených ocelových krabičkách Obr.320 Stínění PVC a železem

K účinnému stínění proti účinkům magnetického pole pomáhá užití běžné nízkouhlíkové oceli. Tloušťka plechu však musí být větší než je tomu u krabiček použitých při našem pokusu. Přístroje nebo celé místnosti musí být obloženy velmi těsně, aby se magnetické pole nešířilo štěrbinami.



Obr.321 Stínění místnosti Obr.322 Stínící pouzdra Obr.323 Stínění celé budovy

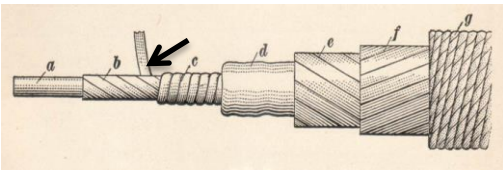
Zvláště účinné je použití slitin, které magnetické pole stíní lépe než běžná ocel. Vhodným materiálem je slitina Permalloy (Mu-kov) o složení cca 76-80% nikl, 15-16% železo, 4-5% měď a 2-3% chrom nebo molybden. Prvním použitím doznala tato slitina při výrobě podmořského telegrafního kabelu, který byl položen na trase USA – Azory – Itálie v roce 1924. Snímek z pokládání kabelu vidíme na Obr.325. Kabel byl opatřen navinutou stínící páskou ze slitiny Permalloy (Obr.326). Na pásku ukazuje dolní šipka na Obr.324. Páska omezila účinky magnetického pole a umožnila zvýšit rychlost přenosu telegrafních signálů na trojnásobek (Lit.2025). Tím byl umožněn přenos daleko vyššího počtu telegramů, ve srovnání s dřívějšími možnostmi.



Obr.324 Podmořský kabel



Obr.325 Pokládání kabelu



Obr.326 Výkres podmořského kabelu

### 18. Měděná trubka brzdí padající magnet

\*\*\*\*\*



Obr.327 Měděná instalační trubka s magnetem a maticí



Obr.328 Měděná trubka

K pokusu budeme potřebovat měděnou instalatérskou trubku, která se používá na rozvody teplé vody a ústředního topení. Naše trubka měla délku 240mm a vnitřní průměr 13 mm, síla stěny byla 1mm. Dále jsme měli silné neodymové magnety ve tvaru válce a koule o průměru 10mm. Také se bude hodit mosazná nebo ocelová maticka podobných rozměrů. Pokus byl proveden tak, že jeden účastník držel trubku a spouštěl maticku a magnety do trubky(Obr.341). Druhý účastník stiskl na signál „start“ tlačítko stopek na mobilním telefonu. Sledováním více průchodů těles trubkou byly zjištěny tyto průměrné časy pádu: asi 1,4 vteřiny pro magnet-váleček, přibližně 1,7 vteřiny pro magnet-kuličku, nakonec průměrný čas asi 0,22 vteřiny pro volný pád mosazné maticky. Poznali jsme, že nejpomalejší byl pád magnetu ve tvaru kuličky (Obr.331).



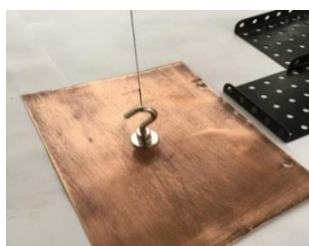
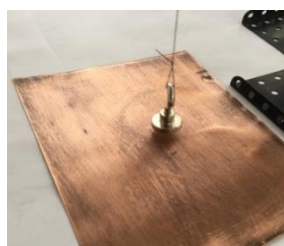
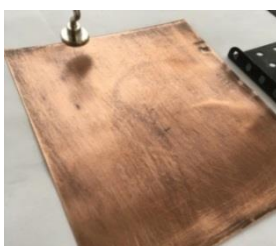
Obr.329 Matice



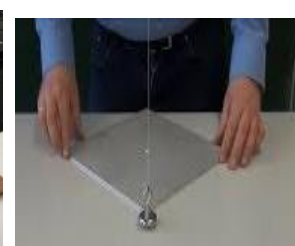
Obr.330,331 Měděná trubka a dva magnety



Obr.332 Kyvadlo s magnetem

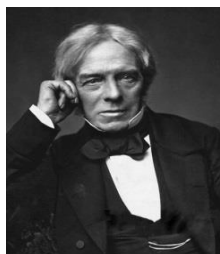


Obr.333 – Obr.335 Magnet míjející těsně povrch měděného plechu

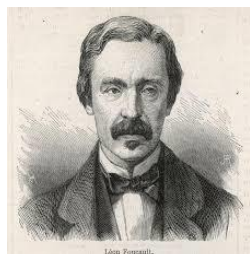


Obr.336 Hliníkový plech

K doplnění pokusu jsme ještě nechali v těsné výšce nad měděným plechem kývat jiný silný neodymový magnet zavěšený na niti (Obr.333-Obr.335). Zjistili jsme, že kývání nad plechem skončilo dřív nežli stejně zahájené kývání nad dřevěnou deskou stolu. Plech nemusí být jen z mědi. Hliníkový plech umí tlumit kývání magnetu také (Obr.336). Během pokusu jsme zřetelně viděli, že magnet byl plechem nějakou skrytou silou v kývání omezen.



Obr.337 M.Faraday



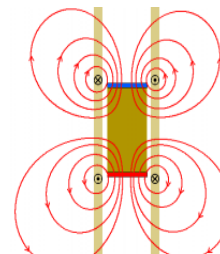
Obr.338 L.Foucault



Obr.339 G.Lenz

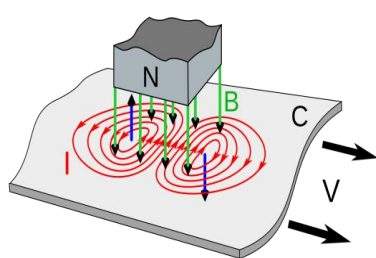


Obr.340 F.Arago



Obr.341 Pád magnetu

**HT** Vzájemné působení magnetu a kovů za pohybu bylo v 19.století předmětem zájmu hned několika významných fyziků. Pokusem v roce 1824 Francois Arago objevil, že rotující měděný disk unáší na ložisku volně uložený permanentní magnet. Jev existuje i naopak a sice tak, že rotující magnet za sebou unáší volný měděný disk (Obr.343, 344, Lit.10). Faraday v roce 1831 na základě svých pokusů poznal, že pohyb magnetu v cívice vyvolá ve vodičích cívky elektrický proud. Lenz dospěl roku 1834 k závěru, že indukovaný elektrický proud vyvolá v desce magnetické pole, které brzdí pohyb magnetu (Obr.342). Leon Foucault objevil v roce 1855 závislost mechanického odporu rotujícího měděného kotouče na intenzitě magnetického pole, které kotoučem procházelo. Také objevil, že indukované vířivé proudy brzděný kotouč zahřívaly. Foucaultův objev brzdění se využívá v 21.století u elektromagnetických brzd, které jsou použity například u vlaků (Obr.346,347). Elektromagnety mohou brzdit vlaky a tramvaje také přímo třením při silném kontaktu s kolejnicí (Obr.345 šipka).



Obr.342 Indukce proudu do desky

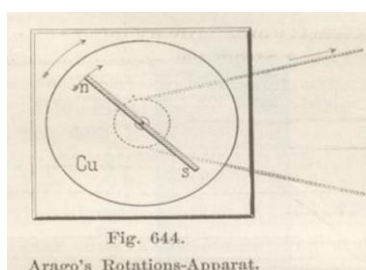


Fig. 644. Arago's Rotations-Apparat.



Obr.344 Aragův rotační aparát



Obr. 345 Třecí brzda vlaku



Obr.346,347 Indukční brzda vozidla

## 19. Magnet na měděné skluzavce

\*\*\*\*\*

Další pokus připomíná sáňkování v zimě na zasněženém svahu. Budeme potřebovat kus rovného hladkého plechu z mědi nebo hliníku o rozměrech asi 200x100mm, který na jedné straně něčím podložíme, aby vytvořil šikmou plochu. My jsme sehnali tenký lesklý plech z mědi o tloušťce 0,1mm, který bylo možno nastavit pomocí stojanu se svorkami do šikmé polohy (Obr.349). První závodník byl silný neodymový magnet ve tvaru válečku s velmi lesklým povrchem. Druhým závodníkem byla ocelová matka a třetím mosazná matka. Obě matky byly na čele vyleštěny jemným brusným plátnem (Obr.348 šipka). Start rychlostního závodu byl na počátku dráhy, asi 18 cm nad stolem (Obr.349 šipky vpravo).



Obr.348 Tři závodníci



Obr.349 Měděná skluzavka pro tři závodníky

Výsledky dopadly podle našeho očekávání. Vyleštěné matky byly skoro stejně rychlé. Nejvíc lesklý magnet měl ve sjezdu nejhorší čas. Nejspíš ho na skluzavce brzdí stejná síla, která zpomalovala jeho volný pád skrz měděnou trubku. Zkusili jsme snížit sklon dráhy, aby její horní konec byl asi 6 cm nad stolem. Teď závod nevyhrál nikdo, protože se jim nechtělo jet. Zase je něco brzdilo, ale tentokrát všechny závodníky stejně. Na svahu s nepatrným sklonem sáňky také nejedou, to všichni víme.

**HT** Magnet v kontaktu s povrchem měděného plechu za pohybu vyvolá vířivé Foucaultovy/Lenzovy elektrické proudy, jimi vyvolané magnetické pole brzdí na oplátku pohyb magnetu po skluzavce. Mosazná a ocelová matka žádný elektrický proud v měděném plechu nevybudí, jejich rychlost na skluzavce je proto vyšší. V technických příručkách nalezneme, že součinitel suchého smykového tření za pohybu pro lesklé kovové plochy je cca 0,2 (např. Lit.47). Těleso na šikmé ploše bude v pohybu jen tehdy, když složka síly jeho vlastní tíže rovnoběžná s šikmou plochou bude rovna nebo větší nežli síla třecí. Matematicky vyjádřeno musí být goniometrická funkce tangens úhlu sklonu dráhy vyšší než součinitel suchého tření za pohybu. Na Obr.349 je tangens poměr vzdálenosti šipek vpravo vůči vzdálenosti šipek dole. Jestli ten poměr bude menší než cca 0,2 pak k pohybu matek a magnetu nedojde. Za jejich klidu žádné vířivé proudy v plechu nevzniknou. Všechna tři tělesa budou v klidu, držena na šikmé ploše adhezním třením hladkých kovových povrchů. Zda a jak je lesklý kovový povrch objektivně hladký je možno stanovit měřením průměrné drsnosti pomocí specializovaných přístrojů anebo vizuálně porovnáním se vzorníky hladkosti obrobených kovových povrchů (Obr.350,353). Povrchy všech třech našich závodníků lze označit pohledem na vzorník za velmi hladké (Obr.351). S měřením a velikostí koeficientů smykového tření si lámali fyzikové a technici hlavu již v 18.století.



Obr.350 Vzorky drsnosti kovů



Obr.351 Velmi hladký povrch



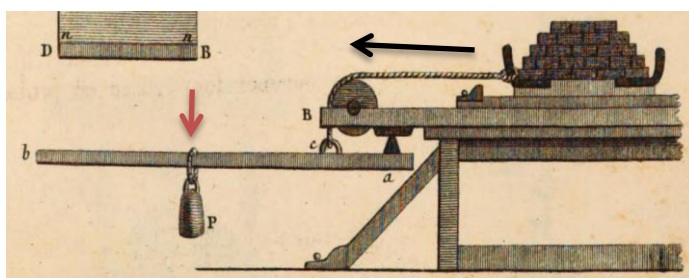
Obr.352 Vzorky drsnosti kovů



Obr.353 Titul



Obr.354 Coulomb

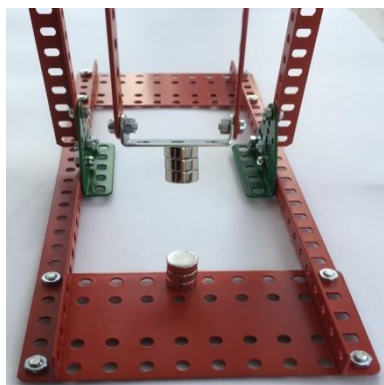


Obr.355 Coulombovo měření koeficientu suchého tření

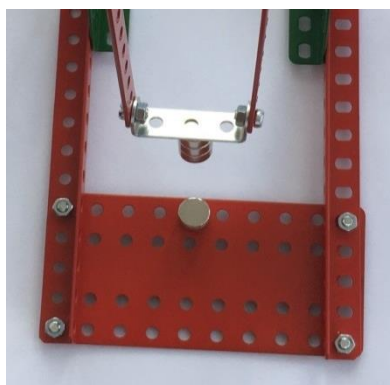
**HT** Významný francouzský fyzik Charles Augustin de Coulomb (\*1736 +1806, Obr.354) konal v letech 1779-1780 ve vojenském arzenálu pokusy se třením, které zveřejnil v roce 1781 v pojednání o teorii jednoduchých strojů. Jeho kniha ve vydání z roku 1809 (Obr.353) obsahuje dřevoryt, který vidíme na Obr.355. Coulomb umístil na pracovní stůl třecí desku se závažími, která byla vlečena lanem upevněným k jednozvrtné páce (šipka vpravo). Velikost síly Coulomb zjistil přestavováním závaží na páce (červená šipka). Jeho pokusy povrdily, že součinitelé suchého tření závisí na drsnosti zkoumaných povrchů. Coulomb vynikl jako fyzik také ve studiu elektrostatických jevů. Pomocí jemných torzních vah zkoumal silové působení elektrostatického náboje na předměty v jeho okolí. Pomocí zjištěných výsledků zformuloval zákon, který je nazván jeho jménem. Na počest významného fyzika se jednotka pro měření elektrického náboje nazývá Coulomb „C“.

## 20. Magnety se přetlačují na houpačce

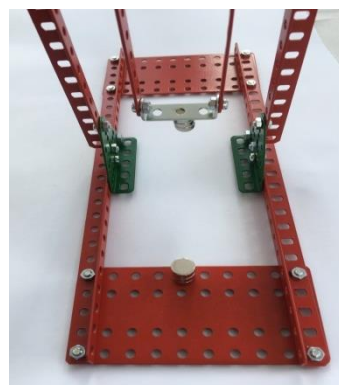
\*\*\*\*\*



Obr.356 Magnety se přitahují



Obr.357 Magnety na startu



Obr.358 Magnety se odpuzují

Magnety mají svůj severní (N) a jižní (S) pól (Obr.359,360). Magnet jen s jedním pólem neznáme. K dalšímu pokusu budeme potřebovat houpačku postavenou z ocelových dílů stavebnice a nejlépe několik neodymových magnetů, které spojíme do dvou skupin. Magnety připevněné k houpačce a ke stojanu vidíme na Obr.357, právě jsou na startu pokusu. Zjistíme, že v jednom případě se magnety přitahují, houpačka zůstane stát (Obr.356). To se stane v případě, že na sebe magnety míří různými póly. Na magnetech, které jsme použili k pokusům, nejsou póly označeny. Školní magnety mají severní pól „N“ označen červenou barvou, jižní pól „S“ je označen barvou modrou (Obr.359). Druhou možností je, že magnety na sebe míří stejnými póly (Obr. 359) potom, co jsme jednu skupinu magnetů otočili. Tehdy se odpuzují (Obr.358) . U neoznačeného magnetu zjistíme jižní pól způsobem, který ukazuje Obr.361. Kompas ukazuje svým severním pólem k magnetu, na jehož plošku můžeme napsat „S“. Také magnet v podobě kuličky má severní a jižní pól. Kde póly jsou zjistíme otáčením kuličky do různých poloh (Obr.362,363). Nalezení severního pólu dalšího magnetu vidíme na Obr.364.



Obr.359 Severní a jižní póly magnetů Obr.360,361 Kompas ukazuje na sever (N červená barva )

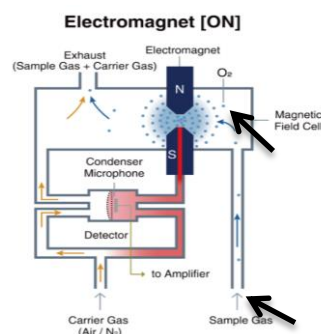


Obr.362,363 Úplně kulatá kulička má také severní a jižní pól Obr.364 Zjištění pólu magnetu

Magnety umí kromě přitahování a odpuzování sebe sama působit silou na jiné předměty a dokonce na plyny. Klidně hořící plamen petrolejové lampy (Obr.365) se pohne, když k němu velice pomalu a opatrně přiblížíme plochý magnet (Obr.366). Zdá se, že na plamen působí síla magnetu. Železo ale v plameni určitě není !

**HT** Jev přiblížení plamene k ploše magnetu může mít nejméně dvě příčiny. Jedna je ryze mechanická, plamen se přiblíží v důsledku snížení statického tlaku mezi ním a plochou magnetu (Bernoulliho/Coandův efekt). Dalším důvodem může být obsah zbytkového kyslíku v plameni. Kyslík je paramagnetický, proto je vtahován do oblasti magnetického pole a může pomoci s náklonem plamene. Paramagnetismus kyslíku se prakticky už desítky let využívá k například provoznímu stanovení podílu kyslíku v plynech (Obr.367). Na skice je vidět spínaný elektromagnet s póly N,S jako zdroj pole. Vstup

analyzovaného plynu do přístroje označuje šipka dole. Molekuly kyslíku  $O_2$  jsou vtahovány do spínacího magnetického pole (šipka nahoře).



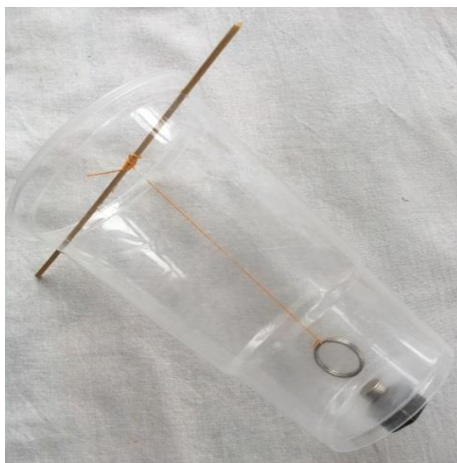
Obr.365,366 Magnet umí pohnout plamenem petrolejové lampy      Obr.367 Paramagnetismus  $O_2$

Svým pohybem a tlakem rozváží molekuly kyslíku pneumatický Wheatstonův můstek, který je napájen zdola nosným plynem ( $N_2$ , vzduch Obr.367). Rozvážení můstku zjistí kondenzátorový mikrofon, který je užit jako detektor objemové koncentrace kyslíku ve vzorku zkoumaného plynu. V horní části nákresu je vidět odvod všech plynů z analyzační komůrky na bezpečné místo mimo přístroj.

### 21. Magnet drží zavěšený železný kroužek vzhůru nohama

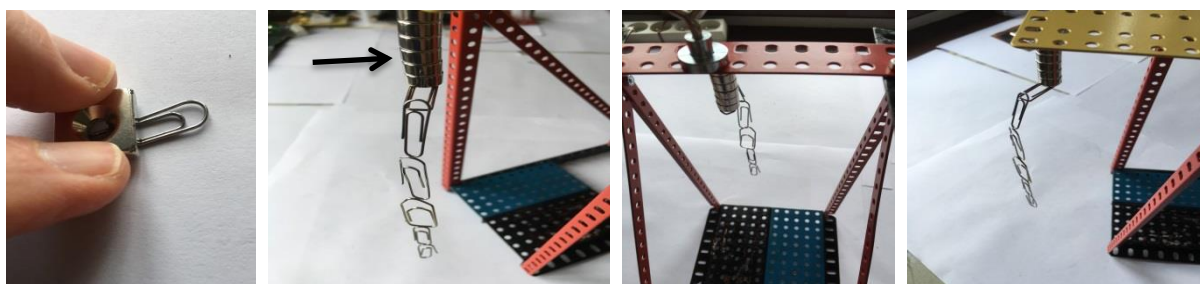
\*\*\*\*\*

K dalšímu pokusu připravíme průhledný plastový kelímek, dřevěnou špejli, ocelové kancelářské sponky, ocelový kroužek, ocelovou matici, neodýmové magnety a kus pevné nitě. Pomocí šídla nebo hřebíku uděláme do kelímku u horního okraje dva protilehlé otvory. Otvory musí být natolik malé, aby jimi byla svírána dřevěná špejle, kterou do otvorů zavedeme. Na špejli přivážeme a navineme nit s kroužkem (Obr.368). Pod dnem kelímku podržíme ocelovou matici, do kelímku dáme magnet, budou se vzájemně přidržovat (Obr.369). Nit navinutou na špejli budeme pomalu odvíjet až dosáhneme toho, že magnet udrží kroužek na dálku v poloze kelímku vzhůru nohama anebo šikmo (Obr.370).



Obr.368 Magnet drží kroužek      Obr.369 Vzdoruje tíži      Obr.370 Magnet nechce kroužek pustit

Zdá se, že kroužek vzdoruje zemské tíži. Není tomu tak, jen přitažlivá síla magnetu je natolik veliká, že přitažlivost Země je v porovnání s ní velmi malá. Zrychlení zemské tíže určitě nikam nezmizelo.



Obr.371 Magnetizace Obr.372 Zavěšené svorky Obr.373 Řetěz svorek Obr.374 Víc svorek nejde

V pokusech s magnety můžeme pokračovat. Obyčejné ocelové kancelářské svorky zmagnetizujeme třením pomocí neodymového magnetu (Obr.371). Na konstrukci stojanu z ocelových dílů stavebnice umístíme další magnety (Obr.372 šipka). Potom vezmeme zmagnetované svorky a opatrně je budeme zavěšovat lehkým dotykem na sebe. Závodíme, kdo bude mít zavěšeno za sebou víc svorek. Nám se podařilo zavěsit nejvýše šest svorek za sebou. Kdo má velkou trpělivost může zkusit naopak rovnat ocelové maticky ze stavebnice z okraje sklenice nahoru do výšky, vstříc siločarám magnetu (Obr.375) ..... My to snad zkusíme někdy jindy.....



Obr.375 Vratká rovnováha

## 22. Magnet snadno zmate kompas

\*\*\*\*\*

V minulých staletích se námořníci neobešli bez spolehlivých údajů kompasu. Na dřevěných lodích mohly železné součásti anebo dokonce úmyslně ukrytý magnet údaj kompasu zkreslit. Můžeme se o tom přesvědčit umístěním magnetu poblíž kompasu. Snadno dokážeme, že kompas přestane ukazovat na sever (Obr.376,377). My máme kompas v klidu na stole. Horší to bylo v místech se silnými otřesy, třeba na lodi v bouři.

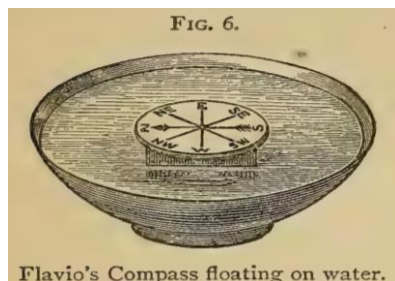


Obr.376 Kompas ukazuje na magnet



Obr.377 Kompas sleduje magnet

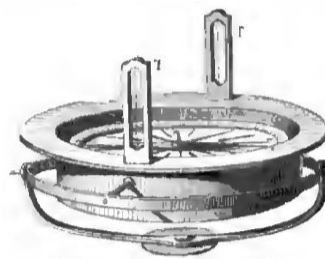
Kompas bylo nutno na lodi umístit tak, aby na něj mělo kymácení lodě co nejmenší vliv. Ve středověku se k tomu používaly nádoby s vodou (Obr.378, rok 1300, Lit.18). Na Obr.379 vidíme děti hrající si s kompasem plavoucím na hladině vody někdy v polovině 19.století (Lit.65). Ze stejné doby pochází



Obr.378 Kompas plave na vodě



Obr.379 Děti a kompas Lit.65



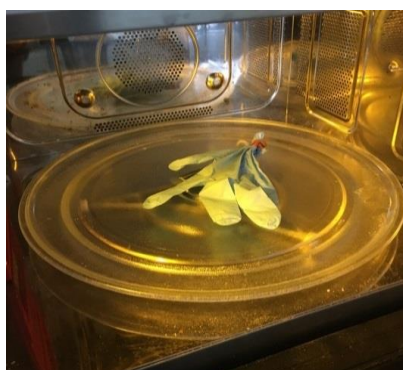
Obr.380 Závěs buzoly (Lit.65)

dvojitý závěs na buzolu, který měl přenos výkyvů lodě na buzolu co nejvíc omezit (Obr.380, Lit.65).

### 23. Gumová rukavice se nafoukne v mikrovlnce

\*\*\*\*\*

K provedení dalšího pokusu stačí gumová rukavice, gumička nebo pevná nit' a trochu vody. Do rukavice dáme jen jednu nebo nejvýše dvě kávové lžičky vody. Pak rukavici pevně zavážeme a dáme ji do mikrovlnné trouby (Obr.381). Výkon trouby nastavíme na cca 700 Watt a časový spínač nejvýše na dvě minuty, troubu pak zapneme. Zjistíme, že se rukavice nafoukla. Voda v rukavici se odpařila a vzniklá pára má podstatně větší objem než voda. Pokud máme obavu, že by rukavice mohla v troubě prasknout a poškodit ji, pak raději provedeme pokus jinak. Rukavici můžeme dát v létě na slunce na kus rozpáleného tmavého plechu anebo v zimě na horké těleso ústředního topení. Páru v rukavici můžeme snížením okolní teploty zase nechat zkondenzovat zpět do kapalné podoby (Obr.383). Nebo můžeme třeba dát nafouklou rukavici do mrazicího boxu ledničky, případně ven na mráz. Nafouklá rukavice se zase zmenší.



Obr.381 Rukavice v mikrovlnce



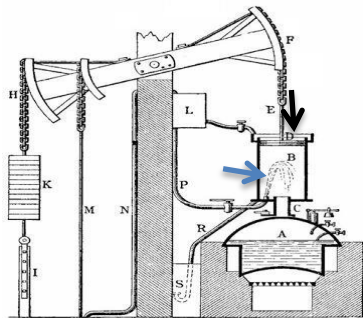
Obr.382 Rukavice se nafoukla



Obr.383 Kondenzace páry

**HT** Nahlédnutím do stavových tabulek vodní páry můžeme zjistit, že pára má při 105°C za tlaku stejného jako okolní vzduch měrnou váhu cca 0,7 kg/m<sup>3</sup>. Měrná váha vody je cca 1000kg/m<sup>3</sup>. Pára zaujme za takových podmínek asi 1430x větší objem nežli voda (100/0,7=1430). Počátkem

18.století přišel anglický vynálezce Thomas Newcomen (\*1663 +1729) na způsob jak tohoto jevu prakticky využít (Obr.386). Zkonstruoval parní motor trvale cyklicky fungující, který pracoval na základě přivedení nízkotlaké vodní páry z kotle do válce, kam byla následně nastříknuta kondenzační studená voda (Obr.384 šipka dole). Tlak venkovního vzduchu vykonal mechanickou práci stlačováním pístu ve válci do dolní úvratě (šipka nahoře). Stroji se proto říkalo parní atmosférický. První takový stroj, ještě bez zcela automatického přestavování parních a vodních ventilů, začal trvale pohánět podzemní pístové čerpadlo důlních vod ve Velké Británii v roce 1712 na uhelném dole v obci Tipton.

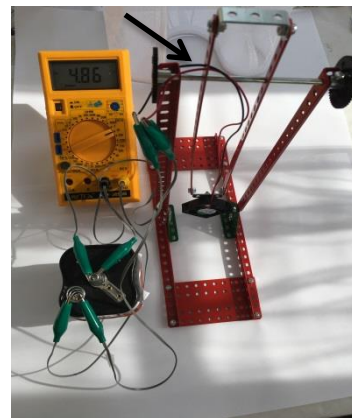
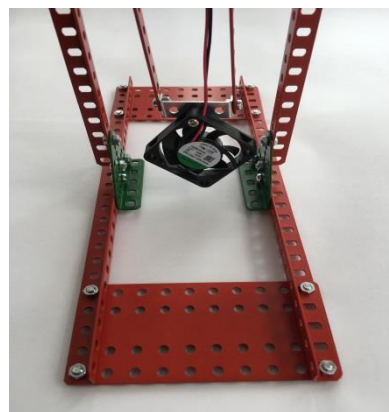
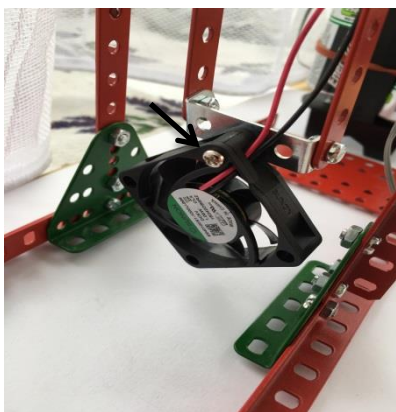


Obr.384 Parní atmosférický stroj Obr.385 Parní atmosférický stroj Obr.386 Th. Newcomen

#### 24. Ventilátor na houpačce

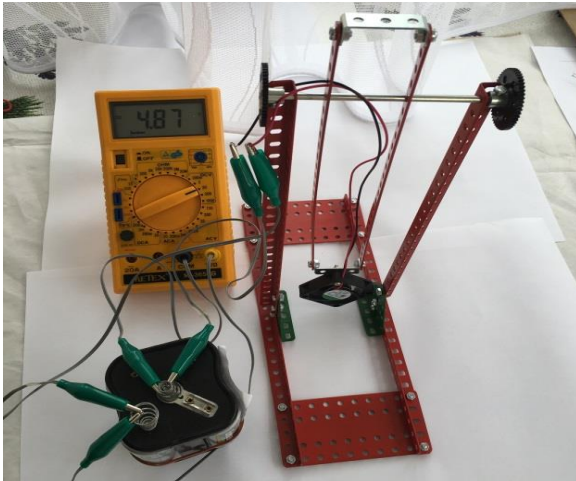
\*\*\*\*\*

K pokusu použijeme houpačku už dříve sestavenou z ocelových dílů stavebnice. Na dolní rameno připevníme šroubkem malý ventilátor se stejnosměrným elektromotorkem (Obr.387 šipka). Vodiče motorku upevníme na houpačku tak, aby co nejméně překážely pohybu houpačky (Obr.389 šipka).

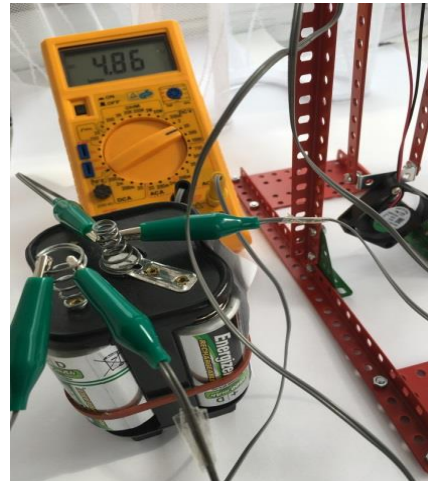


Obr.387 Ventilátor na houpačce Obr.388 Ventilátor v klidu Obr.389 Ventilátor se točí

Ventilátor v klidu je na Obr.388, po připojení vodičů ke zdroji o napětí cca 5VDC se motor roztočí, ventilátor se pohne dopředu a tam zůstane (Obr.389). Asi se vrtule ventilátoru zavrtala do vzduchu a táhne ventilátor dopředu. Po odpojení zdroje se ventilátor vrátí zpátky do klidové počáteční polohy.



Obr.390 Ventilátor působí reaktivní silou na závěs



Obr.391 Ventilátor na houpačce

**HT** Ventilátor pracuje za běhu jako proudový motor moderního letadla. Oběžným kolem vytlačuje proud vzduchu, akční síla vykyvuje houpačku směrem dopředu. Ustálení kyvadla pak znamená, že bylo dosaženo dynamické rovnováhy mezi akční silou vyvozeno ventilátorem a odporující reakční složkou tíhy zavěšeného ramene houpačky s ventilátorem.



Obr.392 H.Coanda



Obr.393



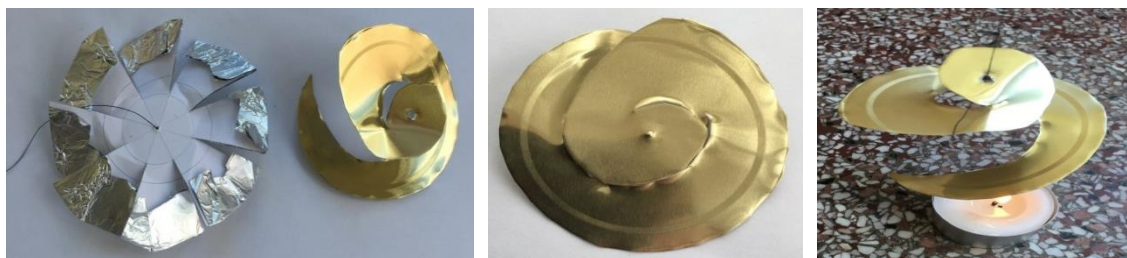
Obr.394 Proudové letadlo (r.1910)

Usměvavý muž na Obr.392 je rumunský vynálezce Henri Coanda (\*1886 +1972), konstruktér a pilot prvního proudového letadla na světě. Svůj model vystavoval Coanda v roce 1910 na mezinárodní výstavě letadel v Paříži (Obr.394). Pohon v jeho pojetí obsahoval pístový spalovací motor, který poháněl rotační turbokompresor vzduchu (Obr.393). Stlačený vzduch byl přiváděn do proudového motoru spolu se spalinami tryskajícími ze spalovací komory. Coanda vyzkoušel své letadlo prakticky v témže roce 1910 na letišti u Paříže. S letadlem mohl pojíždět, podle diváků se snad na okamžik vznesl. Potom se však od proudu spalin za motorem vznítil hořlavý trup letadla. Pilot se zachránil, letadlo bylo zničeno. Pozorovatelé letu potvrdili, že se proud spalin odchýlil od zamýšleného směru a přisál se podtlakem bočně ke trupu letadla. Jevu je později začalo říkat „Coandův efekt“.

## 25. Svíčka roztočí visící plech a kotouček, petrolejová lampa zvedne alobal

\*\*\*\*\*

K provedení pokusu budeme potřebovat kus tenkého plechu z plechovky od konzervy, hliníkovou fólii, láhev, špejli, tužku, nit, lepicí pásku, svíčku, zápalky, petrolejovou lampu, ocelové díly stavebnice, nůžky na plech a hlavně představu jak na to.



Obr.395 Kotouček a zakřivený plech

Obr.396 Nastřížení plechu

Obr.397 Plech se točí

Nejdříve z tvrdšího papíru vystříháme kotouček ve tvaru vějíře (Obr.395), který můžeme obalit hliníkovou fólií, aby kotouček vydržel ve spalinách hořící svíčky. Pokud máme tenký plech ve tvaru kruhu vystříháme z něj spirálového „hada“ (Obr.396). Plech promáčkne do tvaru točitého schodiště (Obr.397) a uprostřed plechu prorazíme otvor k upevnění závěsu z niti. Kotouček zavěšený nad svíčku se bude točit kolem své osy (Obr.398) a plechový had také (Obr.397). Z toho můžeme usoudit, že horké spaliny stoupající nahoru mají možnost svou malou silou něco roztočit a možná i něco lehkého zvednout, ale to ještě nevíme. Zkusíme vymyslet druhou část pokusu a zvedání ukázat.



Obr.398 Kotouček se točí

Obr.399 Příprava pokusu

Obr.400 Plášť je hotov

Tenká hliníková folie je nehořlavá. Vezmeme láhev a dvakrát ji ovineme alobalem. Na kousek špejle přivážeme nit a špejli vložíme do alobalu. Pak alobal na konci zmačkneme (Obr.399 šipka), vznikne plášť anebo spíš podivná čepice visící na niti (Obr.400). Podíváme se do čepice jestli špejle a nit bude dobře držet (Obr.401) a připravíme petrolejovou lampu a zápalky. Nejdřív ale přilepíme tužku dvěma lepicími páskami na kraj stolu a připravíme si další delší špejli. Na jeden konec špejle přivážeme nit od čepice a na druhý konec navlékneme ocelový díl stavebnice (Obr.404). Špejli pak opatrně položíme na tužku, přitom hliníková čepice bude viset podél stolu. Ocelový díl stavebnice budeme na dvojitě posunovat tak dlouho, až bude jeho konec zvednutý nad desku stolu (Obr.404 šipka). Díl bude ukazatelem jestli se páka pohne.



Obr.401 Upevnění pláště nití



Obr.402 Připravíme petrolejku



Obr.403 Plášť visí na niti

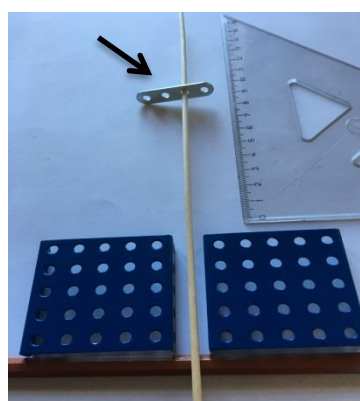
Po vyvážení páky můžeme přisunout petrolejovou lampu pod čepici (Obr.405). Teď budeme sledovat ukazatel (Obr.406). Asi po 4 vteřinách se pohnul směrem dolů (Obr.407). Za další 2 vteřiny se ukazatel ukazatel dotknul desky stolu (Obr.408). To znamená, že horký vzduch pod čepicí nadlehčil páku. Nyní odsuneme petrolejovou lampu stranou a budeme pozorovat co se stane. Asi po 40 vteřinách se ukazatel začal pohybovat nahoru a nakonec zůstal v původní startovní poloze (Obr.404).



Obr.404 Pokus je připraven

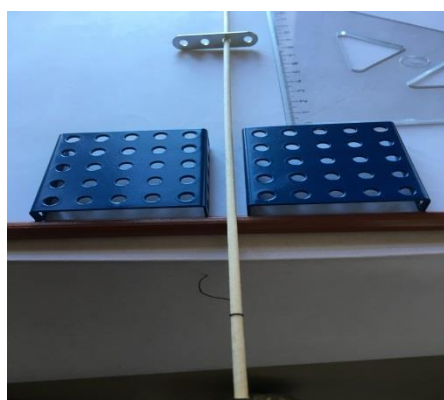


Obr.405 Petrolejka hřeje

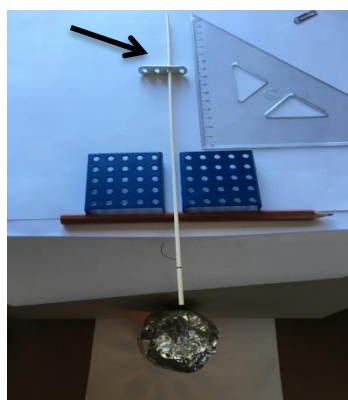


Obr.406 Váha s ukazatelem

Horký vzduch pod čepicí vychladnul a už čepicí nenadnášel.



Obr.407 Ukazatel vztlaku se pohnul



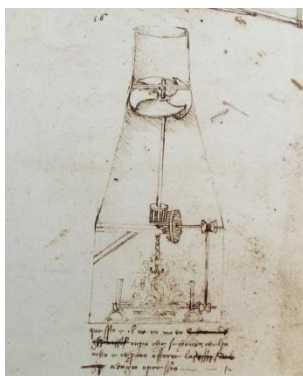
Obr.408 Vztlak se zvýšil



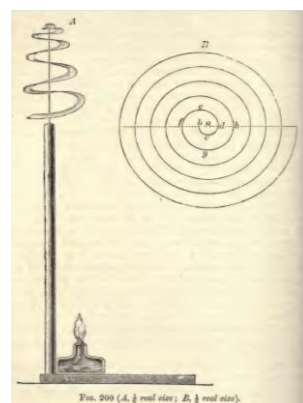
Obr.409 Vztlak trvá



Obr.410 Horkovzdušný balon



Obr.411 Leonardovo kolo



Obr.412 Horkovzdušný had 1875

**HT** Teď už máme představu proč se horkovzdušné balony vznášejí nad krajinou (Obr.410). Těsně pod balonem je upevněn hořák jehož spaliny a ohřátý vzduch stoupají nahoru a doplňují zásobu horkého vzduchu v balonu. Když chce pilot balonu přistát, tak vypne hořák anebo zmenší jeho výkon a chladnější balon začne klesat. V 19.století bylo možno mezi školními pomůckami najít model ukazující pohon hada horkým vzduchem, jak vidíme na Obr.412 (Lit.17 z roku 1875). Počátkem 16.století navrhnul vynikající italský vynálezce a umělec Leonardo da Vinci (\*1452 +1519) použití turbinky poháněné teplým vzduchem z ohniště k pohonu otočného roštu na němž byla připravována pečínka (Lit.51 z roku 2005).

## 26. Proč vítr točí větrným mlýnkem

\*\*\*\*\*

Pokus osvětlující důvod otáčení bude vyžadovat několik pomůcek. Opatříme si kus tuhé pěnové hmoty, papír a nůžky, špejle, nitě, skleněnou zkumavku, malé prkénko, krátkou ocelovou jehlicí k ručnímu pletení, čtyři hřebíky, nůž, lepicí pásku a stojan sestavený z ocelových dílů stavebnice.



Obr.413 Točíme mlýnkem



Obr.414 Proč se vlasně točí ?



Obr.415 Pořád točíme mlýnkem

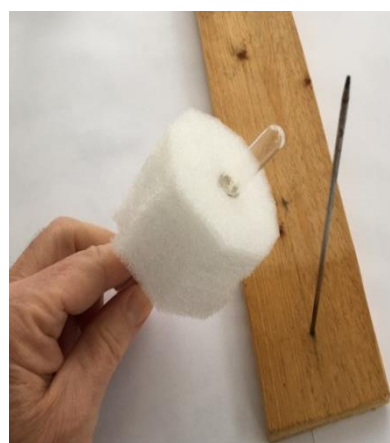
Nejdříve vezmeme pěnovou plastovou hmotu a nožem z ní vyřízneme váleček o průměru asi 5cm a stejné výšce. Do válečku vyvrtáme úzkým nožem těsný otvor k prostrčení skleněné zkumavky (Obr.418). Zkumavka bude sloužit jako ložisko mlýnku. Ze čtyřech čtverců obyčejného kancelářského papíru o rozměrech asi 20x20cm vystříháme kruhy. Jednu ¼ kruhu vystříháme stejně jako se krájí kruhový dort. Z vystřižených kruhů svineme kužele, které ve švu přelepíme lepicí páskou (Obr.417).



Obr.416 Pořád se točí

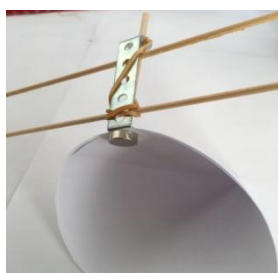


Obr.417 Příprava pokusu

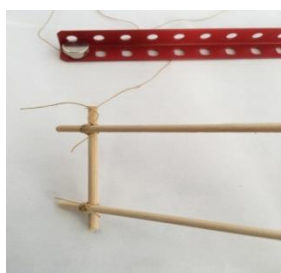


Obr.418 Skleněné ložisko

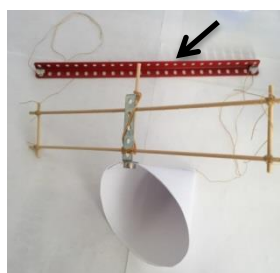
Po obvodu válce uděláme tužkou pravidelně čtyři značky v protilehlých místech, kde budou pomocí hřebíků připevněny kužele. Kužel upevníme vždy tak, aby byl osou vodorovně a mířil vrcholem do kruhové základny toho kužele, který bude upevněn na obvodu válce před ním. Potom do otvoru v prkénku zavedeme pletací drát a celý mlýnek se zkumavkou na něj posadíme (Obr.416 šipka). Foukáním do dutiny kuželů mlýnek roztočíme celkem snadno (Obr.413, 415). Pokud budeme stejně silně foukat na špičky kuželů tak se bude mlýnek točit jen málo a neochotně. Čím to může být? Nejspíš špička kužele využije naše stejné foukání méně.



Obr.419 Hrazda



Obr.420 Závěs hrazdy

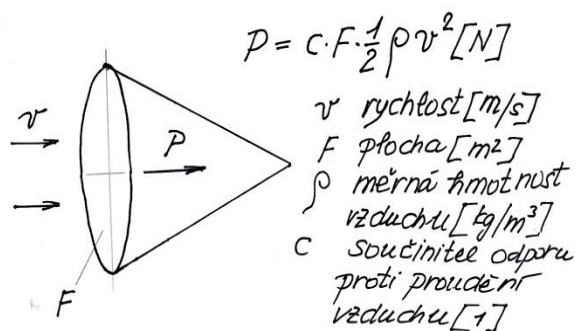


Obr.421 Hotová hrazda

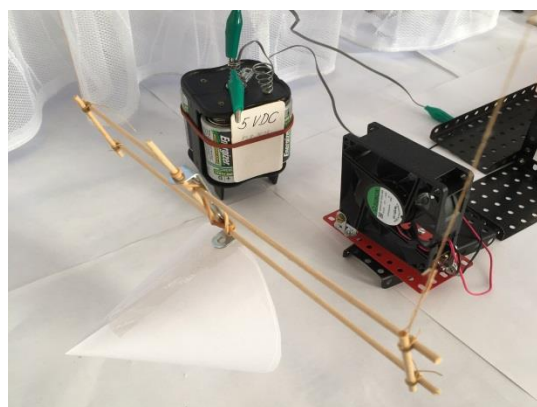


Obr.422 Kužel na hrazdě

**HT** Pro důkaz vyslovené myšlenky bude nutno náš pokus rozšířit. Nejdříve svážeme nitěmi ze špejlí hrazdu na kterou pomocí gumičky připevníme ocelový díl stavebnice (Obr.419). Papírový kužel na něj přichytíme pomocí magnetu. Na stojan postavený z dílů stavebnice připevníme pomocí dalšího

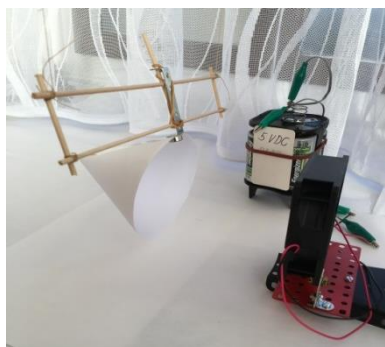


Obr.423 Náporový tlak proudícího vzduchu



Obr.424 Tlak vzduchu vykývá hrazdu

magnetu červený ocelový úhelník na kterém bude na dvou nitích viset hrazda ze špejlí s kuželem (Obr.421,422 šipky). Ke kuželi visícímu na hrazdě přisuneme ventilátor a nasměrujeme proud vzduchu do základny papírového kužele (Obr.424,425,426). Pověsim si úhlu o který se přitom závěs hrazdy vychýlí od kolmice. Ventilátor vypneme a otočíme hrazdu pomocí červeného nosníku pod magnetem čelem vzad (Obr.427 šipka). Přistavíme ventilátor na stejné místo a po zapnutí pozorujeme znovu úhel vykývnutí závěsu hrazdy s kuželem od kolmice. Pozorováním bylo zjištěno, že úhel při proudu vzduchu do základny je asi 3x větší nežli úhel při proudění vzduchu směrem na špičku kužele.



Obr.425 Ventilátor fouká



Obr.426 Hrazda se vykýváne



Obr.427 Kužel byl obrácen

Celková síla, kterou působí proud vzduchu na model kužele, se spočte pomocí vztahu uvedeného na Obr.423 (Lit.47). Poměr součinitelů odporu „c“ je podle starších měření provedených do roku 1910 v laboratoři Gustava Eiffela pro kužel při proudění směrem do základny a směrem opačným asi 4 : 1, při průměru základny kuželů 400mm. Přibližně stejný výsledek byl tehdy zjištěn pro polokoule bez dna o průměru 250mm (Lit.64). Námi zjištěný poměr součinitelů asi 3:1 naznačuje chyby poměru zjištěného jen přibližně, odhadem velikosti úhlu, a malými rozměry našeho modelu kužele.



Obr.428 G.Eiffel



Obr.429 Plošina u věže

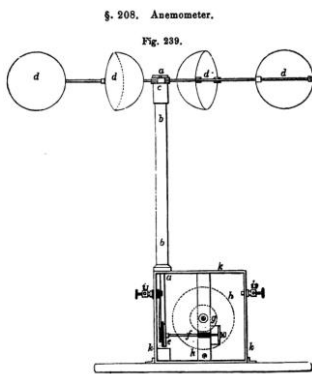


Obr.430 Pád modelu kužele



Obr.431

Vynikající francouzský technik Gustave Eiffel (\*1832 +1923)(Obr.428,431) zjišťoval odpor kuželů pomocí pádu modelů podél svislého vedení napjatého dolů z patra Eiffelovy věže v Paříži, jak dokládají dobové fotografie (Obr.429,430). Výsledky měření zjištěné od roku 1903 na věži a pozdější údaje z měření v Eiffelově vlastním aerodynamickém tunelu byly zveřejněny v roce 1910 (Lit.64). Praktické využití získaných dat vidíme na starších modelech přístrojů k měření rychlosti větru. Na Obr.432 je konstrukce zveřejněná knižně již v roce 1880 (Lit.20). Anemometr v katalogu vydaném v roce 1912 je vidět na Obr.434 (Lit.38).



Obr.432 Anemometr r.1880



Obr.433 Anemometer



Obr.434 Anemometer r.1912

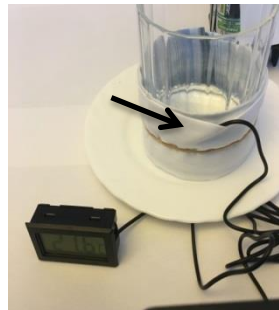
## 27. Ventilátor chladí obvaz na sklenici

\*\*\*\*\*

Den před pokusem si nachystáme do lahvičky vodu a necháme ji přes noc v místnosti kde budeme pokus provádět. K samotnému pokusu budeme potřebovat sklenici, kousek bavlněného savého plátna, gumičku, talířek, pokojový teploměr a elektronický teploměr s vodotěsným čidlem teploty. Plátno ovineme kolem skleničky a připevníme čidlo teploty pomocí gumičky pod plátno (Obr.436 šipka). Zapneme teploměr a poznamenanáme si teplotu, kterou vidíme na displeji (Obr.435). Nedaleko máme lahvičku s vodou, která bude mít stejnou teplotu jako okolní vzduch v místnosti (21,6°C).



Obr.435 Pokus začíná



Obr.436 Upevnění čidla



Obr.437 Teplota je nižší



Obr.438 Teplota klesá

Ted' vezmeme lahvičku s vodou a nalejeme vodu na talířek. Voda se vztlínáním po chvíli rozšíří do celého plátna. Potom sledujeme údaj o teplotě na displeji teploměru. Na snímcích na Obr.436 až Obr.438 je vidět, že teplota poklesla z původních 21,6°C na nižší teplotu 18,8°C a potom na 18,3°C. Rozdíl mezi teplotou na začátku pokusu 21,6°C a teplotou na jeho konci 18,3°C byl 3,3°C.

Něco se děje co způsobuje pokles teploty mokrého plátna pod úroveň teploty okolního vzduchu v místnosti. Pokles teploty vidíme běžně jen v ledničce. Jev ale nastal v důsledku odpařování vody na povrchu plátna. Teplu k tomu nutné poskytla voda nasáklá v plátnu a tím snížila svou vlastní teplotu. Pokus můžeme opakovat, tentokrát použijeme namísto vody líh (etylalkohol). Pokus začal v místnosti s počáteční teplotou okolního vzduchu 18°C, nejnižší dosažená teplota plátna na konci pokusu byla 16,6°C (Obr.439). V třetí části pokusu malým kouskem plátna obalíme jen samotné čidlo teploty a ovážeme je nití (Obr.440 šipka). Potom dáme čidlo do kelímku a obvaz pokapeme lihem (Obr.441).

Na čidlo budeme mírně foukat a zároveň budeme sledovat údaj teploměru. Po necelých 5 minutách zjistíme, že teplota čidla smáčeného lihem poklesla na  $14,2^{\circ}\text{C}$  a později až na  $13,8^{\circ}\text{C}$ , kde se ustálila.

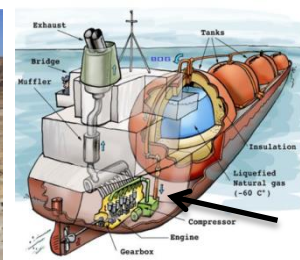


Fig 61. Moorish niche and porous earthenware bottle, containing water.



Obr.439 Konec pokusu Obr.440,441 Pokus provedený s lihem Obr.442,443 Průlinčité džbány

**HT** Při pokusech jsme prováděli adiabatické chlazení, tím se rozumí snižování teploty aniž bychom do pokusu uměle přiváděli zvenku chlad nebo teplo. K odpařování vody a lihu je potřeba odněkud dodat skupenské teplo. Skupenské teplo bylo odnímáno vodě a lihu, proto se snižovala jejich teplota, jak bylo prokázáno měřením. Proud vzduchu podpořil odpařování lihu, proto bylo chlazení výkonnější. Jevu se po staletí využívá prakticky na Středním východě. Průlinčité nádoby s vodou umožňují odpařování vody prosáklé na povrch keramiky, tím se nádoba ochlazuje (Obr.442, Obr.443 Lit.14 z roku 1860).



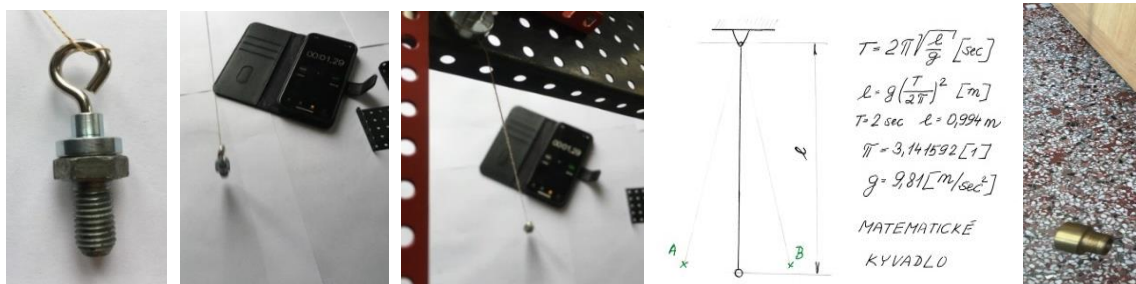
Obr.444 Materiál oděvů v poušti Obr.445 Doprava kapalného zemního plynu Obr.446 Nádoba

Obyvatelé pouští volí pro své oděvy přírodní materiály jako je bavlna, vlna anebo len, které jsou dobře nasákové a prodyšné. Odpařovaný pot pomáhá chladit povrch těla. Vlna je naopak vítaná při nižších teplotách na poušti. Při dopravě zkapalněných plynů, zejména zemního plynu, se používají zámořské lodě s rozměrnými beztlakými izolovanými nádobami ve tvaru koule nebo hranolu (Obr.445,446). Vyčištěný zemní plyn obsahuje až 98% metanu ( $\text{CH}_4$ ), jehož zkapalňovací teplota dosahuje za normálního atmosférického tlaku  $-162^{\circ}\text{C}$ . Směsi uhlovodíkových plynů mají tuto teplotu příznivější, např. kolem  $-80^{\circ}\text{C}$ . Při plavbě v tropech by bylo velmi těžké ochlazovat nádrže uměle zvenku. Řešením je nechat část nákladu odpařit, tím se kapalina průběžně chladí a udržuje se na extrémně nízké teplotě sama. Plyn získaný odpařováním se přivádí potrubím do kompresoru a dále pod tlakem do spalovacího motoru, který pohání generátor elektřiny pro loď, nebo je přiveden do lodního motoru (Obr.445 šipka).

## 28. Kyvadlo měří vteřinu

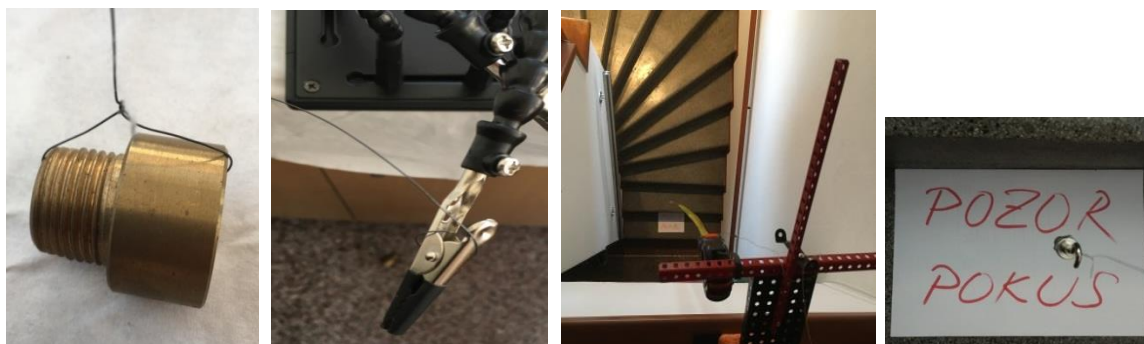
\*\*\*\*\*

K pokusu nás přivedla otázka jak asi lidé měřili čas ve vteřinách když nebyly mechanické hodinky se vteřinovou ručkou, natož elektronické hodinky. Bylo tomu tak ještě koncem 17.století. Sám Galileo Galilei tehdy měřil čas při svých pokusech a pozorováních pomocí vteřinového kyvadla. My si můžeme takové kyvadlo sestavit sami. Budeme k tomu potřebovat těžký kovový předmět, velmi tenký ocelový drát nebo pevnou nit, stojan z ocelových součástí stavebnice a mobilní telefon se stopkami.



Obr.447 Šroub Obr.448 Měření Obr.449 Kyvadlo Obr.450 Matematické kyvadlo Obr.451

Můžeme začít ocelovým šroubem a závěsným magnetem. Stojíme teď před rozhodnutím jak dlouhý má být závěs. Někdo nám může poradit a údaj o délce matematického vteřinového kyvadla pro nás najít v učebnici fyziky anebo nám může délku spočítat podle vzorce, který v učebnici najde (Obr.450). Hledaná délka je 0,994 metru. Pro matematické kyvadlo o této délce platí, že čas trvání kyvu z bodu „A“ do do bodu „B“ a zpět do „A“ je 2 vteřiny. Pokusem jsme zjistili, že tak dlouhé kyvadlo za dobu 60 vteřin téměř přesně provedlo 30 kyvů. Podobný výsledek dostaneme uvázáním mosazného šroubení na tenký drát, který byl upnut ve svorce ukotvené ve stojanu (Obr.452,453). Délka závěsu byla opět cca 0,994 metru. Přesvědčili jsme se, že měření času ve vteřinách mohlo být v minulosti dost přesné. Pro zajímavost zkusíme ještě změřit délku kyvu delšího kyvadla (Obr.454,455). Na schodech musíme umístit varování, ocelový drát je tenký a někdo by se do něj mohl zaplést. Pro kyvadlo o délce 3,67 metru jsme zaznamenali 10 kyvů za 38 vteřin. ( Pro matematické kyvadlo stejné délky je vypočtená doba deseti kyvů 38,41 vteřin). Při obou pokusech bylo dosaženo vcelku dobré shody výsledku pokusů a teoretických výpočtů.



Obr.452 Závaží Obr.453 Závěs kyvadla Obr.454 Dlouhé kyvadlo Obr.455 Varování

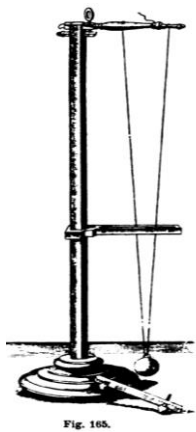
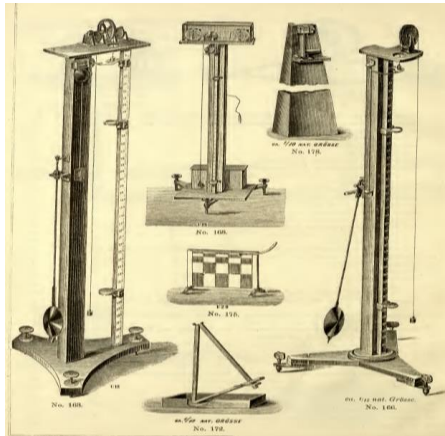


Fig. 165.



Sekundenpendel  
(No. 1749)  
von Pendeluhren

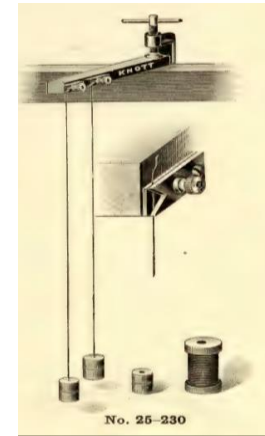


No. 108

No. 110

No. 112

No. 114



No. 25-230

Obr.456 Kyvadlo Obr.457 Obr.458 Školní kyvadla s různou délkou Obr.459 Kyvadla

Kyvadla jako ukázka fyzikálního pokusu měření času nechyběla ve školách už v 19.století. Na kresbě z roku 1899 je vidět kyvadlo se svorkou k nastavení jeho délky (Obr.456, Lit.35). Katalog z roku 1914 ukazuje vteřinové kyvadlo zavěšené na konzolu připevněnou ke zdi (Obr.457,Lit.39). Hned několik kyvadel měly školy na výběr z katalogu vydaného v roce 1893 (Obr.458 Lit.32). Kyvadla zavěšená na visutém ramenu obsahoval katalog vydaný pro školy v USA v roce 1912 (Obr.459, Lit.38).

**HT** Matematické kyvadlo je definováno jako hmotný bod zavěšený na nehmotném vlákně kývající se ve vakuu s malým rozkyvem. Pro takové kyvadlo platí vzorec pro výpočet doby kyvu na Obr.450. Provedenými pokusy jsme se mohli teoretickému kyvadlu jen přiblížit. Přesnost kyvadla neměla v druhé polovině 17. století konkurenci. Proto se význační fyzikové a vynálezci té doby pokoušeli kyvadla užít při návrhu kyvadlových hodin. Italský fyzik Galileo Galilei (\*1564 +1642) navrhnul kyvadlové hodiny podle Obr.460 (Lit.35). Holandský fyzik Christiaan Huychens (\*1629 +1695) byl autorem dokonalejší konstrukce sestavené v roce 1657, která byla veřejnosti představena knižně až v roce 1673 (Obr.468,Obr.461 – 463, Lit.35 r.1899). V jeho pojetí byly v nástěnných hodinách skloubeny ozubené převody, krokovací mechanismus a kyvadlo. Ztráty třením byly kryty potenciální energií závaží zavěšeného na řetízku, které se bylo nutno čas od času zvednout do původní polohy (Obr.463 šipka).



Fig. 23.

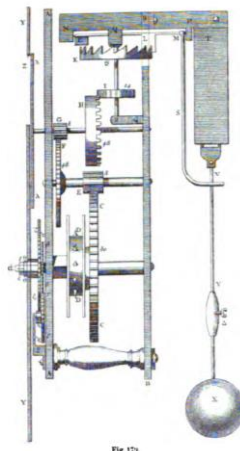


Fig. 175.

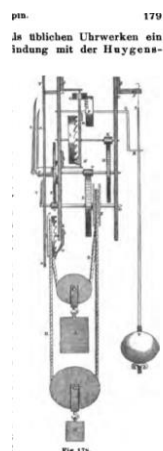


Fig. 179.

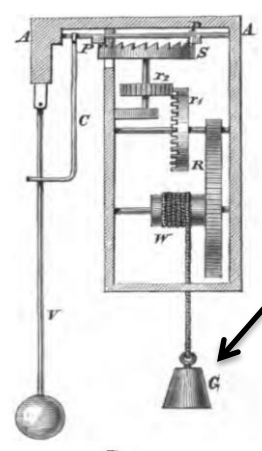
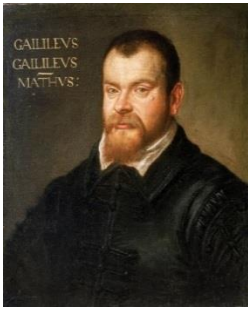


Fig. 34.

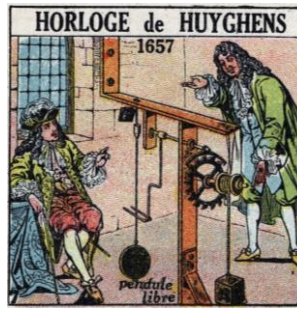
Obr.460 Hodiny s kyvadlem Obr.461 až 463 Hodiny s kyvadlem podle Christiaana Huychense



Obr.464 G. Galieii



Obr.465 Ch.Huychens



Obr.466 Hodiny r. 1657

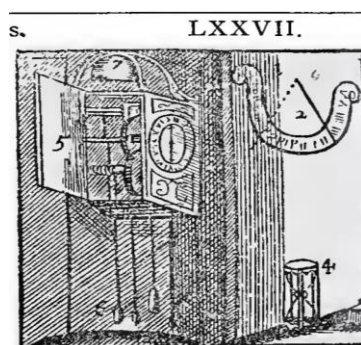


Obr.467 Ch.Huychens

Představy malířů o vynálezu kyvadlových hodin nalezneme na Obr.466,467. Vyobrazení hodin najdeme také v pozdním anglickém vydání knihy Orbis pictus od J.A.Komenského z roku 1887 (Lit.27, Obr.469). Nástěnné hodiny se z pouhých přístrojů k měření času staly řemesně dokonalými a postupně mnohdy až umělecky cennými předměty, jak dokládá třeba provedení hodin z 19.století na dalším snímku (Obr.470).



Obr.468 Titul rok 1673



Obr.469 Dřevoryt Orbis pictus

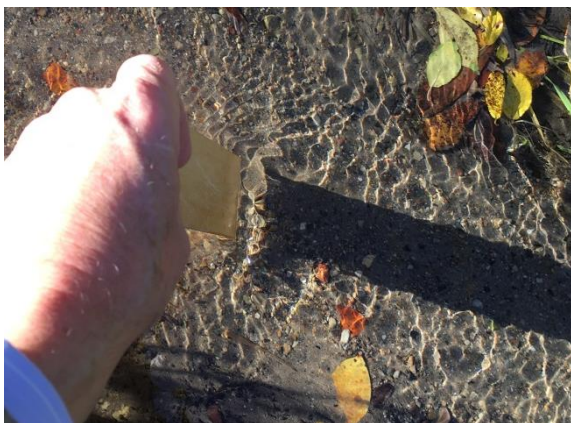


Obr.470 Hodiny

### 29. Víry ve vodě a vzduchu určí jejich rychlost

\*\*\*\*\*

Víry ve vodě můžeme prozkoumat v mírném toku malého potůčku. Stačí k tomu kousek překližky.

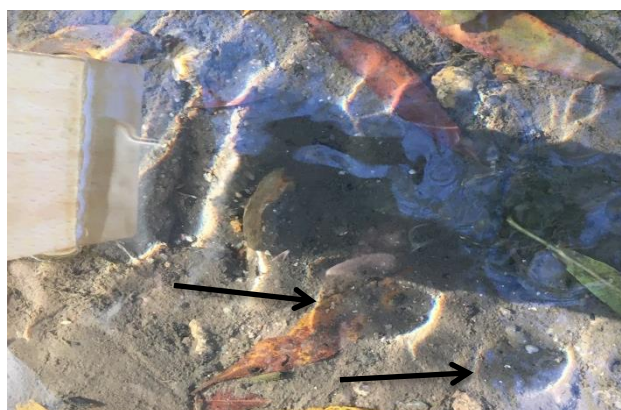


Obr.471 Víry na potůčku v záři slunce



Obr.472 Kruhové obrysy vírů v proudící vodě

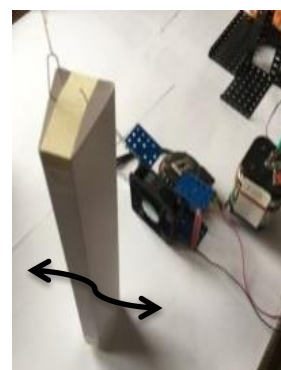
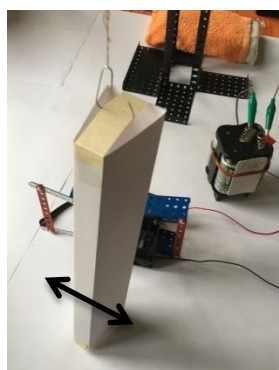
Nutné je však šikmé nasvícení vírů pozdním odpoledním sluncem na které musíme trpělivě počkat.



Obr.473 Kruhové obrysy vírů v proudící vodě

Obr.474 Kruhové obrysy vírů v proudící vodě

Brzy zjistíme, že se víry za plochou překážkou objevují na obou stranách střídavě. Vcelku odpovídá očekávání, že se zvýšenou rychlostí proudění vody je výskyt vírů častější. Pokusem je možné zjistit zda při výskytu vírů za překážkou panuje zákonitost. K pokusu budeme potřebovat papírový váleček se dnem z ocelového plechu, prizmatický hranol s lichoběžníkovým průřezem slepený z papíru, magnet na niti, ventilátor a stojan z sestavený z ocelových dílů stavebnice. Papírový váleček zavěšíme pomocí magnetu na stojan. Přistavený ventilátor bude ovívat spodní část válce ve směru šipky (Obr.475)



Obr.475 Zavěšený váleček

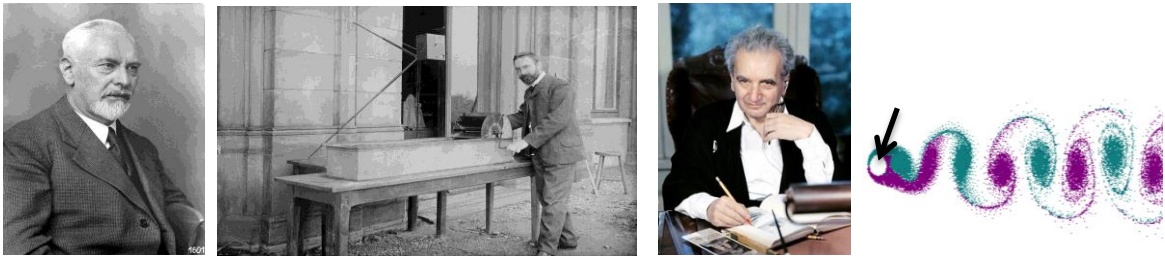
Obr.476 Kmitání

Obr.477 Kývání hranolu

Obr.478 Kroucení hranolu

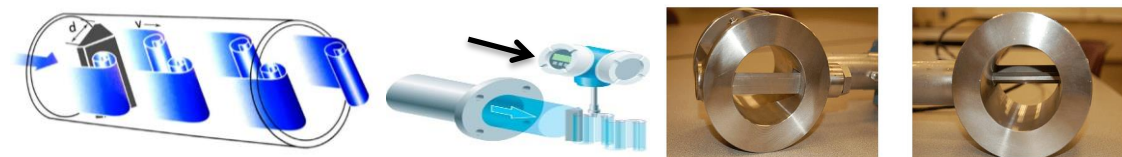
Papírový váleček se k našemu překvapení pravidelně kýval ve směru kolmém na směr proudu vzduchu (Obr.476). Kromě toho se váleček navíc ještě začal kroutit. V našem případě se kývání a kroucení pravidelně opakovalo každou cca 1,5 vteřiny. Lichoběžníkový prizmatický hranol visící v proudu vzduchu se choval podobně, výsledkem byl kmitavý pohyb kolmo ke směru proudu vzduchu od ventilátoru a otáčení kolem závěsu (Obr.477,478). Výsledkem našeho pokusu bylo zjištění, že víry za tělesy obtékány vzduchem o stálé rychlosti se skutečně vytváří střídavě a pravidelně. Nemáme ale možnosti změřit rychlost vzduchu. Také nemáme více ventilátorů k dosažení různých rychlostí vzduchu. Tím tedy náš pokus skončil. Možná se dá někde v odborné literatuře najít víc. ....

**HT** Počátkem 20.století fyzik Ludwig Prandtl zkoumal ve skromné laboratoři v univerzitním městě Göttingen v Německu turbulentní proudění vody (Obr.479,480). S rozvojem motorových letadel se věnoval výzkumu chování těles v proudu vzduchu, ale již v aerodynamických tunelech. Výzkumem zjistil, že při obtékání částí letadel vznikají komplikované turbulentní víry. Theodor von Kármán, který jako Prandtlův žák pokračoval ve výzkumu, zkoumal vlastnosti vírové stezky (Obr.482), která byla nazvána jeho jménem (Obr.481). Vyhodnocení výsledků vývoje ukazovalo na zákonitost, kterou lze

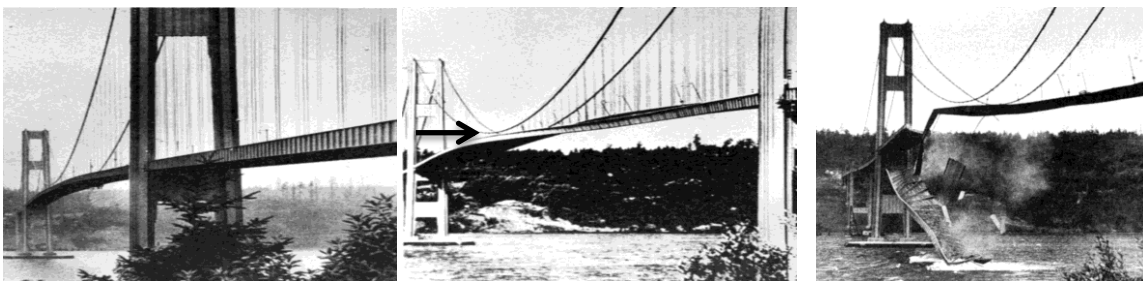


Obr.479 Prandtl Obr.480 L.Prandtl při měření (r.1904) Obr.481 Kármán Obr.482 Vírová stezka

formulovat slovně: Součin frekvence vírů a charakteristického rozměru dělený rychlostí proudění je konstantní. Vyjádřeno algebraicky platí :  $Sr=f*L/v$  (Obr.495). Výhodou nového poznatku bylo, že při znalosti rozměru a frekvence lze vypočítat rychlost proudění. Pro technickou praxi bylo podstatné, že mohly být navrženy vírové průtokoměry bez pohyblivých částí. Charakteristickým rozměrem je v nich šířka základny prizmatického tělesa, které je umístěno napříč potrubím (Obr.485,486 šipka „d“), frekvenci vírů je možno měřit pomocí protilehlých piezoelektrických čidel. Elektronika průtokoměru z těchto údajů vypočte střední rychlost proudění a objemový průtok kapaliny potrubím (Obr.487). U turbulentního proudění vody kolem válce je důležitý jeho průměr (Obr.482,484 šipky „d“). Vlajka připevněná na válcové žerdě ukazuje svým třepotáním silové působení střídavě se uvolňujících vírů (Obr.483). Také v tomto případě lze spočíst z průměru žerdě a rychlosti větru hledanou frekvenci vírů.



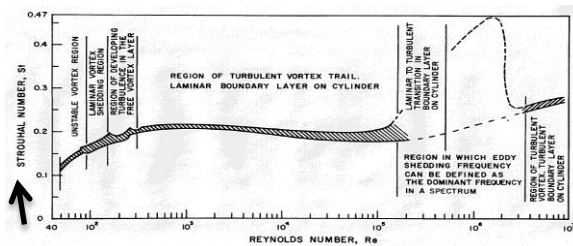
Obr.486 Víry v průtokoměru Obr.487 Průtokoměr Obr.488 Průtokoměr z obou stran



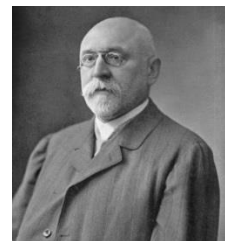
Obr.489 Zavěšený most byl klidu Obr.490 Zavěšený most kmital Obr.491 Most dokmital

Vítr proudící bočně k silničnímu mostu může mít nečekané následky (Obr.490). Víry vznikající střídavě nad a pod mostem mohou most rozkmitat a nakrucovat. V případě, že frekvence vzniklých vírů

je blízká nebo rovna vlastní frekvenci desky mostu může dojít až ke zřícení mostu. Snímky na Obr.489 až Obr.491 dokumentují skutečnou událost, která se stala USA v třicátých letech 20.století. Podobně ocelové komíny přišroubované k betonovému základu mohou při silném větru kmitat v rovině kolmé na směr větru. Komín jako tenkostěnný válcový nosník je pak namáhán střídavým ohybem a zároveň krutem. To má za následek maximum smykového napětí ve stěně komínu pod úhlem 45° od osy, kde ve stěně vzniknou trhliny. Trhliny vzniknou je-li kmitočet vírů kolem komínu blízký jeho vlastní rezonanční frekvenci. Takový případ jsem viděl osobně v roce 1985 u ocelového komínu ohřívací pece na sochory v nové válcovně v Kladně. Odpomoc je možná. Komín může být podélně vyztužen ocelovým přivařeným žebrem ve tvaru kolmé šroubové plochy, tím je komín úmyslně „rozladěn“. Rezananční kmitočet komínu se posune do oblasti nižších hodnot. Při obvykle se vyskytujících rychlostech větru pak už ke kmitům takového vetknutého nosníku nedojde.



$$Sr = \frac{f \cdot L}{v}$$



Obr.492 r.1878

Obr.493,494 Strouhalovo číslo Sr (Lit.46 rok 1966)

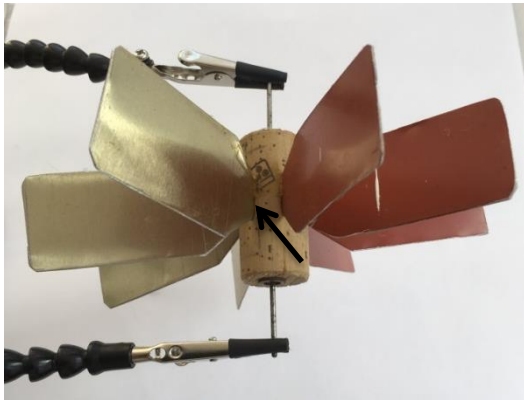
Obr.495 V.Strouhal

Uvedené jevy vznikající při proudění vzduchu zkoumal jako první v sedmdesátých letech 19.století mladý český fyzik Vincenc Strouhal (\*1850 +1922)(Obr.495). Svoje poznatky získané v univerzitní laboratoři ve městě Würzburg (Bavorsko) zveřejnil tiskem v roce 1878 ve fyzikálním časopise „Annalen der Physik“ jako pojednání o rezonančních kmitočtech strun harfy a vírech v okolním proudícím vzduchu (Obr.492 rok 1878). V upomínku na originální objev Vincence Strouhala bylo při setkávání odborníků v šedesátých létech 20.století navrženo pojmenovat bezrozměrné podobnostní číslo Strouhalovým jménem, nápad se ujal ( Strouhal number, Sr, Obr.493). Ukázka grafického znázornění oboru platnosti Strouhalova čísla v závislosti na Reynoldsově čísle (tj. na rychlosti proudění) je patrná z grafu na Obr.493, který byl převzat z knihy vydané v USA v roce 1966 (Lit.46). Z grafu vidíme, že pro většinu praktických úloh můžeme za hodnotu Strouhalova čísla Sr považovat konstantu rovnou 0,21. Konstanta nemá fyzikální rozměr, je bezrozměrná.

### 30. Vodní kolo a násoska zahnutá

\*\*\*\*\*

K výrobě modelu malého vodního kola na horní vodu budeme potřebovat kus tenkého hliníkového plechu, nůžky na plech, korkovou zátku, dva ostré hřebíky, nůž se špičkou, nádobu s vodou a kus plastové zahradní hadice. Po obvodu zátky vymáčkne nožem v pravidelných odstupech hluboké vrypy a sice podle počtu vložených lopatek (Obr.496 šipka). Jednoduché lopatky vystříháme z hliníkového plechu. Do čel zátky vsadíme hřebíky (Obr.497 šipky), které budou sloužit jako hřídelka při usazení vodního kola do nosného rámečku (Obr.497). Pokus s vodním kolem můžeme uskutečnit tak, že na stoličku nebo větší krabici dáme nádobu s vodou. Hladina vody musí být výše nežli je kolo. V nádobě zatížíme konec hadice třeba kamenem a z druhého konce budeme ústy vysávat vzduch tak dlouho až ucítíme vodu. Hadici pak podržíme nad mlýnkem a budeme pozorovat jak se docela rychle bude točit (Obr.500). Pokus s násoskou budeme dělat někde venku, protože kolem kola bude mokro. Pokud můžeme někde v blízkosti vyhledat malý potůček, pak lze model použít jako kolo na spodní vodu. Vezmeme dva kusy ocelového drátu o průměru asi 2mm a délce 300mm, na konci každého svineme pomocí kleští malé oko. Dráty zapícháme do dna potůčku tak hluboko, aby vodní kolo



Obr.496 Pokus s modelem vodního kola



Obr.497 Vodní kolo na startu



Obr.498 Násoska

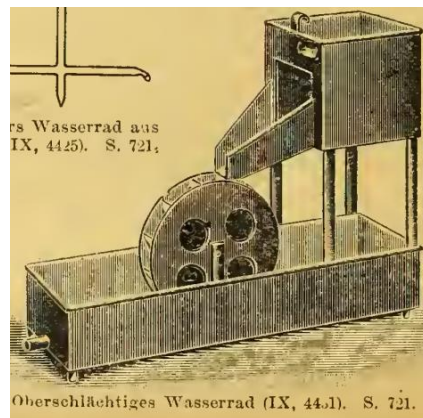
vložené do ok zasahovalo dole do proudící vody (Obr.499). Velká vodní kola poháněla mlýny na mouku. Až do poloviny 19.století byla vodní kola hlavním druhem motoru. Potom je postupně



Obr.499 Vodní kolo v přírodě



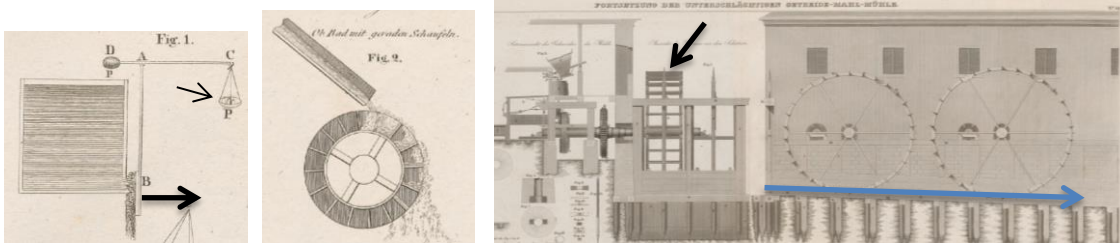
Obr.500 Pokus s vodním kolem



Obr.501 Školní vodní kolo (r.1914)

vytlačily daleko výkonnější parní stroje, nejen z mlýnů na obilí, ale hlavně ze vznikajícího průmyslu.

**HT** Vodní kola byla používána v Evropě jako pohon k mletí obilí již před 2 tisíci lety, jak to dokládají archeologické nálezy z období císařského Říma (Lit.54). Na mědirytině z roku 1830 vidíme mlýnská kola na spodní vodu (obr.503 šipky). Vedle vlevo je vidět na společné hřídeli mlýnský stroj (Lit.7).



Obr.502 Tlak vody    Obr.502A Kolo    Obr.503 Mlýn na mouku s dvěma koly na spodní vodu

Náčrtek sestavy k měření tlaku vody za výtokovým otvorem v nádobě ukazuje Obr.502 (šipka dole). Tlak vody byl vyvažován pomocí úhlové dvouzvrtné páky, závaží se kladla na misku zavěšenou na druhé rameno páky (šipka nahoře). Mědirytina pochází z vysokoškolské učebnice vydané v Praze v roce 1832 (Lit.7). Tehdy užívaný typ nejjednoduššího vodního kola s přímými lopatkami vidíme na Obr.502A. Vodní kola v obilních mlýnech a často také mlýny samotné zmizely v průběhu 20.století. V současnosti vodní kola nalezneme nanejvýš v muzeu nebo zcela výjimečně jako vzácnou technickou památku venku za provozu na vodním toku (Obr.504 až Obr.506).



Obr.504 Kolo na horní vodu    Obr.505 Vodní kolo na horní vodu    Obr.506 Kolo na spodní vodu

### 31. Petrolejová lampa roztočí reaktivní motor a model kola turbíny

\*\*\*\*\*

K našemu pokusu budeme potřebovat stojan z ocelových dílů stavebnice, nit' se zavěšeným magnetem, papír, nůžky, průhlednou lepicí pásku, kruhové víčko od plechové krabičky, petrolejovou lampu a zápalky. Navíc můžeme v druhé části pokusu pozměnit a použít již hotový model vodního kola.



Obr.507 Model motoru    Obr.508,509 Výtok teplého vzduchu trubicemi    Obr.510 Petrolejka

Z archu papíru vystříháme obdélníky a svineme je do tvaru válců. Největší válec našeho modelu reaktivního motoru byl natočen kolem víčka krabičky a měl průměr cca 12cm a výšku asi 15 cm. (Obr.507 šipka). Trubičky o menším průměru 2,5cm sloužily k vystřížení částí z kterých byly slepeny dvě úhlové výtokové trubice. Před přilepením úhlových trubic na těleso motoru vystříhneme do hlavního válce dva otvory. K přelepení švů použijeme průhlednou lepicí pásku. Spojení nemusí být úplně těsné. Na víčko můžeme zvenku přidat kruhový papírový terčik, na něj přiložíme závěsný magnet a další magnet umístíme proti němu dovnitř válce. Model motoru zavěsíme na stojan a pohybem magnetu model vyvážíme do svislé polohy (Obr.510). Po přistavení petrolejové lampy pod model se model za několik vteřin začne otáčet se směru šipek (Obr.510). Příčinou otáčení je akční výtok teplého vzduchu z otvorů obou úhlových trubic směrem ven (Obr.508,509 červené šipky). Reakční síly v důsledku toho otáčejí modelem motoru kolem svislé osy.



Obr.511 Rotor modelu



Obr.512 Závěs rotoru

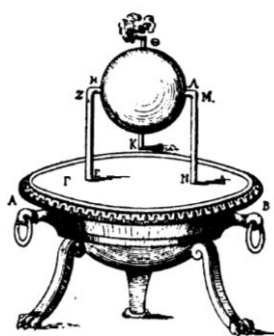


Obr.513 Teplý vzduch

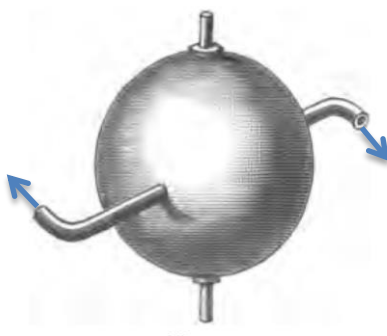


Obr.514 Točení modelu

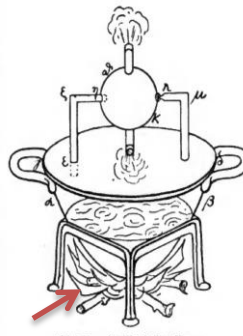
Podobné účinky akce a reakce můžeme pozorovat na axiální turbíně, která vznikne přestavením lopatek vodního kola. Lopatky vytáhneme ze zátky ven a do zátky vytlačíme nožem po obvodě šikmé zářezy. Do nich vložíme lopatky zpět, šikmo a v původních pravidelných odstupech (Obr.511 šipka). Pomocí závěsného magnetu umístíme rotor těsně nad skleněný kryt petrolejové lampy (Obr.513). Akční silou nárazu teplého vzduchu na šikmou lopatku vznikne reakční síla. Rotor se roztočí ve směru šipky (Obr.514).



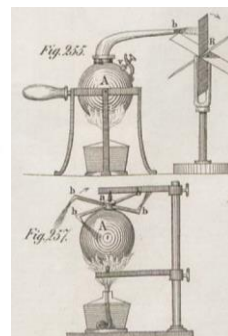
Obr.515 Parní model



Obr.516 Model turbíny



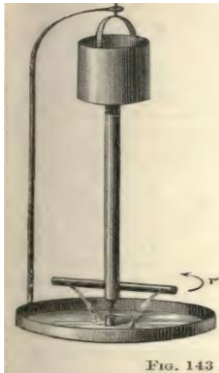
Obr.517 Kotel a turbína



Obr.518 Dva modely

**HT** Náš pokus je podobný experimentu, který provedl před necelými 2000 lety fyzik Herón Alexandrijský, který žil v 1.století našeho letopočtu (Lit.54). Podle dochovaných zpráv byl pokus proveden s vodní párou vznikající v kotli zahříváném ohněm (Obr.517 Lit.30 šipka). Pára byla přiváděna z kotle do rotoru volně uloženým potrubím, rotor měl tvar koule. Na kouli byly upevněny dvě

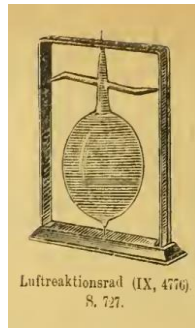
výtokové trysky z nichž unikala tlaková pára (Obr.516 šipky). Stejný pokus najdeme na rytině Obr.515 (Lit.35). Na starší litografii z roku 1844 je dole znázorněn Heronův pokus, v horní části pak jej vidět model otáčejícího se mlýnku poháněného tryskající parou (Lit.10).



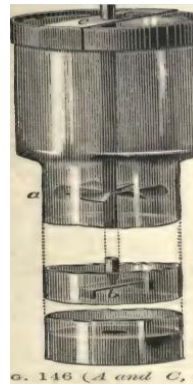
Obr.519 Model



Obr.520 Model



Obr.521 Model

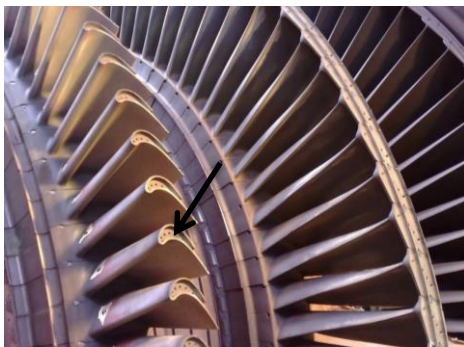


Obr.522 Turbina

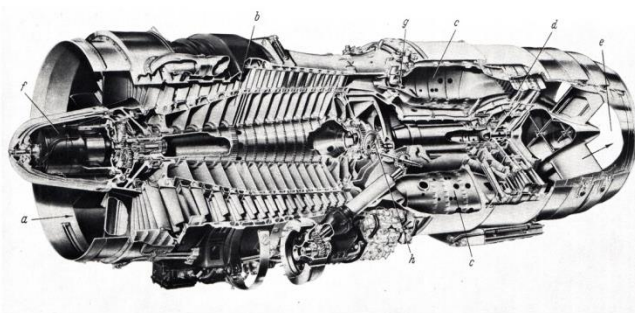


Obr.523 Turbina

Na Obr.519 vidíme školní model Heronova pokusu z roku 1875 v provedení s vodou, která do rotoru přitékala z nádoby v horní části modelu (Lit.17). Skleněný závěsný vodní model pro školy z roku 1914 je na Obr.520. Model z roku 1914 provozovaný s horkým vzduchem ukazuje Obr.521(Lit.39). Model axiální turbíny na vodu z roku 1912 je vidět na Obr.522 (Lit.38). Současný (r.2025) model turbíny roztáčené foukaným vzduchem v sobě spojuje ukázkou motoru se setrvačnickem na magnetické ose. Lopatky oběžných kol současných axiálních plynových turbín mají složitě zakřivený tvar, kvůli tepelnému namáhání musí být zevnitř chlazeny (Obr.524, šipka otvory). Jak složitý byl již v roce 1948 proudový letecký motor Rolls-Royce s mnohostupňovým turbokompresorem vzduchu, spalovacími komorami a turbínou můžeme usoudit ze snímku na Obr.525 (Lit.47).



Obr.524 Lopatky spalovací turbíny



Obr.525 Řez kompresorem a turbínou motoru z r.1948

### 32. Svíčka zvedne vodu v lahvi nad okolní hladinu

\*\*\*\*\*

K provedení pokusu budeme potřebovat misku s vodou, nejlépe obarvenou troškou modré skalice. Do vody postavíme na podložku hořící svíčku, kterou přiklopíme sklenicí. Okraj převrácené sklenice bude pod hladinou vody. Svíčka bude nějakou dobu hořet, ale nakonec zhasne. Přitom hladina vody pod sklenicí stoupne nad hladinu vody v kádince (Obr.527,529 šipky). Na otázku proč plamen zhasnul

asi budeme znát první odpověď – byl spotřebován kyslík obsažený v objemu vzduchu uzavřeném pod sklenicí. Tím se zdá možné, že se namísto kyslíku dostala voda. Má to ale háček. Spalováním vosku vznikla vodní pára a také kysličník uhlíčitý. To znamená nový objem, který tam před tím nebyl. Musíme hledat ještě jiné vysvětlení. Je zde další možnost.



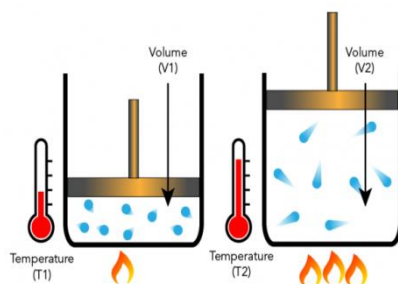
Obr.526 Svíčka hoří Obr.527 Hladina stoupla Obr.528 Svíčka hoří Obr.529 Hladina stoupla

Během pokládání sklenice dnem nahoru na svíčku byl ve sklenici zachycen horký vzduch se spalinami. Po uhasnutí svíčky se plyny uzavřené pod sklenicí ochlazovaly a tím se zmenšoval jejich objem. V důsledku toho došlo k vtahování vody do sklenice, nad úroveň okolní hladiny v kádince.

**HT** Podívejme se zpátky v čase kdo a kdy takový pokus v minulosti pečlivěji než my zaznamenal a zveřejnil výsledky.



Obr.530 J.L.Gay-Lussac



Obr.531 Roztažnost plynů

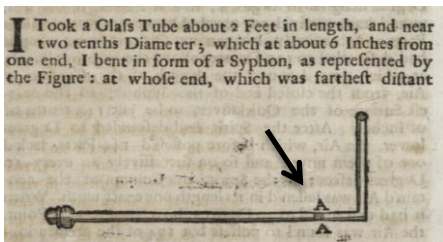


Obr.532 J.Charles

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$
$$T = t + 273,15 [K]$$

Obr.533 Charlesův zákon

Francouzský fyzik Jacques Charles (\*1746 +1823) studoval změnu objemu plynů s teplotou, výsledky však nezveřejnil tiskem(Obr.532). V roce 1802 zákon o roztažnosti plynů za stejného tlaku zveřejnil francouzský fyzik Joseph Louis Gay-Lussac (\*1778 +1850), přitom poctivě uznal prvenství Charlese (Obr.530). Tím se nalezený fyzikální jev stal v povědomí veřejnosti a také v učebnicích Charles/Gay - Lussacovým zákonem. Zákon říká, že pro ideální plyn je poměr objemů plynu za stejného tlaku v poměru jejich absolutních teplot ( T ve stupních Kelvina)(Obr.531,533). Má to ale jeden háček. Na někoho se zapomnělo. Jev pozoroval při experimentu již v únoru 1708 v Londýně fyzik Francis Hauksbee (\*1660 +1713), asistent fyzika Isaaca Newtona (Obr.536).



Obr.534 Popis skleněné trubice

Degrees.	Parts.
20	143
30	142
40	141
50	140
60	139
70	138
80	137
90	136
100	135
110	134
120	133
130	132
140	131
150	130
160	129
170	128
180	127
190	126

Obr.535 Tabulka výsledků



Obr.536 F.Hauksbee

Haugsbée své výsledky publikoval již v roce 1708 v Philosophical Transactions of the Royal Society of London jako referát o měření roztažnosti objemu vzduchu s rostoucí teplotou. Součástí referátu byl náčrt skleněné trubice s kapkou rtuti (Obr.534 šipka) a tabulka výsledků měření (Obr.535). Trubice byla při pokusu vložena do vodní lázně. S postupným ohřevem vody se kapka rtuti posouvala, velikost posuvu byla mírou zvětšení objemu uzavřeného vzduchu.

### 33. Pírko dohání padající korunu

\*\*\*\*\*

K dalšímu pokusu budeme potřebovat nádobku k uchování potravin pod částečným vakuem, čerpadlo k ní, kuchyňský minutovník, minci a slepičí pírko. Nejdříve vyzkoušíme, jestli čerpadlo a minutovník řádně fungují. Potom si zkusíme jak rychle padá ze stejné výšky na stůl mince a pírko.



Obr.537 Příprava pokusu



Obr.538 Pírko a koruna



Obr.539 Pírko a koruny spadly

Do nádoby dáme pírko a minci a zavřeme víčko. Hbitě obrátíme nádobu vzhůru nohama o povšimneme si obou rychlostí pádu (Obr.539). Pak čerpadlem vytvoříme v nádobce částečné vakuum.



Obr.540 Minutovník se zvonkem

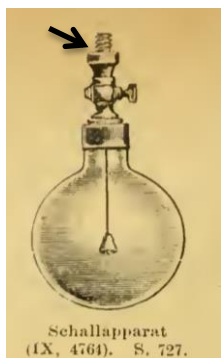


Obr.541 Zvonení je hůř slyšet

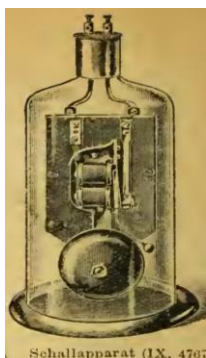


Obr.542 Vakuová komora (r.1920)

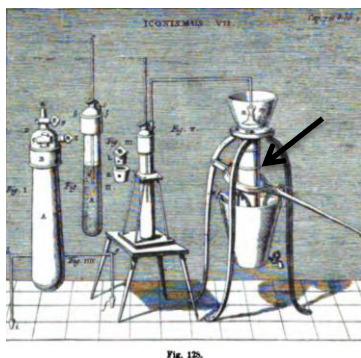
Nádobku opět převrátíme a sledujeme rychlost pádu mince a pířka. Zjistíme, že se rozdíl rychlostí zmenšil. V další části pokusu z nádoby vyndáme minci a pířko. Do nádoby položíme natažený minutovník na kapesník. Víčko uzavřeme, počkáme až minutovník začne zvonit a budeme si pamatovat jak silně zvonil. Potom minutovník znovu natáhneme, vložíme na kapesník do nádoby, kterou uzavřeme a čerpadlem vytvoříme částečné vakuum. Počkáme na zazvonění a porovnáme jeho sílu s předchozím zvoněním. Zjistíme, že v částečném vakuu bylo zvonění slyšet méně. Zřejmě jsme byli svědkem toho, že zředěný vzduch v nádobce kladl menší odpor při pádu pířka a vedl méně ochotně zvuk zvonku.



Obr.543 Pokus



Obr.544 Pokus



Obr.545 Guericke – pumpa



Obr.546 Guericke – pokus

**HT** Školní pomůcky z roku 1914 k ukázání jevu, že ve zředěném vzduchu zvuk zvonku slábne, vidíme na Obr.543,544 (Lit.39). V baňce na Obr.543 bylo vakuum vytvářeno externí vývěvou napojenou na šroubení s uzavíracím ventilem (šipka), zatřesení zvonkem bylo pak méně slyšet. Vedlejší moderní provedení užívalo k pokusu elektrický zvonek. Vakuum se podařilo vytvořit už dávno, v druhé polovině 17.století. Starosta německého města Magdeburg a úspěšný vynálezce, který se jmenoval Otto Guericke (\*1602 +1686), k tomu účelu sestrojil ruční vakuovou pumpu. Pumpa z roku 1663 se zachovala nejen na vyobrazení (Obr.545 Lit.1899), ale v originále v muzeu dodnes (Obr.547 šipka nahoře). Guericke se velmi silně zapsal do vědomí tehdejší veřejnosti předváděním velkých názorných pokusů.



Obr.547 Originál pumpy



Obr.548 Guercke



Obr.549 Pumpa



Obr.550 Pístová vakuová pumpa

Pomocí své pumpy vytvářel vakuum ve složené kulové nádobě, kterou pak nemohlo odtrhnout množství závaží (Obr.546). Ovšem největšího věhlasu dosáhl, když poslancům a hodnostářům celoněmeckého sněmu v Norimberku v roce 1654 předvedl, jak čtyři páry koní zapřažených z každé strany nemohou od sebe oddělit poloviny vakuované nádoby. Zachovaná nádoba má průměr asi 420mm (Obr.547), při atmosférickém tlaku 103kPa a plném vakuu by síla potřebná k oddělení měděných polokoulí od sebe teoreticky dosáhla až 14,2 kN (1.448 kg 1,4 tuny). Tažná síla, která by

připadla na jednoho koně by pak byla  $P=14.200/8=1775\text{N}$  (181kg). Vyvinout takovou sílu v zápřahu by nesvedli koně ani dnes.

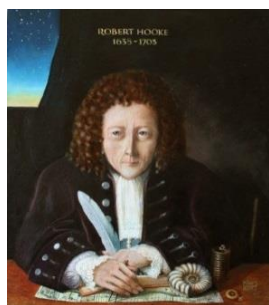
Školní provedení vakuové pumpy vidíme na Obr.550. Historická vakuová komora (Obr.549) a novější malá komora z roku 1920 (Obr.542) sloužily rovněž k pokusům, ovšem ve skromném měřítku.

Otto Guericke měl v Anglii významné současníky, rovněž vynikající fyziky a vynálezce. Byli jimi Robert Boyle (\*1627 +1691)(Obr.551) a Robert Hooke (\*1635 +1703 ) jehož fiktivní portrét je na Obr.552.

Oba jmenovaní věděli o pokusech, které Guericke veřejnosti předvedl. Zkonstruovali k pokusům vlastní vakuovou pumpu poháněnou ozubeným kolem a hřebem (Obr.556 šipka). V napojené skleněné baňce prováděli vlastní pokusy, k proslulým patřil pokus s mincí a pírkem (feather and guinea experiment). K pokusu použili tehdy v Anglii nově zavedenou zlatou minci guinea ( 25,4mm průměr, cca 8 gr.váha, Obr.554). Zkusme se ve fantazii přenést pomocí fiktivního obrazu současné britské malířky Rity Greer o staletí zpět do minulosti, kdy pánové Boyle a Hooke možná právě teď provádějí ve skladu lékárny v Oxfordu svůj experiment s volným pádem mince a pírka ve vakuu(Obr.555) (Lit.43).



Obr.551 Robert Boyle



Obr.552 Robert Hooke



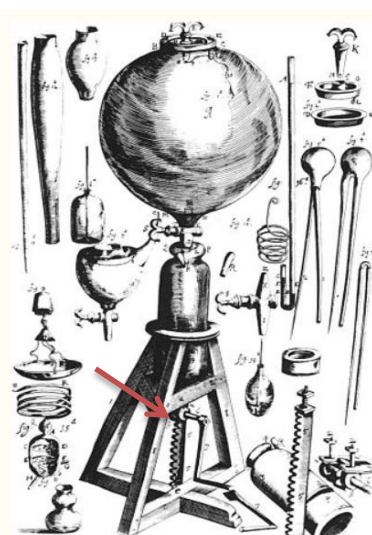
Obr.553 Lehké pírko



Obr.554 Mince guinea



Obr.555 Robert Boyle a Robert Hooke ve skladu lékárny



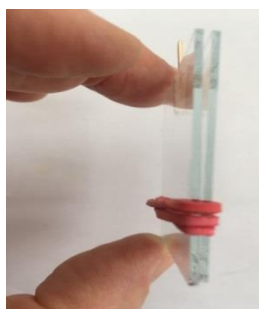
Obr.556 Vakuové čerpadlo

Skleněná baňka na současném fiktivním obraze odpovídá dobové rytině, na obraze je také věrně zachyceno původní vakuové čerpadlo s ozubeným pohonem (Obr.555,556).

### 34. Kapilární jev mezi sklíčky

\*\*\*\*\*

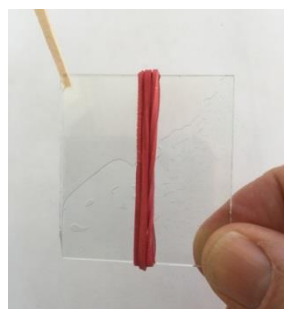
K našemu pokusu budeme potřebovat několik tenkých sklíček, nejlépe o rozměru 50x50mm. Nejdříve na zkoušku mezi sklíčka vložíme dřívko a spojíme je gumičkou (Obr.557). Vyzkoušíme, jestli bude v mezeře ve tvaru klínu stoupat slabý roztok modré skalice ve vodě (Obr.560 šipka). Zkouška byla úspěšná, nyní již víme jaké mají mít rovnoběžné mezery mezi sklíčky rozměry při dalším postupu. Z tenkého kartonu ustříháme několik proužků, měřením posuvným měřítkem bylo zjištěno, že dva, tři a šest papírových proužků mezi sklíčky vytvoří mezery cca 0,3mm 0,5mm a 1mm. Sklíčka stahneme v místě uložení papírových proužků plastovými svorkami, mezery pak budou všude stejné, roviny sklíček zůstanou rovnoběžné (Obr.561).



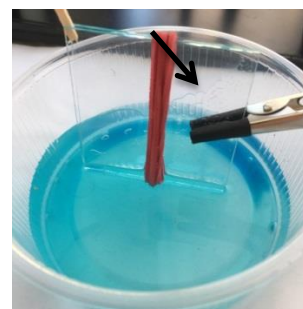
Obr.557 Sklíčka



Obr.558 Sklíčka



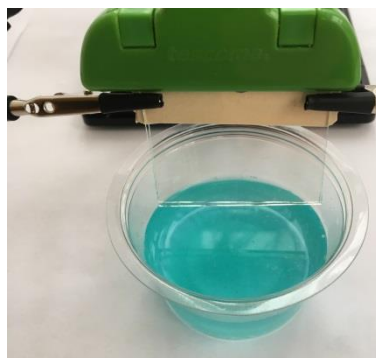
Obr.559 Klínová štěrbina



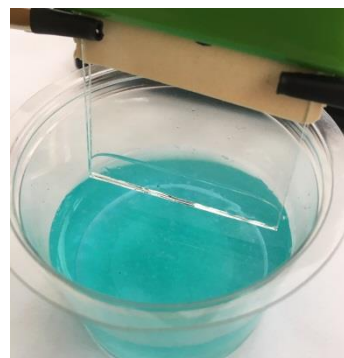
Obr.560 Vzlínání roztoku



Obr.561 Tři mezery mezi sklíčky

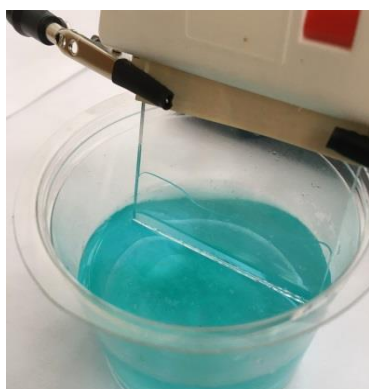


Obr.562 Mezera 1 milimetr



Obr.563 Mezera 1 milimetr

Nyní sklíčka upnutá do dalších dvou svorek a stojánku opatrně přiblížíme do misky k hladině roztoku modré skalice, až se sklíčka dotknou hladiny (Obr.562). Při mezeře mezi sklíčky 1mm vystoupí roztok do výšky asi 8mm od hladiny. Při mezeře 0,5mm dosáhne roztok výšky asi 12mm (Obr.563). Při mezeře 0,3mm byla dosažená výška asi 15mm. Zjistili jsme, že menší mezera mezi sklíčky umožní, aby roztok stoupal výše. Pro zajímavost přidáme do roztoku modré skalice 4 kapky prostředku PUR pro ruční mytí nádobí, roztok zamícháme. Pak k roztoku přiblížíme sklíčka, která jsme před tím umyli a vysušili. Sklíčka s mezerou 1 mm ukazuje Obr.565. Roztok vystoupal jen do výšky asi 2 až 3 milimetry (dříve s roztokem čisté vody s troškou modré skalice 8mm). Mycí prostředek silně poškodil schopnost roztoku stoupat v mezeře mezi rovnoběžnými sklíčky. Navíc vzniklé bubliny neumožnily přesnější odečet výšky kam až roztok vystoupal (Obr.566).



Obr.564 Mezera 0,3 milimetru



Obr.565 Roztok s PУRem



Obr.566 Bubliny v roztoku

V další části pokusu byl namísto vodného roztoku modré skalice ( $\text{CuSO}_4$ ) použit líh a petrolej. Na Obr.567 vidíme pokus se sklíčky vzdálenými od sebe 1mm. Po opatrném smočení hrany sklíček o hladinu lihu bylo zjištěno, že líh se dostal do menší výšky než vodný roztok modré skalice (Obr.568). Při stejném pokusu s petrolejem byla dosažená výška také nižší při pokusu s vodou. V obou případech byla výška asi třetinová ve srovnání s čistou vodou (Obr.569,570).



Obr.567 Alkohol 1mm



Obr.568 Alkohol 1 mm



Obr.569 Petrolej 1 mm



Obr.570 Petrolej 1 mm

**HT** Uvedené výsledky pozorování vcelku dobře ukazují rozdíly v povrchovém napětí vody, lihu a petroleje. Nahlédnutím do technických příruček zjistíme pro normální laboratorní podmínky povrchové napětí čisté vody ve výši cca 73miliNewtonů/metr ( $\text{mN/m}$ ), pro etylalkohol cca 22  $\text{mN/m}$  a pro petrolej 27 $\text{mN/m}$ . Vztlínavost roztoků je možno také ukázat na skleněných kapilárách kruhového průřezu. Na Obr.571 je dobře vidět, že čím menší průměr kapilára má, tím výše obarvená voda stoupne. Mokvání kostkového cukru odspodu je dobře viditelné tehdy, když je voda na dně nádoby výrazně obarvena (Obr.572).



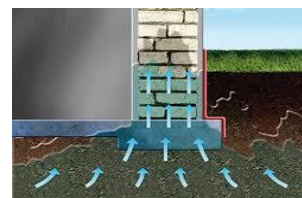
Obr.571 Kapiláry



Obr.572 Kostový cukr



Obr.573 Savý textil



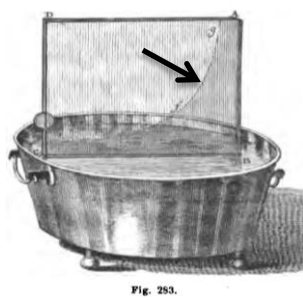
Obr.574 Vlhkost ve stěně

Zkroucený savý papír nebo textilní knoty vykonají stejnou službu (Obr.573). Stoupání vlhkosti ze země ve drobných nepravidelných kapilárách uvnitř stavebních materiálů ukazuje kapilární jev také velmi pěkně (Obr.574,575).

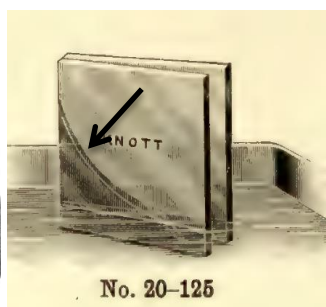
Pokus s většími do klínu složenými sklíčky z roku 1899 ukazuje rytina Obr.576 (Lit.35). Katalog školních pomůcek vydaný v roce 1912 v USA zahrnoval pokusná sklíčka a přípravek k vytvoření klínové mezery mezi nimi (Obr.577,Lit.38). Kresba na Obr.578 ukazuje pokus se sklíčky drženy v přípravku, sklíčka byla dole smáčena kapalinou(Lit.17). Povšimneme si nyní křivek, které vytvořila hladina v klínové mezeře na všech třech historických ukázkách (Obr.576-578 šipky). Křivky jsou rovnoosými hyperbolami, jak prokázal již roku 1713 anglický fyzik Francis Hawksbee (Lit.35).



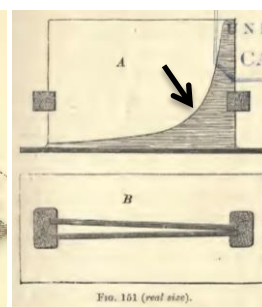
Obr.575 Vlhká stěna



Obr.576 Sklíčka Lit.35



Obr.577 Sklíčka Lit.38



Obr.578 Sklíčka Lit.17

### 35. Prázdná láhev a sklenice v mrazáku

\*\*\*\*\*

K provedení pokusu budeme potřebovat plastovou láhev s těsným uzávěrem, zavařovací sklenici, gumovou rukavici a gumičky. Plastovou láhev uzavřeme a pevně dotáhneme víčko (Obr.579). Pak láhev dáme asi na ½ hodiny do mrazicího oddělení ledničky. Po vyjmutí zjistíme, že se láhev pobýtem v prostoru o teplotách asi  $-16^{\circ}\text{C}$  až  $-20^{\circ}\text{C}$  ztuhlila (Obr.580). Z toho lze usoudit, že objem vzduchu



Obr.579 Plastová láhev



Obr.580 Plastová láhev



Obr.581,582 Sklenice uzavřená gumovou blánou

o teplotě stejné jako v místnosti, který byl zavřen v láhvi, se za teploty kolem  $-18^{\circ}\text{C}$  zmenšil. Ještě zkusíme zavřít sklenici do ledničky. Na zavařovací sklenici natáhneme rovnou část gumové rukavice a kolem hrdla natáhneme raději dvě gumičky, aby byl spoj těsný (Obr.581). Na hrdle bude natažena rovná gumová blána (Obr.582). Teď umístíme láhev asi na ½ hodiny do ledničky, kde bývá většinou asi  $+5^{\circ}\text{C}$ . Na obrázku Obr.853 vidíme jak byla po vyjmutí sklenice z ledničky gumová blána na sklenici prohnutá dovnitř. V další části pokusu dáme sklenici asi na ½ hodiny do mrazáku. Potom,co vyjmem sklenici ven, bude gumová blána prohnutá dovnitř ještě víc (Obr.584). Z toho co jsme během pokusu

prokázali se dá usoudit, že objem vzduch za teploty místnosti +20°C se pobytem v ledničce při +5°C zmenšil a při -18°C se zmenšil ještě daleko víc. Zjistili jsme přímou úměru mezi teplotou a objemem vzduchu.

**HT** Závislost mezi teplotou a objemem platí i pro jiné plyny. Na Obr.585 vidíme přípravu stratosferického balonu ke startu před průzkumem stratosféry ve velkých výškách. Balony se plní asi z 1/5 objemu heliem nebo vodíkem. Při stoupání do výšek až 35km se původní objem plynu za nižší teploty až -50°C sice zmenšuje, ale zároveň výrazným poklesem tlaku okolního vzduchu ve značné výšce daleko víc zvětšuje. Výsledkem je kulový tvar balonu ve vysoké výšce. První stratosferický balon se vznesl do výše 16km ve Švýcarsku v roce 1930. S teplotou mění svůj objem také voda.



Obr.583 Láhev v ledničce Obr.584 Láhev zmražená Obr.585 Stratosferický balon

**HT** Změn objemu vody s teplotou si v 17.století století povšimnul holandský fyzik Cornelis Drebbel (\*1572 +1633), jeho portrét z roku 1628 vidíme na Obr.587. Baňku s vodou, která byla opatřena úzkým hrdlem ponořeným v nádobě s vodou, zahříval při pokusu ohněm (Obr.586 šipka Lit.35). Při zvyšující se teplotě baňky pozoroval pohyb vody v průhledném hrdle. Z toho usoudil, že se voda při zvyšování teploty roztahuje. Domníval se, že poznatek bude vhodný ke konstrukci teploměru. První trvale použitelný teploměr se stupnicí, který byl založen na roztažnosti uzavřené lihové náplně, sestrojil fyzik a vynálezce Daniel Fahrenheit až v roce 1713.

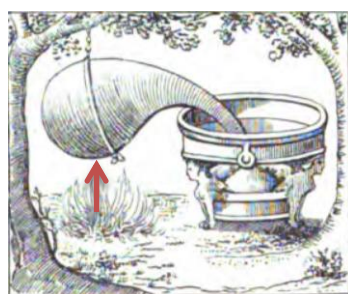
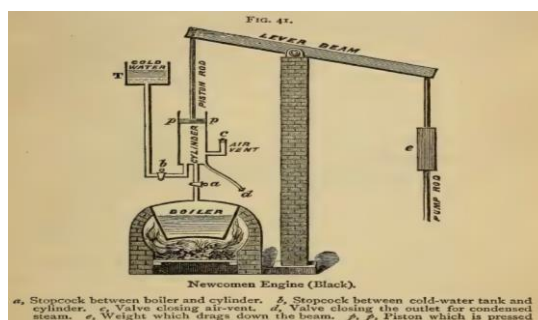


Fig. 111.



ANNO M.DC.XXVIII.



Newcomen Engine (Black).  
a, Stopcock between boiler and cylinder. b, Stopcock between cold-water tank and cylinder. c, Valve closing air-vent. d, Valve closing the outlet for condensed steam. e, Weight which drags down the beam. f, Piston which is pressed down by the atmosphere when the cylinder is empty.

Obr.586 Roztažnost vody

Obr.587 C.Drebbel

Obr.588 Atmosférický parní stroj Lit.18 r.1876

Naopak smršťování a kondenzaci vodní páry ochlazené za přibližně atmosférického tlaku vstříkovanou studenou vodou pozoroval v Anglii vynálezce Thomas Newcomen. Poznatku využil ke konstrukci atmosférického parního stroje, který úspěšně uvedl do provozu v roce 1712 (Obr.588, Lit.18).

### 36. Hořící svíčka za sklenicí

\*\*\*\*\*

K provedení pokusu budeme potřebovat sklenici, svíčku, zápalky, nějaký předmět z broušeného skla a broušenou skleněnou mísu. Nejdříve zapálenou svíčku pozorujeme za prázdnou sklenicí (Obr.589, 590). Obrácením a natáčením sklenice se obraz pozorované svíčky příliš nezmění. Potom naplníme sklenici vodou. K našemu překvapení se obraz svíčky ve vodorovném směru roztáhne. Také vidíme více plamenů anebo jeden široký plamen (Obr.591,592). Přitom svíčka za sklenicí je stále jen jedna.



Obr.589 Svíčka za sklenicí Obr.590 Svíčka za sklenicí Obr.591,592 Podivný obraz svíčky skrz vodu



Obr.593 Zvětšený podivný obraz svíčky skrz vodu Obr.594 Mnohostěn ze skla a svíčka

Pokud budeme pozorovat svíčku pomocí skleněného broušeného mnohostěnu uvidíme zrcadlením obraz téže jedné svíčky vícekrát (Obr.594 – 596). Zkusíme umístit svíčku na různá místa u skleněné broušené mísy (Obr.597).



Obr.595,596 Obraz svíčky zrcadlený mnohostěnem Obr.597 Broušená mísa a svíčka

Rovněž broušená skleněná mísa poslouží dobře k pozorování více obrazů svíčky. Vidíme namísto jednoho obrazu hned dva (Obr.600). Zkusíme ještě obrátit mísu dnem nahoru (Obr.601).



Obr.598 Okraj mísy a svíčka

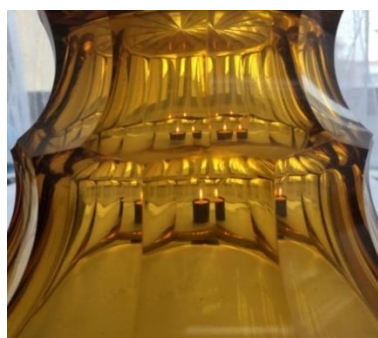


Obr.599 Okraj mísy a svíčka



Obr.600 Dvojitý obraz svíčky

Uvidíme nejen dvojitý obraz, ale dokonce několik dvojitých obrazů svíčky (Obr.602,603).



Obr.601 Vícenásobný obraz



Obr.602,603 Zvětšené obrazy svíčky jak je ukazuje broušená mísa

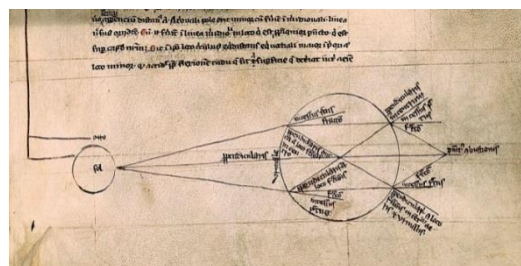
**HT** Válcová sklenice s vodou působila při pozorování svíčky jako čočka. Takové vypuklé a vyduté válcové čočky se vyrábí průmyslově (Obr.604). Jejich účelem je zvětšit obraz předmětu jen v jednom směru. Jako čočky sloužily v minulosti skleněné kulové nádoby naplněné vodou. Popis takové čočky se vyskytuje již ve spisech římských autorů z doby před téměř 2000 lety. Nákres kulové čočky v rukopisu františkánského mnicha, který žil ve 13.století a jmenoval se Roger Bacon, vidíme na Obr.606. Někdy najdou čočky archeologové. Snímek na Obr.605 ukazuje jednu z nalezených čoček ve tvaru kulové úseče a rotačního paraboloidu, které byly z vybroušeny z křišťálu a vsazeny do stříbrného filigránu. Čočky byly nalezeny roku 1999 během archeologického průzkumu hrobu Vikingů na švédském ostrově Gotland . Čočky pocházejí podle archeologů pravděpodobně z 12. století.



Obr.604 Válcové čočky



Obr.605 Čočka ve stříbře



Obr.606 Skleněná nádobka s vodou jako čočka

### 37. Zvláštní (termovizní) kamera pozoruje kachnu na pekáči

\*\*\*\*\*

Další pokus provedeme během pečení kachních prsou na pánvi z korozivzdorné oceli (Obr.607).



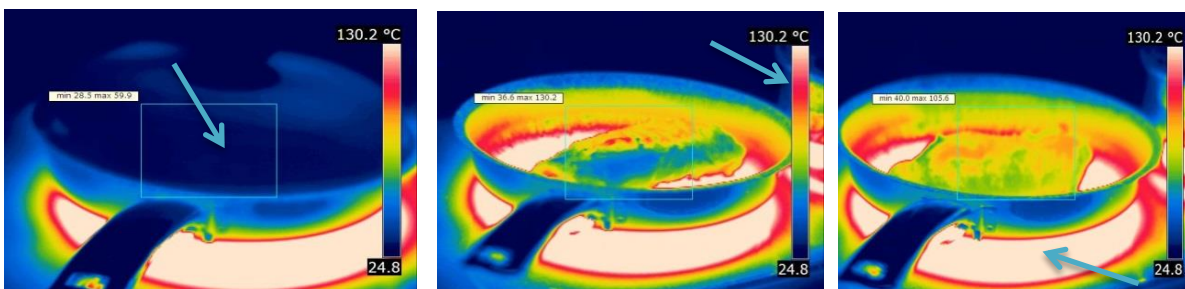
Obr.607 Syrová kachna    Obr.608 Kachna se začíná péct    Obr.609 Kamera pozoruje kachnu

K pokusu budeme potřebovat kameru, která má schopnosti přijímat infračervené záření o vlnových délkách od 8 do 14 mikrometrů. Takovou kamerou je starší model z roku 2007, vybavený optikou z berylia (Obr.610), která nepropouští viditelné světlo (Obr.611,612 šipka). Kamera ukazuje obraz v barvách na displeji (Obr.610 šipka). Modrá barva na snímku označuje nízkou teplotu povrchu, červená vysokou. Na displej se také promítá měřítko teplot povrchu kachní pečinky (Obr.614 šipka). Pokud přikryjeme pánev skleněným příklopem kachna ze snímku zmizí ! (Obr.613 šipka). Nemusíme mít obavy, silnější sklo jen nepropustilo tepelné záření a kamera proto „vidí“ teplotu povrchu skleněné poklice. Povšimneme si, že nejvyšší teplotu má keramická varná deska pod pánví (Obr 615 šipka).



Obr.610 Kamera FLIR E301    Obr.611,612 Optika kamery nepropouští viditelné světlo

Termovizní kamery slouží hlavně k bezdotykovému měření teplot na dálku až několik desítek metrů.

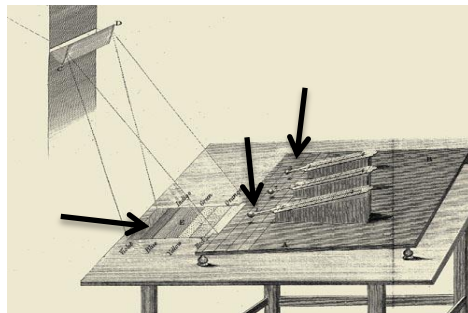


Obr.613 Pánev je zakryta víkem    Obr.614,615 Povrchová teplota pečené kachny stoupá

**HT** Prvním, kdo dokázal v roce 1800 existenci neviditelného infračerveného záření, byl fyzik Friedrich Wilhelm (William) Herschel (\*1738 +1822), který působil hlavně v Anglii (Obr.616). Herschel pomocí prisma rozkládal sluneční světlo na jednotlivé barvy spektra (Obr.617 šipka vlevo). Potom na různá místa stolu pokládal teploměry, jeden také mimo pás barev, až za červenou barvu (šipka uprostřed). Během měření zjistil, že teplota ukazovaná tímto teploměrem byla vyšší nežli byly údaje ostatních teploměrů ležících na stole dále od spektra (Obr.617 šipka vpravo). Rozdíl teplot přivedl Herschela na myšlenku, že v oblasti spektra za červenou barvou se bude nacházet jakási další složka slunečního záření, která je lidským okem neviditelná.



Obr.616 W.Herschel



Obr.617 Objev infračerveného záření



Obr.618 W.Herschel objevil IR-záření

Herschel byl rovněž astronomem, který objevil planetu Uran. Podle jeho návrhu byly postaveny velké hvězdářské dalekohledy (Obr.618 šipka). Navíc byl také hudebním skladatelem, sám hrál na čelo, hoboj a varhany. Svou hudební dráhu začal ve 14 letech jako vojenský hudebník v britských službách.

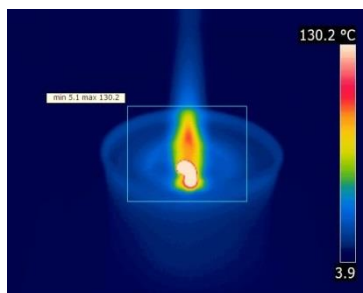
### 38. Termovizní kamera pozoruje svíčku pod zvětšovací sklem a také v zrcadle

\*\*\*\*\*

Pro náš další pokus budeme opět potřebovat nezvyklé vybavení. Kameru, která doslova „vidí“ sálající teplo, dále pak svíčku, petrolejovou lampu a zápalky. V našem pokusu bude infračervená termovizní kamera pozorovat hořící svíčku (Obr.620), později také svíčku pod zvětšovacím sklem (Obr.619). Obraz plamene svíčky zrcadlí se na povrchu matně lakovaného hliníkového plechu je vidět na snímku. Nepřekvapilo nás, že obraz svíčky je na fotografickém snímku pouze náznakový (Obr.621). Rubová strana plechu je kovově lesklá, zrcadlí se obraz svíčky je daleko podrobnější (Obr.622)



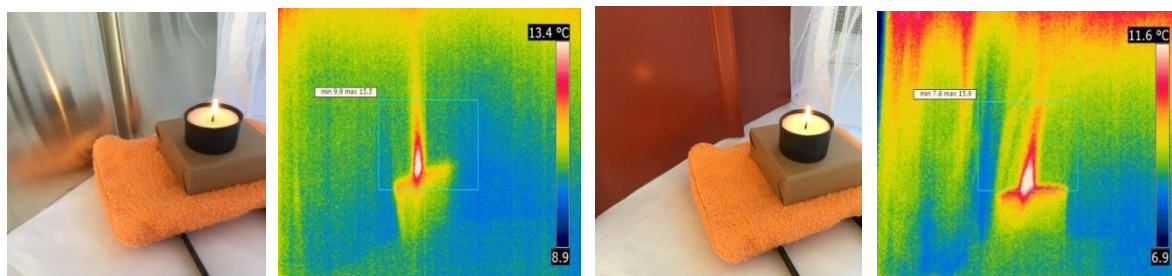
Obr.619 Svíčka pod lupou



Obr.620 Kamera vidí svíčku



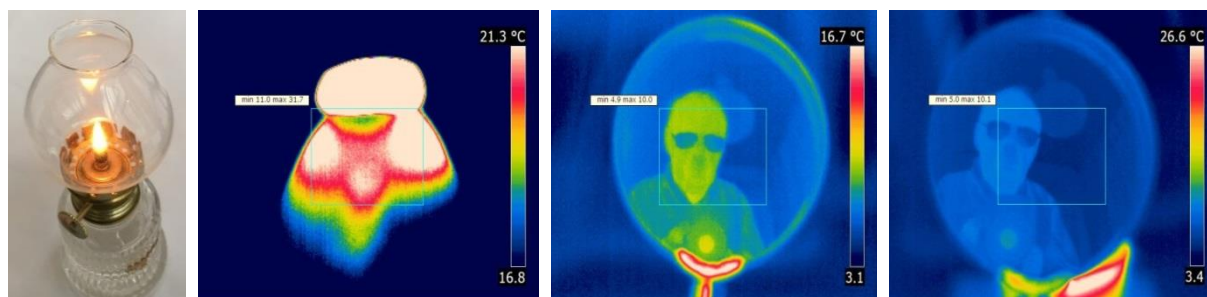
Obr.621 Obraz plamene svíčky



Obr.622,623 Odrasy plamene svíčky

Obr.624,625 Odrasy plamene svíčky

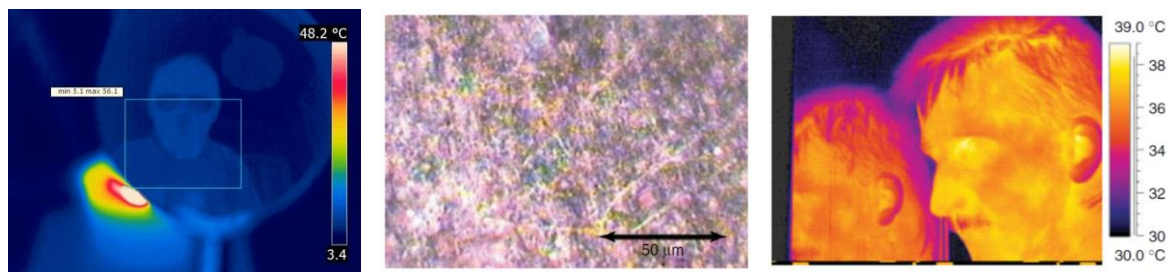
Podívejme se nyní spolu s termovizní kamerou na zrcadlení plamene svíčky v oboru infračerveného záření (Obr.623). Při odrazu lesklou plochou plechu je obraz svíčky daleko podrobnější, obraz je zřetelný. Obraz plamene svíčky získaný zrcadlením na matné ploše laku je vcelku podobný (Obr.625). Infračervené „světlo“ umí při zrcadlení překonat nerovnosti, které jsou pro lidské oko a pro viditelné světlo nepřekonatelnou překážkou. Podívejme se termovizní kamerou ještě na hořící petrolejovou



Obr.626,627 Snímky krytu petrolejky

Obr.628,629 Snímky hořící svíčky pod lupou

lampu. Lampa je vybavena tenkým skleněným krytem, skrz který plamen dobře vidíme (Obr.626). Jinak tomu bude při pozorování lampy infračervenou kamerou (Obr.627). Svítící plamen není na snímku vůbec vidět, termovizní kamera zato měří teplotu plochy skleněného krytu. Podívejme se ještě kamerou pomocí zvětšovacího skla na hořící svíčku (Obr.628-630). Skleněná čočka opět nepropustila tepelné záření plamene svíčky. Na snímku je vidět pouze zrcadlí se tvář pozorovatele, vybaveného obyčejnými dioptrickými brýlemi. Jeho tvář má vyšší teplotu než strop místnosti nad ním. Na snímcích je dole výrazně vidět daleko teplejší okraj svíčky s roztaveným voskem.



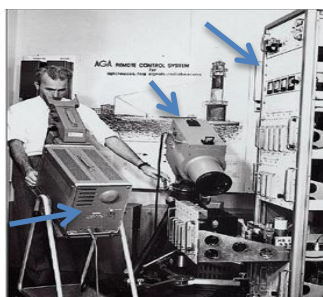
Obr.630 Snímek tváře v lupě

Obr.631 Mosazný drsný plech

Obr.632 Zrcadlení tváře v plechu

**HT** Snímání teplotních polí a bezdotykové měření teplot povrchů kamerami nemá dlouhou historii. V roce 1965 byla odborné veřejnosti ukázána rozměrná kamera, jejíž detektor tepelného záření bylo nutno chladit kapalným dusíkem (Obr.633 šipka uprostřed). Elektronika potřebná k provozu vyplnila

velkou skříň (šipka vpravo). Operátor kamery měl k dispozici těžký monitor s malým rozlišením, který ale nebyl barevný (šipka vlevo). Moderní kameru není třeba chladit, je snadno přenosná a její užitná hodnota je v porovnání s prvními kamerami daleko vyšší (Obr.634, r.2025). Zrcadlení infračerveného záření na matném povrchu bylo již dávno objeveno a zdůvodněno. Na Obr.631 z roku 2010 vidíme snímek povrchu matného mosazného plechu na kterém se v infračerveném oboru vlnových délek 8 až 14 mikrometrů zrcadlí tvář výzkumníka (Obr.632, Lit.53). Termovizní kamery jsou užitečné při měření povrchových teplot k diagnostice staveb, hlavně v zimě (Obr.635).



Obr.633 Kamera roku 1965



Obr.634 Kamera



Obr.635 Termovizní snímek budovy

### 39. Termovizní kamera vidí přeměnu mechanické práce na teplo

\*\*\*\*\*

Při pokusu kterým ukážeme, že se mechanická práce vynaložená při tření dvou povrchů přemění na teplo, nám opět pomůže termovizní kamera. Budeme dále potřebovat gumový míček, tenkou korkovou desku a kameru se stativem (Obr.636). Míček vezmeme do ruky, přimáčkeme ho k povrchu korku a 20x za silného přitlaku zavrtíme míčkem. Očima na míčku a korku nevidíme žádnou změnu (Obr.637). Termovizní kamerou uděláme rychle snímky obou povrchů. Na Obr.639 je snímek míčku pootočeného směrem k objektivu kamery, na jeho povrchu vidíme studenou a teplou část (Obr.639).



Obr.636 Kamera a míček

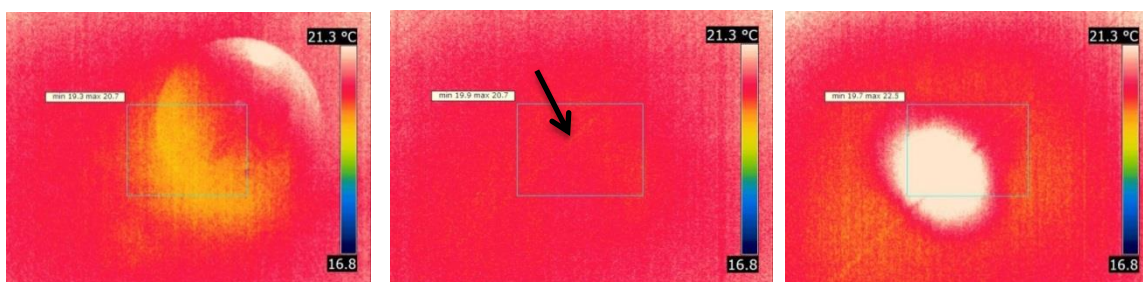


Obr.637 Míček a korková deska



Obr.638 Kamera a parkety

Snímek korkové desky po provedeném pokusu (Obr.641) se viditelně liší od snímku desky před pokusem (Obr.640). Teplá plocha na korku vznikla přeměnou mechanické práce vynaložené při tření míčku na teplo, důsledkem přeměny je vyšší teplota povrchu korku.

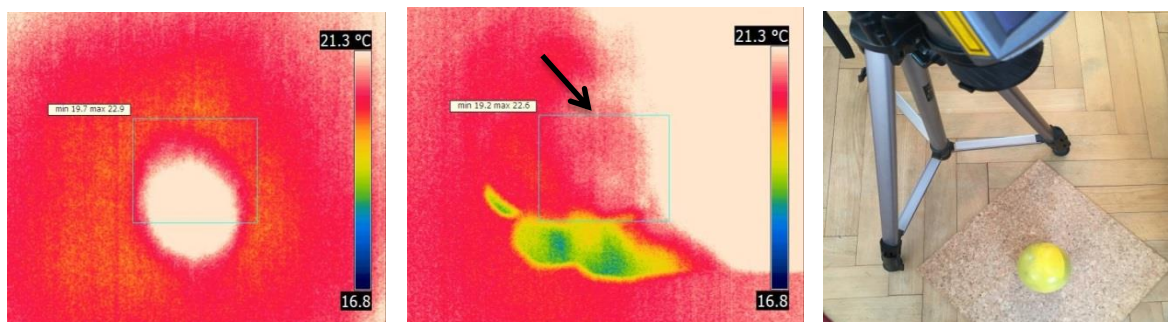


Obr.639 Snímek míčku

Obr.640 Snímek korkové desky

Obr.641 Teplá korková deska

Pokus můžeme opakovat třením míčku o povrch dřevěných parket (Obr.638). Po stejném vrtném tření míčkem termovizní kamera opět ukázala teplou kruhovou skvrnu (Obr.642). Teplejší plocha byla patrná i na gumovém míčku drženém v ruce (Obr.643). Nepřekvapilo nás, že po uplynutí asi ½ hodiny teplé plochy zmizely. Vzniklé teplo se rozptýlilo do okolí, pokus nezanechal žádných stop (Obr.644).

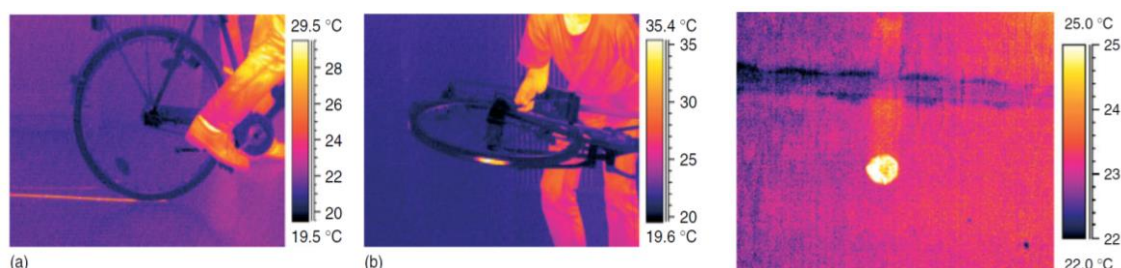


Obr.642 Snímek teplých parket

Obr.643 Teplý míček

Obr.644 Pokus nezanechal stop

**HT** Novější pokusy dokládající přeměnu mechanické práce na teplo najdeme snadno v odborné literatuře. Na Obr.645,646 jsou termovizní snímky zvýšené teploty povrchu vozovky a gumového pláště jízdního kola způsobené smykem při brzdění ( Lit.53 z roku 2010). Prudký náraz tenisového míčku zanechal na stěně svoji stopu, vzniklo kruhové teplejší místo (Obr.647). Výzkumníci zkoumající stopy bosých a obutých nohou po jejich dopadu na podlaze z linolea dospěli k podobným důkazům (Obr.648,649, Lit.53 r.2010).



Obr.645,646 Brzdění jízdního kola (Lit.53 r.2010)

Obr.647 Dopad tenisového míčku

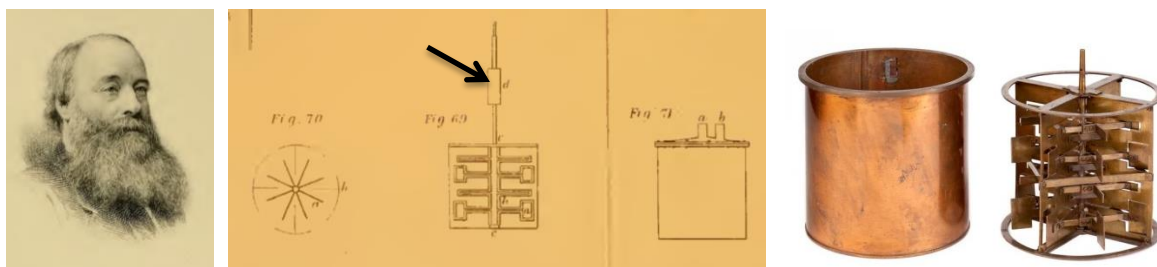
V dávných dobách se lidé naučili rozdělat oheň pomocí tření. V 19.století byly tyto zvyklosti kresebně zachyceny (Obr.650 Lit.21 r.1881). Původní obyvatelé Austrálie používali podobnou metodu, jejich způsob rozdělení ohně ukazuje Obr.651 (Lit.36 r.1899). V 19. století bylo slyšet hlasy fyziků, kteří

vyslovili přesvědčení, že mařením práce opravdu teplo vzniká a že existuje úměra mezi množstvím tepla a vynaloženým množstvím práce. Nebylo úplně snadné podat přesvědčivý důkaz, že tomu tak skutečně je. Britský fyzik a vynálezce James Prescott Joule (\*1818 +1889)(Obr.652) se věnoval návrhu



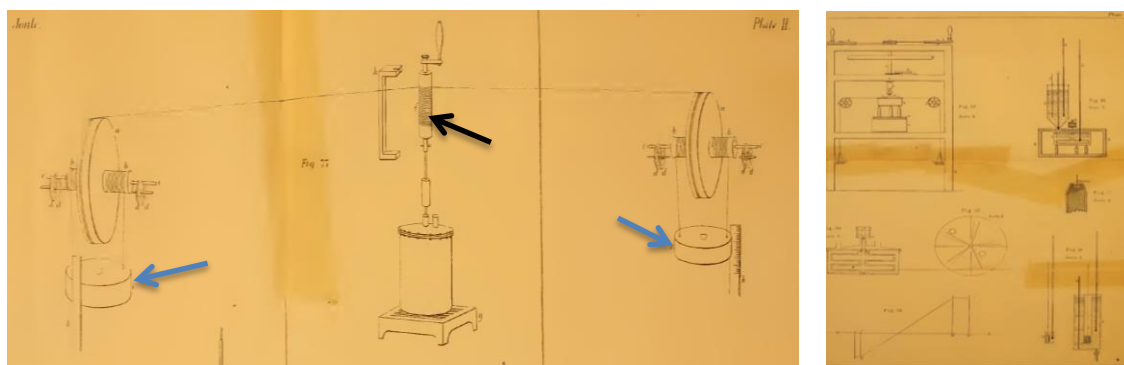
Obr.648,649 Termovizní snímek podlahy po dopadu Obr.650,651 Rozdělání ohně vrtným třením

a výrobě zařízení, pomocí kterého vyčíslil ekvivalent pro převod mechanické práce v teplo (Obr.653, 654). Joule nechal z mědi vyrobít válcovou nádobu, jejíž moderní repliku vidíme na snímku (Obr.654). V nádobě byla pomocí ložisek uložena vestavba s měděným rotorem opatřeným lopatkami, který byl poháněn pomocí válce, lana, lanových kol a závaží (Obr.653,655 šipky Lit.24). Závaží byla kladena



Obr.652 J.P.Joule Obr.653 Náskres pokusného zařízení – Joule Obr.654 Repliky z mědi - Joule

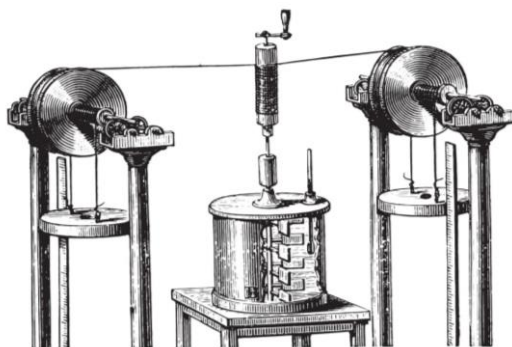
střídavě na misky ( Obr.655 modré šipky). Přitom byla zaznamenána svislá dráha kterou závaží urazila. Údaje sloužily k stanovení velikosti vynaložené potenciální energie. V nádobě byla voda, která byla zahřívána teplem vzniklým při víření vody. K určení vzniklého tepla byla teplota vody měřena. V roce 1845 (Obr.658) a v roce 1849 Joule zveřejnil tiskem první údaje o zařízení použitým k pokusům a také o velikosti mechanického ekvivalentu tepla (Lit.24). Podle tehdejších měření Joule potře-



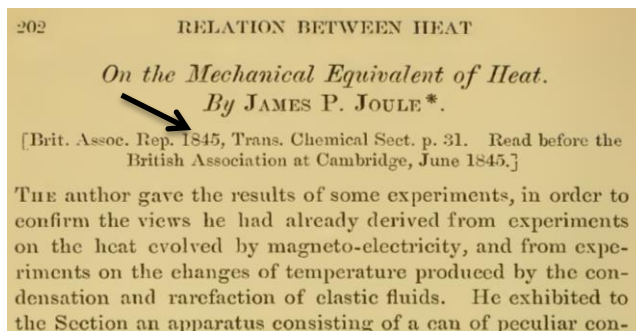
Obr.655 Pokusné zařízení s lanovými koly a miskami pro závaží

Obr.656 Pokus - Joule

voval k zahřátí jedné libry vody o jeden stupeň Fahrenheita v průměru mechanickou práci 772 librostop (Lit.24). Uvedené množství tepla se stalo britskou jednotkou tepla (BTU - British Thermal Unit). Vyjádřeno v současných metrických jednotkách SI platí rovnost: 1BTU=1055 Joule. Fyzik Joule v dalších letech pomocí opětovných pokusů svůj mechanický ekvivalent tepla ještě více precizoval.



Obr.657 Náčrt pokusného zařízení



Obr.658 Záznam o zveřejnění údajů o experimentu

#### 40. Kedlubna, jehličí, šiška kleče a další vzorky pod optickým mikroskopem

\*\*\*\*\*

K pozorování přírodních vzorků budeme potřebovat optický mikroskop dodatečně vybavený CCD kamerou. K pozorování povrchu předmětů byl zvolen školní mikroskop Sagittarius Student III (Scholar 3) s horním osvětlením povrchu předmětů pomocí světla LED (Obr.660, šipka). Mikroskop je vybaven objektivy se zvětšením 4x,10x,40x a okuláry se zvětšením 10x a 16x. Kvůli tloušťce pozorovaných předmětů byla možná volba objektivu se zvětšením 4x, jen výjimečně 10x. Namísto okuláru lze do tubusu mikroskopu vložit kameru s vysokým rozlišením CCD HD 1920x1080 pix. Snímky pořízené kamerou lze přenášet do počítače rozhraním USB pomocí kterého je kamera také napájena. Snímky jsou v počítači ukládány ve formátu JPEG, stejně jako fotografie z mobilu nebo fotoaparátu. Snímek na monitoru počítače o úhlopříčce 680 mm vypadá velmi dobře (Obr.660). Osvědčilo se pozorovat obraz vzorků na monitoru počítače, ve srovnání s pozorováním očima okulárem.



Obr.659 Vzorek kedlubny



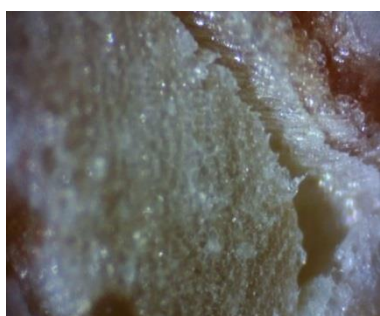
Obr.660 Vzorek a mikroskop



Obr.661 Jehličí a šiška kleče

Nejdříve budeme pozorovat pod mikroskopem vzorek odříznutý ostrým nožem z kedlubny (Obr.659). Potom můžeme připravit rozříznutím vzorky z šišky a jehličí zahradní kleče (Obr.661).

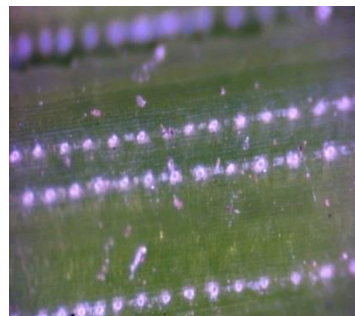
Snímek členitého povrchu šišky v řezu s hlubokými propadlinami vidíme na Obr.662,663. Na Obr.664 je snímek velmi hladkého povrchu jehličí.



Obr.662 Povrch šišky kleče



Obr.663 Povrch šišky kleče

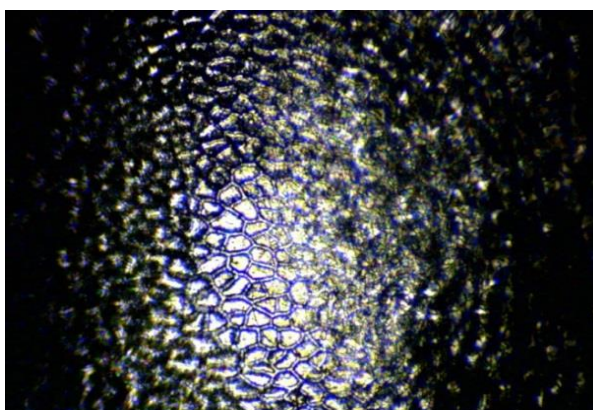


Obr.664 Povrch jehličí kleče

Překvapením pro nás byl povrch bobule zralého černého rybízu, na snímku je vidět na (Obr.665). Tým nevýrazný povrch na fotografii pořízené mobilním telefonem vypadá nasvícen pod mikroskopem úplně jinak (Obr.666). Mikroskop určený pro základní a střední školy dával velmi zajímavé snímky.



Obr. 665 Černý rybíz „Ben Hope“

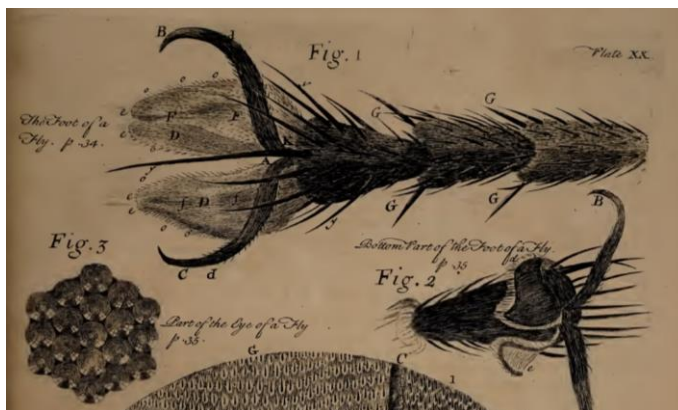


Obr.666 Černý rybíz „Ben Hope“ pod mikroskopem

**HT** První optické mikroskopy byly vyrobeny již v první polovině 17. století. Jejich technické vlastnosti byly překvapivě dobré. Na mědirytině Obr.667 vidíme část listu kopřivy. Autorem kresby, podle které které rytec vytvořil mědirytinu, byl anglický vynálezce a fyzik Robert Hooke (\*1635 +1703).



Obr.667 Mědirytina listu kopřivy



Obr. 668 Mědirytina oka a nohy mouchy (Lit. 2 a 5)

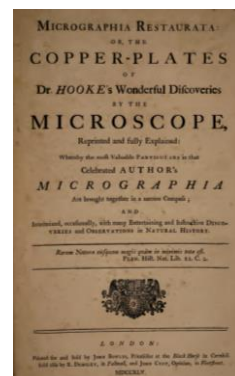
Hooke pozoroval list kopřivy mikroskopem, jehož vyobrazení se zachovalo jako ilustrace v jeho vlastní knize z roku 1667 (Obr.671, Lit.2 a 5). Repliku jeho mikroskopu z 19.století ukazuje snímek Obr.674. Můžeme než obdivovat přesnou techniku obratného kreslíře Hooke. Mědirytiny dosáhly velkého nákladu (Obr.669,670). Původní měděné desky byly podrobeny vyčištění a restaurátorským zásahům, v roce 1745 pak vyšla Hookova kniha „Micrographia“ pro velký zájem znovu (Obr.671, Lit.5).



Obr.669 Moucha



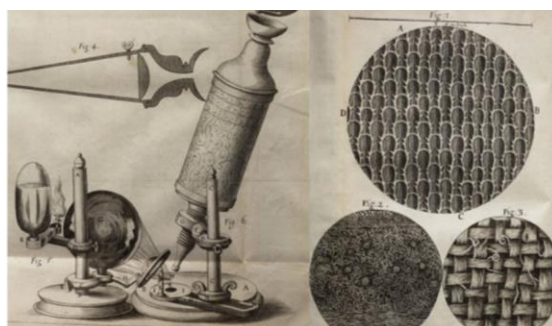
Obr.670 Mědirytina pozorované blechy



Obr.671 Titul Lit.5



Obr.672 Fiktivní R.Hooke



Obr.673 Originální Hookeův mikroskop Lit.2,5

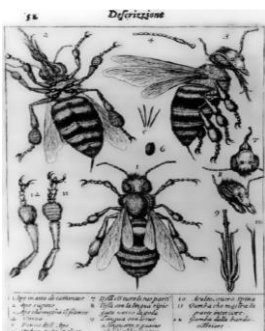


Obr.674 Kopie mikroskopu

V první polovině 17.století sestrojil mikroskop holanský fyzik Cornelus Drebbel (\*1572 +1633), jeho portrét z roku 1631 vidíme na Obr.675. Nákrasy provedené za základě pozorování jeho mikroskopem ukazují rytiny na Obr.676(Lit.50). Ke konstrukci mikroskopu významně přispěl italský fyzik Galileo Galilei (\*1564 +1642), jeho pozdní portrét z roku 1640 vidíme na Obr.678. Ukázku původního mikroskopu Galieova typu ukazuje snímek na Obr.677.



Obr.675 Drebbel r.1631



Obr.676 Nákrasy



Obr.677 Mikroskop

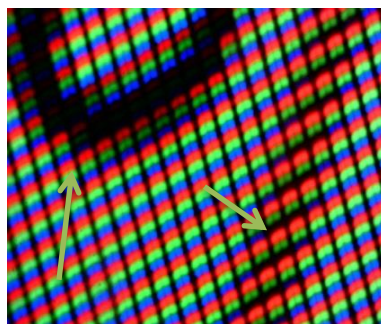


Obr.678 Galileo Galilei

#### 41. Mobil, šroub, matice, setrvačnick nepokoje a příže pod mikroskopem

\*\*\*\*\*

V dalším pozorování vzorků pod mikroskopem se soustředíme na svět techniky. Zkusíme pod mikroskopem zblízka pozorovat displej mobilního telefonu (Obr.679,iPhone S6). Na displeji najdeme analogové hodiny, jejich ručky zřetelně ukazují čas. Mobilní telefon připevníme pod objektiv mikroskopu (Obr.681,683). K našemu překvapení vidíme pomocí mikroskopu na ploše číselníku tři barvy (Obr.682). Šipka vlevo na snímku ukazuje na obrys číslovky „0“ u čísla „10“ na hodinách. Šipka vpravo míří na vteřinovou ručku, která číslo „10“ právě mījela. Ze základních třech barev je možno nastavením jejich svítivosti namíchat celou velkou barevnou paletu, která je použita na displeji (Obr.679).

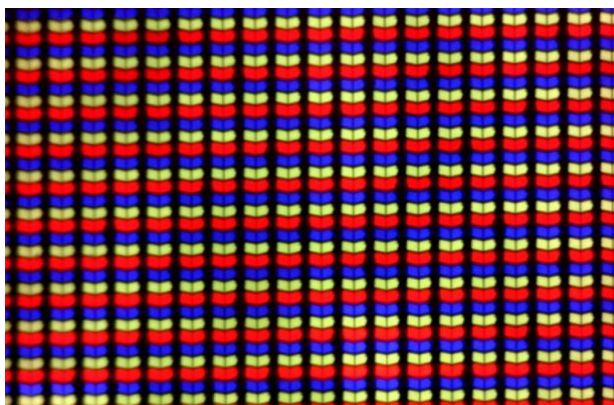


Obr.679 Mobil

Obr.680 Displej mobilu

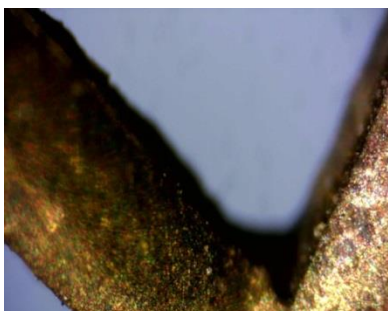
Obr.681 Mikroskop

Obr.682 Snímek displeje mobilu



Obr.683 Mobil pod mikroskopem

Obr.684 Základní barvy displeje mobilu (RGB)



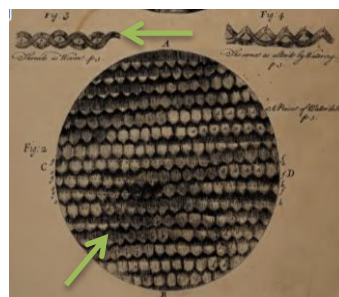
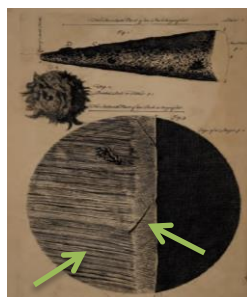
Obr.685 Povrch nepokoje hodin

Obr.686 Nepokoj a šroubek M3,5

Obr.687 Povrch maticky

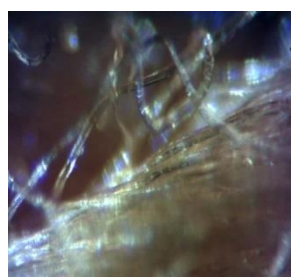
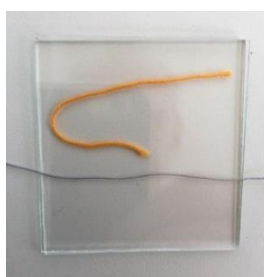
Podívejme se na povrch malých součástí – setrvačnicku nepokoje hodin a na maticku (Obr.686).

Snímek povrchu mosazného setrvačnicku vidíme na Obr.685. Okraj závitů M3,5mm na čele ocelové matičky, součástky dětské stavebnice, je dobře vidět na snímku Obr.687. Nerovný povrch závitů ocelového šroubku se zapadlým textilním vláknem najdeme na fotografii Obr.688 (šipka)



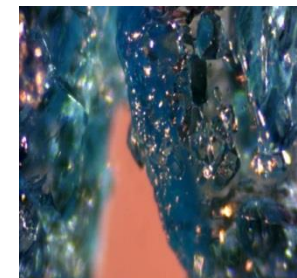
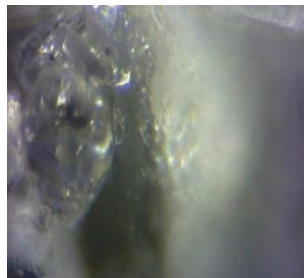
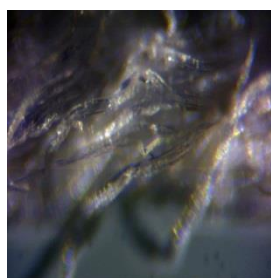
Obr.688 Nerovný povrch závitů šroubku M 3,5    Obr.689 Jehla a nůž    Obr.690 Hedvábná tkanina

Naše snímky můžeme porovnat s mědirytinami, které vznikly na základě mikroskopického pozorování a kreseb Roberta Hooqa v druhé polovině 17.století (Lit.2,5). Zcela nahoře na Obr.689 je znázorněn hrot ocelové šicí jehly. Dole je obraz ostří nože, šipka vlevo ukazuje na základní šikmý výbrus ostří. Úzký pás konce břitu byl vybroušen jinou technikou (Obr.689 šipka vpravo). Rovnoběžné stopy po brusku nahradilo broušení křížem s použitím velmi jemného brusiva patrně pod olejem (tzv.honování). Mědirytina na Obr.690 ukazuje textil, nahoře je řez hedvábnou osnovou s proloženým hedvábným útkem (šipka nahoře). Celkový pohled na povrch jemné hedvábné tkaniny je označen šipkou dole.



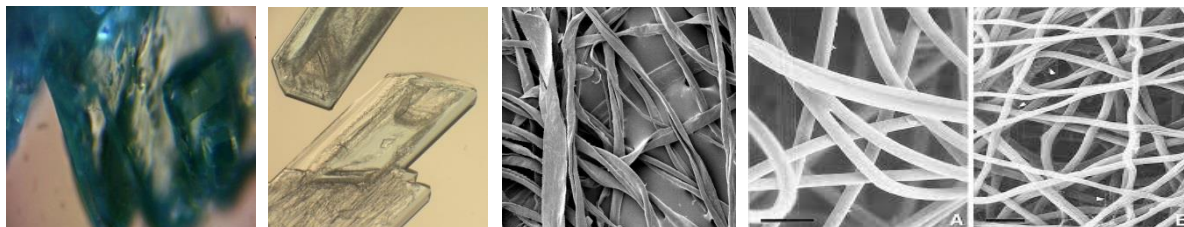
Obr.691 Přeže    Obr.692 Žlutá přeže    Obr.693 Žlutá přeže    Obr.694 Žlutá přeže

Textilní materiály můžeme pozorovat i my. Na obr.691 jsou pod sklíčky o rozměru 50x50mm vzorky šedé a silnější žluté přeže. Snímky žluté přeže pořízené pod mikroskopem za různého zvětšení jsou vidět na Obr.692 – 694. Detail šedé přeže ukazuje snímek na Obr.695. Krystaly kyseliny citronové vidíme na fotografii Obr.696. Snímek jednoho krystalu pořízený pod mikroskopem je vidět na Obr.697. Barevný krystal modré skalice v záběru mikroskopu vidíme na snímku Obr.698.



Obr.695 Šedá přeže    Obr.696,697 Kyselina citronová    Obr.698 Modrá skalice

**HT** Optické mikroskopy doprovázejí fyziky a chemiky skoro 400 let. Profesionální snímky ze současnosti pořízené pomocí optického mikroskopu vidíme na Obr.699,700. V průběhu 20.století se v laboratořích objevily mikroskopy elektronové pracující na jiném principu. Snímky přírodních textilních vláken pořízené elektronovým mikroskopem vidíme na Obr.701-703.

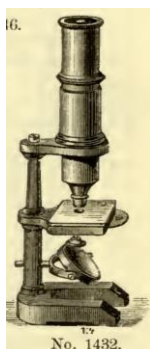


Obr.699,700 Krystaly modré skalice

Obr.701 Bavlina

Obr.702,703 Hedvábné vlákno

Proměny školních optických mikroskopů jednoho výrobce během 60 let můžeme sledovat na kresbách a fotografiích (Zeiss - muzeum, Obr.704 – 708). Příklad zhotovený v roce 1857 je vidět na snímku Obr.704. Kresba následujícího typu z roku 1893 je zachycena na Obr.705. Stereoskopický mikroskop vyráběný od roku 1897 vidíme na Obr.706. Strohý školní mikroskop z roku 1910 je na snímku Obr.707. Krásně zachovaný mosazný mikroskop s původním pouzdrům z roku 1922 ukazuje snímek na Obr.708.



Obr.704 r.1857

Obr.705 r.1893

Obr.706 r. 1897

Obr.707 rok 1910

Obr.708 rok 1922

## B/ Chemické pokusy

\*\*\*\*\*

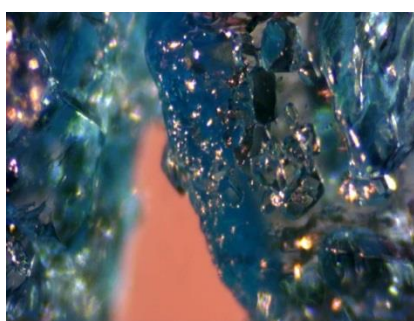
### 42. Měď na železném hřebíku

\*\*\*\*\*

K pokusu budeme potřebovat modrou skalici ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), dvě skleněné zkumavky, dva hřebíky, smirkové plátno, trychtýř, plastovou misku, lžičku, sklenici, dva magnety, stojan se svorkami k držení zkumavek a dvoje plastové ochranné brýle (Obr.711). Do dvou zkumavek dáme malé množství krystalů modré skalice, zkumavky naplníme do poloviny výšky vodou. Se zkumavkami třepáme až do rozpuštění krystalů. Zkumavky s roztokem modré skalice pak upevníme do svěrek ve stojanu (Obr.712). Dva železné hřebíky vyleštíme jemným smirkovým plátnem a ponoříme je do zkumavek.



Obr.709 Modrá skalice



Obr.710 Modrá skalice



Obr.711 Příprava pokusu

Po uplynutí asi 3 hodin zjistíme, že hladký povrch hřebíků dostává slabě hnědavý nádech (Obr.717).



Obr.712 Zkumavka a hřebík



Obr.713 Pozorování pokusu



Obr.714 Pozorování reakce

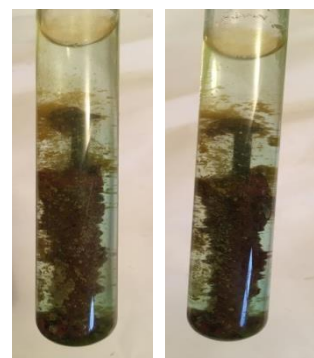
Nyní budeme muset mít trpělivost a počkat do příštího dne, až se na povrchu hřebíků vytvoří silná



Obr.715,716 Další zkumavka

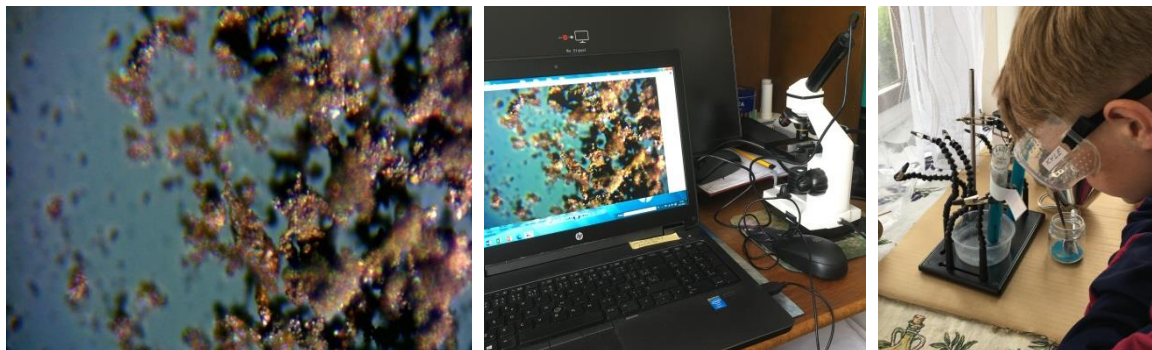


Obr.717 Magnet drží hřebík



Obr.718,719 Obě zkumavky

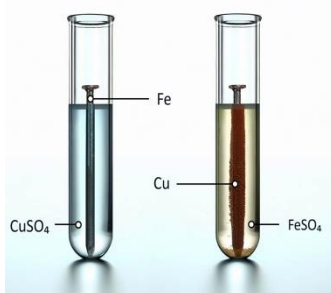
nepravidelná hnědá vrstva vyloučené mědi (Obr.718,719). Hřebík vytáhneme ze zkumavky a mokrou měď usušíme na papíře. Drobné suché částičky mědi můžeme pozorovat pod mikroskopem (Obr.720,721). Dáme si na čas s osvětlením vzorku mědi, aby se částičky na snímku pěkně leskly.



Obr.720 Suchý vzorek práškové mědi Obr.721 Pozorování mikroskopem Obr.722 Brýle jsou nutné



Obr.723 Mokrý vzorek



Obr.724 Chemická reakce



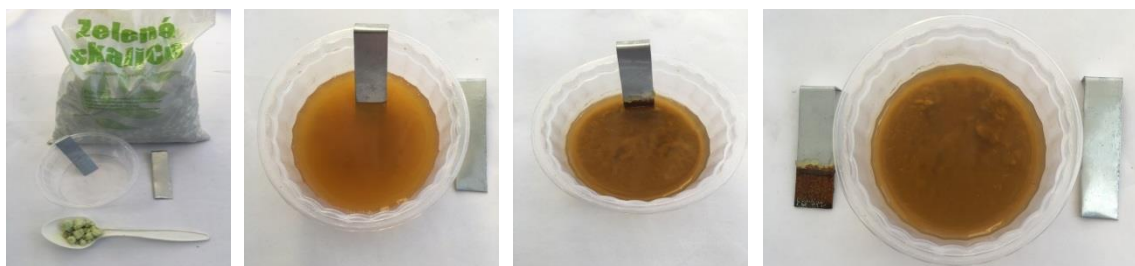
Obr.725 Krystaly  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

**HT** Pokus je oblíbený již desítky let. Chemickou reakci při pokusu vyčteme z rovnice dole na Obr.724. Železo z hřebíku vytěsnilo měď z roztoku, měď se usadila na povrchu hřebíku. Při reakci vzniknul síran železnatý  $\text{FeSO}_4$ . Modrá skalice může vytvořit krásné krystaly, jak ukazuje snímek na (Obr.725).

#### 43. Železo na hliníkovém plechu

\*\*\*\*\*

K pokusu budeme potřebovat zelenou skalici, sehnali jsme bohužel jen znečištěnou chemikálii z prodejny pro zahrádkáře (Obr.726) Přesto zkusíme, zda bude probíhat reakce roztoku s kouskem hliníkového plechu (Obr.727,728). Jeden proužek plechu využijeme k pokusu, druhý zůstane pro



Obr.726  $\text{FeSO}_4$

Obr.727,728 Reakce zelené skalice a hliníku

Obr.729 Výsledek pokusu

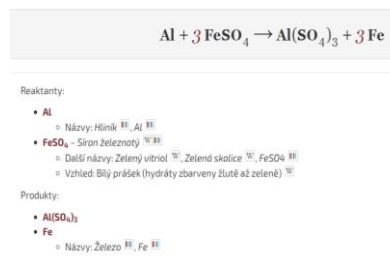
porovnání mimo roztok. V plastové misce připravíme roztok do kterého ponoříme proužek hliníku. Do druhého dne se z roztoku na povrchu hliníkového plechu vyloučila hnědá vrstva železa. Železo můžeme z povrchu oškrabat a pozorovat pod mikroskopem.



Obr.730 Krystaly FeSO4 7H2O



Obr.731 Zelená skalice



Obr.732 Chemická reakce

**HT** Průběh reakce vysvětluje rovnice, kterou vidíme zapsanu na Obr.732. Hliník vytěsnil z roztoku síran železnatého železo, které se usadilo na povrchu hliníku. Při reakci vzniknul síran hlinitý, který má po krystalizaci bílou barvu, je-li chemicky čistý. Zelená skalice vytváří velmi pěkné krystaly (Obr.730).

#### 44. Gumová rukavice se nafukuje plynem

\*\*\*\*\*

K pokusu připravíme jedlou sodu, kyselinu citronovou, skleničku s vodou, gumovou rukavici a gumičku. Do vody přidáme lžičkou kyselinu citronovou, mícháme do rozpuštění. Potom do roztoku přisypeme lžičkou trochu jedlé sody. Vezmeme rukavici, navlékneme ji na sklenici a v případě



Obr.733 Příprava pokusu



Obr.734 Vzniká plyn CO2



Obr.735 Soda ke kynutí těsta

potřeby rukavici k dosažení těsnosti zajistíme gumičkou. Z roztoku se bude uvolňovat plyn kysličník uhličitý (CO2). Možná plyn nafoukne rukavici úplně, jako tomu bylo na snímku (Ob.733).

**HT** Jedlá soda, vyjádřeno chemicky, je uhličitán sodný. Sodu můžeme obdržet jako prášek (Na2CO3) anebo jako krystalickou látku (Na2CO3 · 10H2O)(Obr.735). Jedlá soda byla již od 19.století přidávána pro kuchyňskou potřebu do kypřících prášků (Obr.735). Francouzský lékař a chemik Nicolas Leblanc (Obr.736) (\*1742 +1806) vynalezl ke konci 18.století postup výroby jedlé sody. Na kuchyňskou

sůl působil kyselinou sírovou, vzniklou látku po reakci žíhal v peci a sodu z produktu vyluhoval. Pozdější postup vynalezený v polovině 19.století belgickým chemikem Ernestem Solvayem (\*1838 +1922) spočíval v zavádění čpavku a kysličníku uhličitého do roztoku kuchyňské soli. Solvayův postup výroby sody je ve světě užíván dodnes.



Obr. 736 Nicolas Leblanc Obr.737 C.W.Scheele Obr.738 Kyselina citronová

Švédsko-německý chemik Carl Wilhelm Scheele (\*1742 +1786) objevil přírodní kyselinu citronovou. V současnosti se kyselina citronová vyrábí biochemickým postupem z cukru (Obr.738). Kyselina citronová je v přírodě obsažena v zelenině a ovoci, nejvíce však v plodech citrusu a limetkách.

#### 45. Skořápka z vejce v kyselině citronové

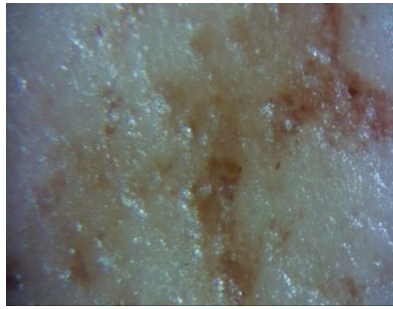
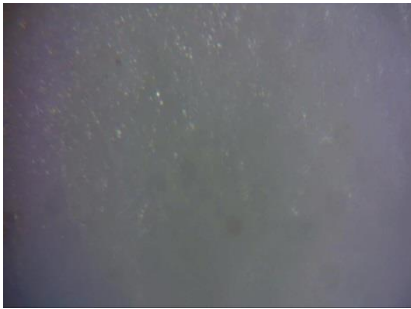
\*\*\*\*\*

K pokusu si nachystáme suché vaječné skořápky, plastovou misku, malou kávovou lžičku a krystalickou kyselinu citronovou. V misce připravíme roztok z jedné lžičky kyseliny citronové a do roztoku vložíme úlomek skořápky. Po několika minutách se na povrchu ponořené skořápky začnou tvořit malé bublinky kysličníku uhličitého(Obr.741).



Obr.739 Vaječná skořápka Obr.740 Skořápka v kyselině citronové Obr.741 Začíná reakce

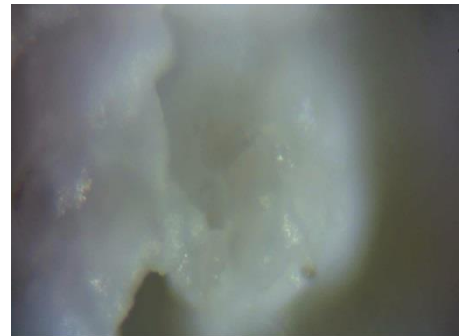
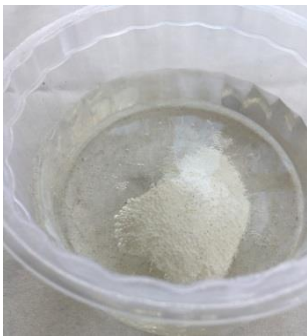
Původně hladká skořápka se stane drsnou. Během další doby se k překvapení přítomných může ponořená skořápka začít částečně vynořovat nad hladinu (Obr.745). Bublínky kysličníku uhličitého vznikající při reakci na rubové straně skořápky najednou v roztoku skořápku úplně nadnášely (Obr.740).



Obr.742,743 Bílá a hnědá vaječná skořápka pod mikroskopem

Obr.744 Reakce pokračuje

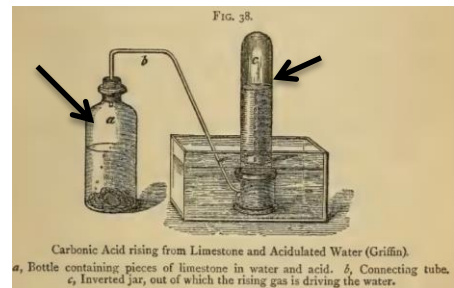
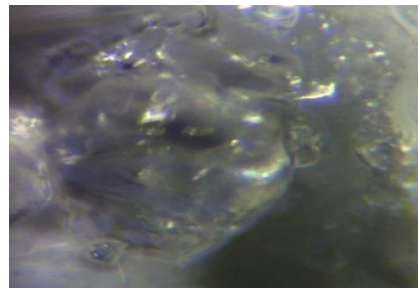
Po ukončení pokusu skořápku vyjmeme z roztoku, vysušíme a porovnáme s jiným úlomkem (Obr.746). K našemu překvapení zjistíme, že skořápka byla roztokem velmi hluboce narušena. Nerovnou skořápku si můžeme prohlédnout pod mikroskopem (Obr.747). Zajímavé je také prohlédnout si pod mikroskopem neporušenou bílou a hnědou skořápku (Obr.742,743)



Obr.745 Skořápka plave

Obr.746 Původní a leptaná skořápka

Obr.747 Poleptaný povrch v detailu



Obr.748 Použitá kyselina

Obr.749 Kyselina pod mikroskopem

Obr.750 Reakce vápence a kyseliny

**HT** Suchá vaječná skořápka se skládá z 94% z uhličitanu vápenatého (vápenec,  $\text{CaCO}_3$ ). Pokud na skořápku působí slabá organická kyselina citronová dojde k reakci s vápencem za vývoje kyslíčnicku uhličitého. Školní pokusy s vápencem byly obvyklé již v 19.století. Na Obr.750 vidíme láhev s kousky vápence pod hladinou okyselené vody (šipka vlevo). Vznikající kysličník uhličitý byl odváděn trubičkou do vedlejšího skleněného zvonu, kde byl jímán (šipka vpravo). Zvyšující se objem kysličnicku uhličitého vytlačoval vodu z dolní části zvonu. Pokus byl uveden v knize z roku 1876 (Lit.18).

#### 46. Mořská voda pod bodem mrazu teče

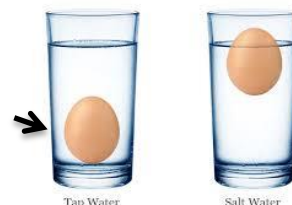
\*\*\*\*\*



Obr.751 Roztok mořské soli



Obr.752 Mrtvé moře v Izraeli



Obr.753 Měrná váha vody

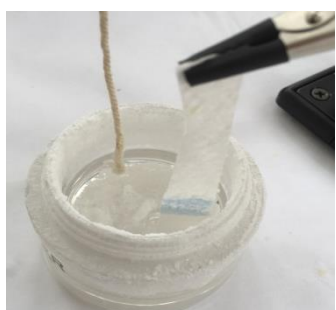
K pokusu budeme potřebovat potravinářskou mořskou sůl, misku, malý plastový sáček a teploměr. Nejdříve dáme asi dvě polévkové lžice vody do sáčku a necháme ho na hodinu zmrznout v mrazáku při teplotě asi  $-18^{\circ}\text{C}$ . V misce připravíme z malého množství vody koncentrovaný roztok mořské soli. Roztok dáme asi na hodinu do ledničky. Potom vezmeme misku s roztokem soli a změříme jeho teplotu (Obr.751). Do misky přidáme malé kousky ledu podchlazeného na přibližně  $-18^{\circ}\text{C}$ , roztok zamícháme. Teploměr budeme držet tak, aby se nedotýkal ledu. K našemu překvapení zjistíme, že roztok může mít, tak jako v našem případě, teplotu  $-2^{\circ}\text{C}$  a přesto nezmrzne. Tím prokážeme, že mořská voda na rozdíl od naší sladké pitné vody při  $0^{\circ}\text{C}$  nezmrzne.

**HT** Mořská voda v oceánech obsahuje v průměru asi 3,5% váhových soli. V Baltickém moři je obsah soli jen 0,8%, naopak ve vnitrozemském Mrtvém moři v Izraeli dosahuje váhový podíl soli až 28%. Mořská sůl není čistým chloridem sodným. Nacházejí se v ní hořečnaté a vápenaté soli, rovněž sulfáty. Měrná váha mořské vody je vyšší nežli měrná váha naší pitné vody. Pokud jste namíchali větší množství roztoku mořské soli zkuste jestli v něm bude plavat syrové vejce. Ve sladké vodě se vejce potopí (Obr.753 šipka).

#### 47. Mořská voda tvoří krystaly

\*\*\*\*\*

Roztok namíchaný pro předchozí pokus nebudeme vylévat. Může nám posloužit při pokusném pěstování krystalů. Do misky s vodou namočíme provázek nebo savý kuchyňský papír (Obr.754).



Obr.754 Pěstujeme krystaly



Obr.755 Krystaly rostou



Obr.756 Velké krystaly mořské soli

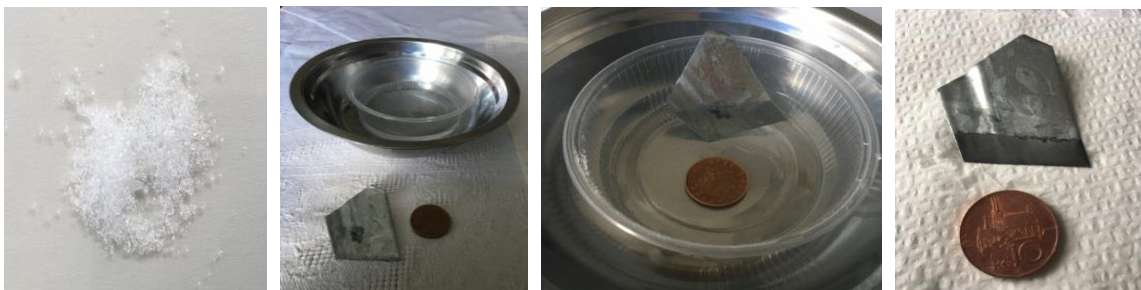
Už druhý den zjistíme, že ze smáčené plochy a také na okrajích misky začínají růst krystaly (Obr.755).

**HT** Příznivé podmínky umožní pěstovat velké krystaly (Obr.756). Základním tvarem krystalu chloridu sodného je krychle. Velmi pravidelné krystaly soli byly získány ve stavu bez tíže při krystalizaci roztoků soli v těsných obalech na umělých družicích Země.

#### 48. Kyselina citronová vyčistí minci

\*\*\*\*\*

K pokusu budeme potřebovat malou kávovou lžičku kyseliny citronové, plastovou misku, kousek pozinkovaného ocelového plechu a minci pokrytou vrstvou mědi (10Kč). Kyselinu rozmícháme v malém množství vlažné vody, ponoříme minci do roztoku a kousek plechu opřeme o kraj misky (Obr.759). Již po několika hodinách zjistíme, že ponořená část plechu potaženého zinkem je tmavší. Povrch mince se naopak začíná lesknout.



Obr.757 Kys.citronová

Obr.758 Příprava

Obr.759 Pokus v chodu

Obr.760 Čistá mince

Po několika dalších hodinách můžeme pokus přerušit. Po osušení mince zjistíme, že se leskne. Na povrchu pozinkovaného plechu uvidíme tmavší vrstvu. Kyselina zřejmě na oba povrchy působila.

**HT** V misce probíhají dva jevy zároveň. Měď a zinek ponořené do elektrolytu tvoří galvanický článek. Mezi oběma kovy vzniká malé stejnosměrné napětí. Přitom měděný kladný pól článku ubývá. Naopak na zinku se tvoří úsada. Slabá kyselina může chemicky působit na oba kovy, také na nečistoty na jejich povrchu. Tím se stane, že měděný povrch mince je vyčištěn. Minci může vyčistit samotná jiná kyselina. K důkazu postačí tutéž minci na několik hodin ponořit do limonády Coca-Cola, která obsahuje kyselinu fosforečnou.

#### D/ Elektřina

\*\*\*\*\*

#### 49. Mobil zabalený v alobalu (staniolu)

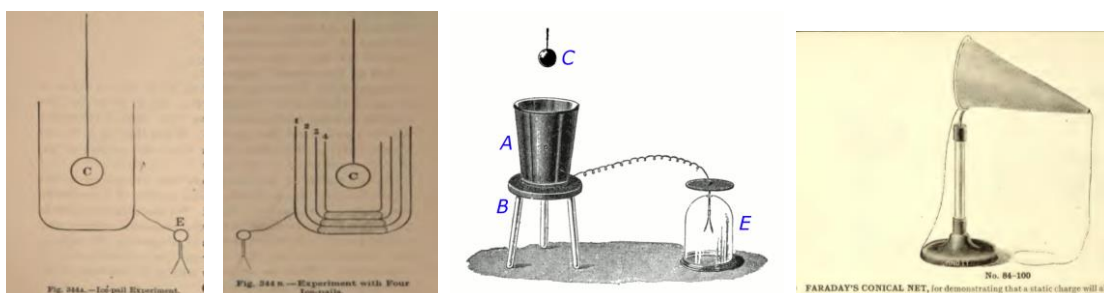
\*\*\*\*\*

K pokusu budeme potřebovat mobilní telefon a kus hliníkové fólie (alobalu)(Obr.761). Mobilní telefon zabalíme do fólie a zkusíme z jiného telefonu zabalený mobil zavolat (Obr.763). Uslyšíme hlášení, že mobil je nedostupný. Znamená to, že radiový signál provozovatele sítě nemůže mobil nalézt a předat zprávu, že ho jiný telefonní účastník volá. Mobil ve fólii může ležet na elektricky nevodivé ploše. Fólie nemusí být vodivě spojena se zemí. Mobil rozbalíme a zjistíme, že může opět fungovat.



Obr.761 Mobilní telefon a hliníková folie Obr.762,763 Zabalíme mobilní telefon do alobalu

**HT** Pro obal z hliníkové fólie elektrotechnik použije název Faradayova klec. Klec se jmenuje podle pokusu, který provedl v 19.století anglický fyzik a chemik Michael Faraday (\*1791 +1867). Faraday sám popsal jím v roce 1836 realizovaný pokus s klecí následovně ..... Byla postavena konstrukce ve tvaru krychle se stranami o délce 12 stop (cca 3,65m Obr.768). Stěny krychle byly zvenku pokryty měděným drátem a cínovou folií, krychle byla izolována od země. Krychle byla zvenku nabita velkým elektrostatickým nábojem. Z vnějšího povrchu krychle sršely elektrické výboje ve formě jisker a kartáčů. Vstoupil jsem dovnitř krychle a zkoumal jsem pomocí pohybu plamene svíčky, elektroskopu se zlatými lístky a dalšími testy zda je uvnitř elektrické pole, ale bezvýsledně ...(Lit.16).



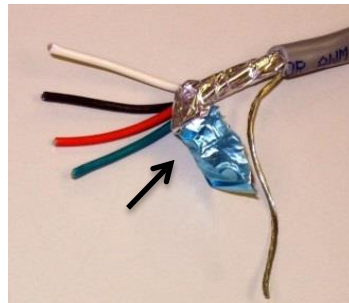
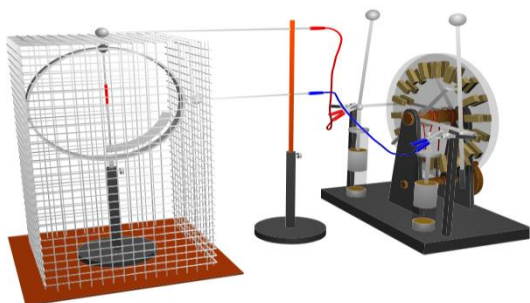
Obr.764,765 Stínění elektrického pole Obr.766 Faradayův pokus Obr.767 Faradayova síť

Schema Faradayova pokusu v laboratorním měřítku ukazuje Obr.764,766 (Lit.16 r.1874). Vícenásobné stínění elektrického pole vidíme na Obr.765. Další provedení Faradayovy klece je patrné z kresby na Obr.767 (Lit.38). Kuželovou kovovou síť se stojánkem určenou pro školní laboratoře uváděl katalog pomůcek vydaný v USA roku 1912 (Lit.38)... Další nákras vysvětloval Faradayův pokus. Sonda „C“ byla na Obr.766 určena k zjištění , že na vnitřním povrchu nádoby není elektrostatický náboj. Naopak lístkový elektroskop „E“ sloužil k důkazu, že náboj sídlí na vnějším vodivém povrchu nádoby.



Obr.768 Rozměry původní klece Obr.769,770 Dvě ukázky funkce Faradayovy klece

Faradayova klec z pospojovaných vodičů použitá k experimentům s velmi vysokým napětím je vidět na Obr.769 a 770. K provádění laboratorních pokusů ve škole je určena klec na Obr.771. Jako zdroj vysokého napětí je použita indukční elektrika. K ochraně zdraví elektromontérů slouží vodivé obleky. (Obr.772). U kabelů přenášejících údaje měřicích přístrojů se používá kovové stínění (Obr.773).

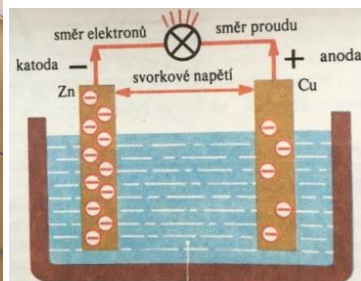


Obr.771 Laboratorní klec a indukční elektrika Obr.772 Vodivý oděv Obr.773 Stínění kabelu

### 50. Měď a zinek poskytují elektřinu

\*\*\*\*\*

K pokusu připravíme kousek měděného a pozinkovaného plechu, plastovou misku, slabý roztok kyseliny citronové, savý papír, citron, jablko a měřicí přístroj. Očištěné kousky plechu položíme na



Obr.774 Příprava Obr.775 Pokus Obr.776,776A Citron a jablko Obr.777 Galvanický článek



Obr.778 Napětí článku Zn-Cu Obr.779 Jablko funguje Obr.780 Ponoření jablka do roztoku

papír nasáklý roztokem kyseliny citronové (Obr.775). Když se nyní dotkneme povrchu plechů pomocí přívodů měřicího přístroje s hroty uvidíme na displeji údaj o stejnosměrném napětí 0,981 VDC. Potom připojíme k přístroji přívody opatřené svorkami do kterých upneme kousky plechu, ty zapíchneme do citronu (Obr.776). Na měřícím přístroji uvidíme podobný údaj a sice 0,970 VDC. Nakonec vezmeme jablko a také do něj zapíchneme oba kousky plechu. Na měřícím přístroji zjistíme další údaj o napětí 0,994 VDC. S tím se nespokojíme, ještě jednou zapíchneme plechy do jiného místa jablka, vidíme pak další hodnotu napětí 1,020 VDC (Obr.779). Ponoření jablka do vody a následné posolení vody údaj měřicího přístroje už nijak zvlášť nezměnilo (Obr.781). Ve všech případech působil roztok kyseliny citronové, šťavnatý citron a jablko jako elektrolyt galvanického článku (Obr.777,Lit.48). Zinkový povlak ocelového plechu byl v článku záporným pólem, měděný plech kladným pólem.



Obr.781 Roztok ještě posolíme



Obr.782 Přestávka na mls



Obr.783 Pokus a šibalství v očích

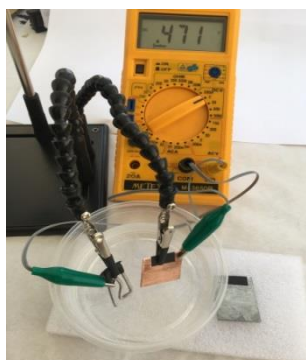
Ještě musíme vyzkoušet jestli bude galvanický článek fungovat s jiným kovem. Nejdříve připravíme do plastové misky slabý roztok kyseliny citronové. Pozinkovaný a měděný plech očistíme a vysušíme, před upnutím do svorek je opatříme černou izolační páskou. Teprve po napojení svorek měřicího přístroje oba plechy ponoříme do elektrolytu(Obr.785). Napětí galvanického článku je teď 1,039 VDC.



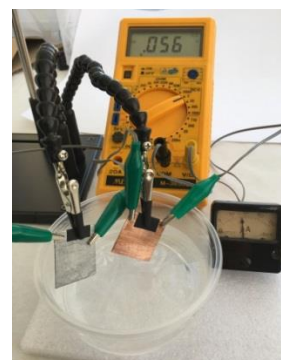
Obr.784 Měříme napětí



Obr.785 Článek Zn-Cu



Obr.786 Článek Al-Cu

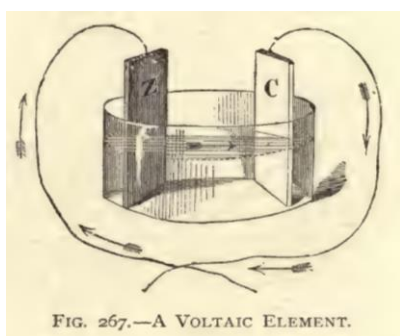


Obr.787 Výkon článku

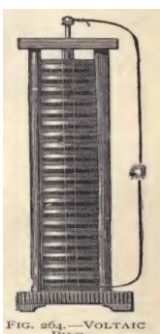
V dalším kroku zaměníme pozinkovaný plech za kus hliníkového vodiče, který očistíme smirkovým plátnem. Po ponoření obou kovů do elektrolytu s překvapením zjistíme, že napětí článku je pouze 0,471 VDC. To tedy znamená, že jiné kovy, třeba měď a hliník, dávají jiná napětí galvanického článku.

Výkon článku Zn-Cu s částečně ponořenými elektrodami zjistíme z údajů voltmetru a mikroampermetru (Obr.787). Článek bude nyní zatížen proudem protékajícím mikroampermetrem. Voltmetr ukazuje napětí pouze 0,056 V a ručka mikroampermetru ukazuje 80 mikroamper. Součin obou hodnot dává nepatrný výkon 4,48 miliontin Wattu. S tak malým napětím a výkonem galvanického článku se nám pochopitelně barevnou LED diodu rozsvítit nepodařilo.

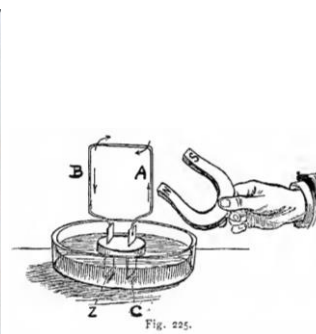
**HT** Italský profesor fyziky Alessandro Volta (\* 1745 +1827) sestavil v roce 1800 sloupec z měděných a zinkových kotoučků, které byly proloženy kotoučky z textilu nasáklého kyselinou (Obr.789). Obr.788 ukazuje dobové schéma jednoho článku se zinkovou katodou a měděnou anodou (Lit.21 r.1881). Volta sestavil první baterii, která poskytovala stejnosměrné napětí. Kromě měření napětí voltmetrem bylo možno existenci proudu a napětí článku dokázat jednoduchým školním pokusem, jak je ukázáno na kresbě v knize zveřejněné v roce 1900 v USA (Obr.791, Lit.29). Plovoucí článek napájel malým napětím vodič, kterým protékal stejnosměrný proud. Magnetické pole kolem vodiče reagovalo na magnet, který někdo držel v ruce u vodiče, článek plovoucí v elektrolytu se pohnul (Lit.29, r.1900).



Obr.788,789 Voltův článek a sloup (Lit.21)

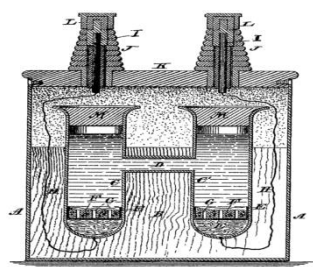


Obr.790 A.Volta



Obr.791 Pokus s článkem Lit.29

Voltův článek byl dlouhou dobu považován za měřítko podle kterého se usuzovalo na velikost napětí.



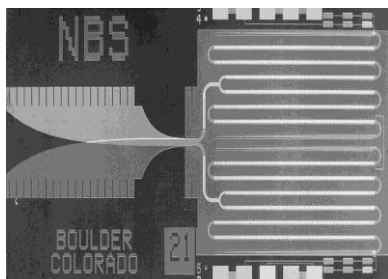
Obr.792 Westonův článek Ed. Weston



Obr.793,794 Laboratorní provedení Westonova článku

Westonův článek sloužil jako mezinárodně uznávaný normál elektrického napětí 1 Volt v letech 1911 až 1990. Článek vynalezl a nechal si v USA v roce 1893 patentovat Edward Weston (\*1850 +1936) (Obr.792). Článek měl elektrody ze rtuti a amalgamu rtuti s kadmíem. Článek vynikal dobrou stabilitou napětí a malou závislostí napětí na teplotě článku. Laboratorní provedení dvou článků vidíme na Obr.793,794. V současnosti je etalon napětí realizován využitím Josephsonova jevu za pomoci polovodičů. Na Obr.795 je snímek standardu napětí v pojetí normalizačního institutu NIST v USA. Obr.796 ukazuje standard stejnosměrného napětí 10 Voltů, který byl vyroben v německém normalizačním úřadu PTB. Etalon jako součást desky tištěných spojů spolu se šroubením k chlazení

kapalným dusíkem ukazuje snímek na Obr.797. Kompletní sestavu normálu 10VDC v PTB je vidět na Obr.798. Profesor fyziky Volta by asi byl překvapen jakým pro nás záhadným způsobem je 1 Volt pro potřeby metrologie definován (Obr.799).



Obr.795 NIST- Standard

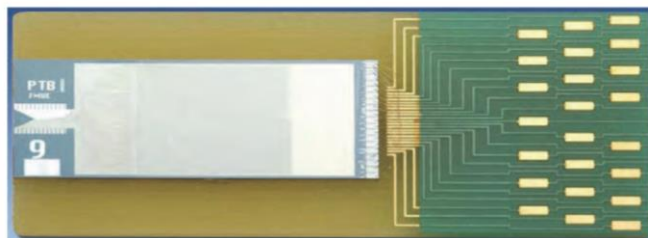
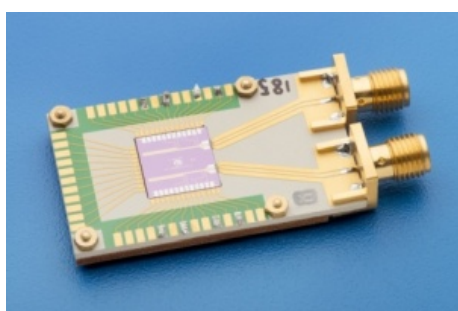


Photo of a 10 V programmable Josephson junction series array.

Obr.796 Snímek standardu 10VDC – laboratoř PTB Braunschweig



Obr.797 Etalon PTB 10V s chlazením



Obr.798 Sestava etalonu PTB 10V



Obr.799 A.Volta

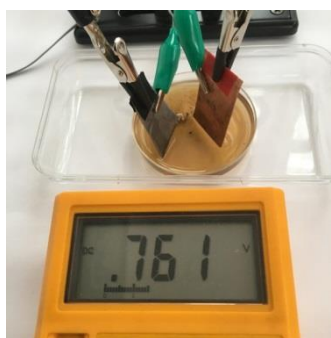
### 51. Zmrzlina, čaj, káva, pivo a jogurt elektrolytem galvanického článku ?

\*\*\*\*\*

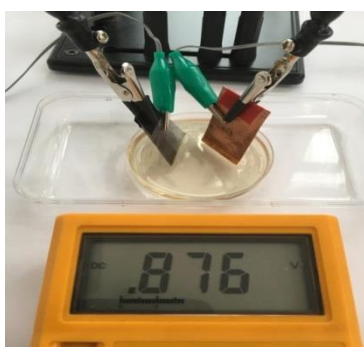
Dalším pokusem se ještě vrátíme ke galvanickému článku. Citron a jablko se jako elektrolyt osvědčily. Jsou ještě jiné možnosti? Co takhle zmrzlina, která byla ukryta v mrazáku. Zkusíme do konců zmrzliny v trubičce zapíchnout plech z mědi a pozinkovaného plechu. Pokus se kupodivu podařil, voltmetr ukazoval napětí od 0,067 VDC (Obr.801), později až 0,676 VDC (Obr.802). To je divné. Zkusíme raději



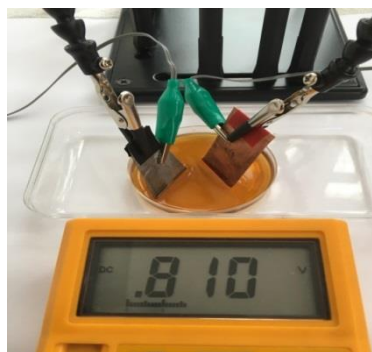
Obr.801,802,803 Zmrzlina v chřupavé trubičce posloužila jako elektrolyt



Obr.804 Černý čaj

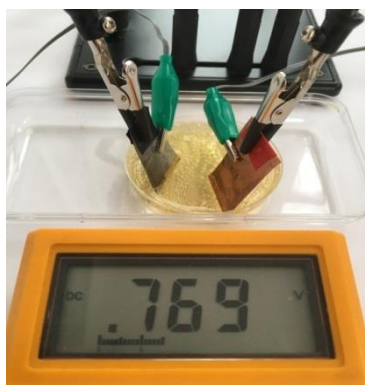


Obr.805 Ocet kvasný 8%

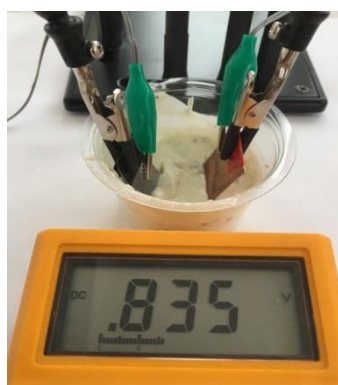


Obr.806 Káva Columbia

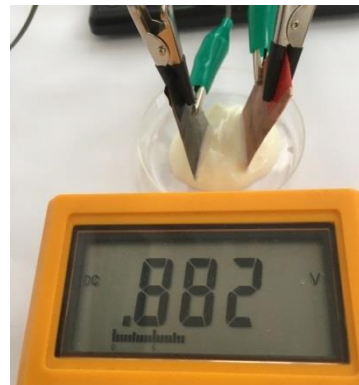
nějaké kapaliny. Nejdříve musíme pečlivě očistit obě elektrody, potom je ponoříme do zbytku obyčejného černého čaje, napětí článku je celkem slušných 0,761 VDC(Obr.804). Čaj byl překonán octem pro domácnosti s koncentrací kyseliny octové 8%, napětí dosáhlo 0,876 VDC(Obr.805). Káva Columbia dosáhla také slušného výsledku, napětí galvanického článku bylo 0,810 VDC (Obr.806).



Obr.807 Pivo Budvar 12%

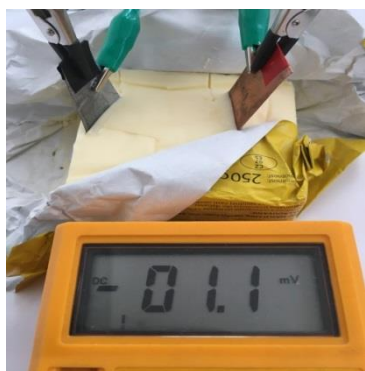


Obr.808 Omáčka k masu



Obr.809 Jogurt přírodní

Pivo 12% Budvar jako elektrolyt poskytnulo napětí 0,769 VDC(Obr.807). Bílá kašovitá omáčka k masu vyvinula napětí 0,835 VDC a nejlépe si vedl kyselý přírodní jogurt s asi 3.5% tuku a sice napětím o velikosti 0,882 VDC(Obr.809). Naopak pokus s máslem skončil zklamáním, napětí bylo jen 1,1mV a ještě opačné polarity, měděný plech který byl dosud anodou se najednou jevil jako katoda (Obr.810).



Obr.810 Máslo nefungovalo

**HT** Důvodem proč zmrzlina v obalu se postupně stávala lepším elektrolytem může být vrstvička vody, která po rozbalení časem kondenzovala na povrchu trubičky a plastového obalu. Zmrzlina sama měla

původní teplotu cca  $-18^{\circ}\text{C}$ , stejně jako vnitřek mrazáku, sotva mohla mít funkci elektrolytu. Podle současných pravidel mléčný výrobek s maximálně 18% vody se smí nazývat máslem. V másle je obsažena například i kyselina máselná. Můžeme se domnívat, že voda s tukem utváří v másle velmi dobře rozptýlenou emulsi od které nemůžeme očekávat vlastnosti elektrolytu.

## 52. Termočlánek z mědi a hliníku se ohřívá nad svíčkou

\*\*\*\*\*

K přípravě pokusu s termočlánkem postačí kus hliníkového a měděného drátu, svíčka a zápalky. Dráty na obou koncích dobře očistíme smirkovým plátnem a potom je zkroutíme a silně utáhneme (Obr.811 šipka dole). Jeden z drátů obtočíme izolační páskou a za izolované místo uchytíme ve svorce upnuté ve stojánku (šipka nahoře). Pokus zahájíme přisunutím svíčky pod zkroucené dráty. Během pár vteřin voltmetr ukázal nepatrné stejnosměrné napětí cca  $0,6\text{mVDC}$  (Obr.812). Když hoříci svíčku oddálíme, poklesne napětí zpět na nulu. Je zřejmé, že zahřátím vodivého spoje dvou kovů vznikne elektrické napětí, které můžeme využít jako měřítko pro teplotu krouceného spoje drátů zahřátého plamenem svíčky, ale také k napájení elektrických spotřebičů s velmi malým příkonem.

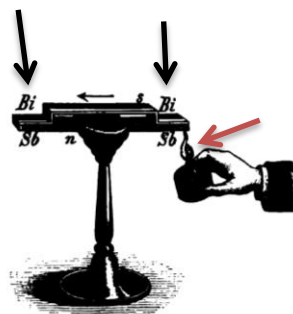
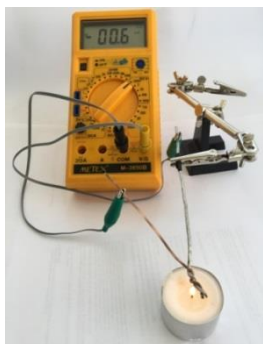
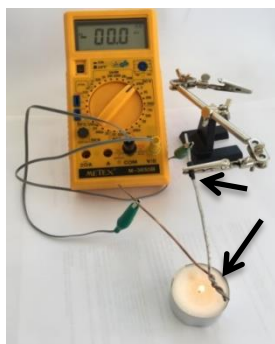


Fig. 62.



Obr.811 Pokus načíná Obr.812 Napětí je tu Obr.813 Termočlánek Bi-Sb Obr.814 T.J. Seebeck

**HT** Německý lékař a fyzik Thomas Johann Seebeck (\*1770 +1831) objevil v roce 1821 jev, který byl nazván termoelektrickým. V laboratoři spojil ploché díly z vizmutu (chemická značka Bi) a antimonu (Sb) na obou koncích, jak ukazuje skica na Obr.813 (Lit.21). Pak jeden ze spojených konců zahřívá plamenem (červená šipka). Pomocí stříelky kompasu dokázal, že v uzavřeném obvodu vzniká napětí a protéká proud. Seebeck dále prokázal v roce 1823, že existuje závislost mezi teplotou a napětím termočlánku. V roce 1825 sestrojil italský fyzik Leopoldo Nobili (\*1784 +1835) citlivý galvanometr, kterým dokázal upřesnit znalost závislosti napětí termočlánků na teplotě (Obr.817,818). V roce 1835 Nobili zkonstruoval sestavu 12 termočlánků spojených do tvaru nízkého válce, které byly zapojeny do série (Obr.816 Lit.30). Přesnější měření napětí umožnilo navrhnout a vyrobit prakticky využitelné termočlánky. Současné provedení termočlánku k laboratornímu měření teploty je vidět na Obr.819. Termočlánky pro náročné použití v průmyslu vidíme na fotografiích Obr. 820 až 822. K výrobě termočlánků se používá železo, měď, konstantan, platina, rhodium a četné další kovy. Výkonné sady termočlánků mohly sloužit jako laboratorní napájecí zdroj, například o napětí  $1,5\text{V}$  a proudu  $3\text{A}$ . Kresbu takového stejnosměrného zdroje nalezneme v katalogu vydaném roku 1893 (Obr.823). Zdroj vyhříval hořák na svítíplyn (Lit.32).



Obr.815 L.Nobili



Obr.816 Termočlánek Lit.63



Fig. 376.

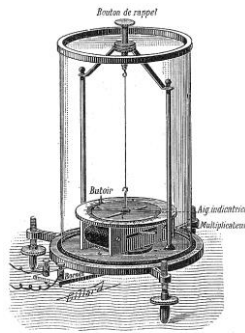


Fig. 388. — Galvanomètre de Nobili.



Obr.817 Galvanometr Obr.818 Galvanometr



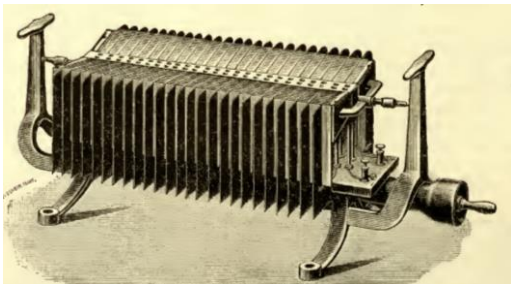
Obr.819 Termočlánek



Obr.820,821,822



Tři termočláanky v průmyslovém provedení



Obr.823 Elektrický zdroj na plynový pohon



Obr.824 Ventilátor



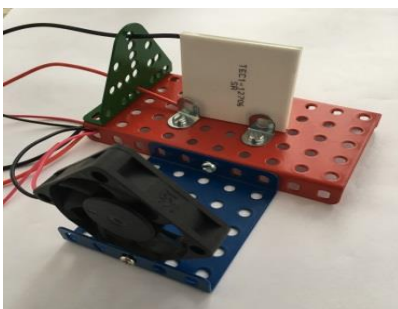
Obr.825 Vozík

Motorky malých hraček mohou také být napájeny z termočláneků. Zdrojem tepla pro motorek malého ventilátoru může být žhavá voda (Obr.824) nebo pro malý vozík jen teplo plamene svíčky (Obr.825).

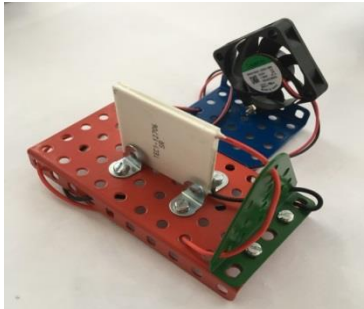
### 53. Obrácený termočlánek chladí

\*\*\*\*\*

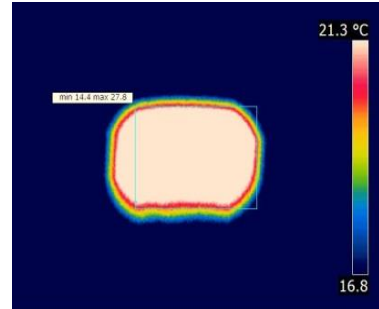
Termoelektrický jev funguje také obráceně. Napájením termočláneku elektrickým stejnosměrným proudem lze dosáhnout rozdílu teplot. K našemu pokusu budeme potřebovat zvláštní elektro-



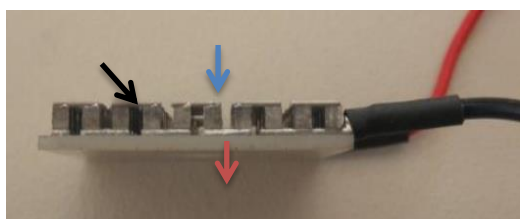
Obr.826 Peltierův článek



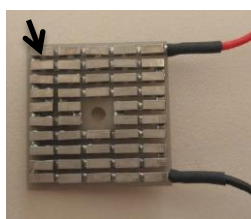
Obr.827 Peltierův článek



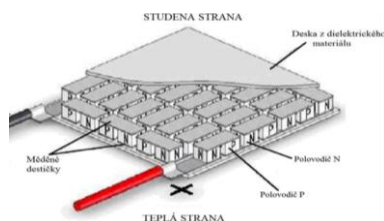
Obr.828 Teplotní pole článku



Obr.829 Odkrytý Peltierův článek



Obr.830 Měděné spoje



technickou součástku, která se nazývá Peltierův článek. Plochou součástku připevníme na rámeček z dílů stavebnice, červený přívod patří na kladný pól zdroje, černý na záporný pól (Obr.826,827). Jaké stejnosměrné napětí smíme použít se dozvíme z katalogového listu součástky. Na rámeček ještě připevníme malý ventilátor, který můžeme napájet ze stejného zdroje jako Peltierův článek. Po připojení ke zdroji napájení zjistíme dotykem prstů jedné ruky na stranách Peltierova článku různou teplotu. Zkontrolujeme jestli ventilátor ochlazuje proudem vzduchu teplejší povrch článku. Pokud máme možnost, tak si prohlédneme teplou a studenou stranu článku termovizní kamerou anebo bezdotykových teploměrem (Obr.828). Pokusem jsme dokázali, že studená strana Peltierova článku má teplotu nižší než je teplota okolí a hodí se tedy k chlazení. Peltierovy články najdeme v chladničkách pro auta, také v pokojích hotelů.



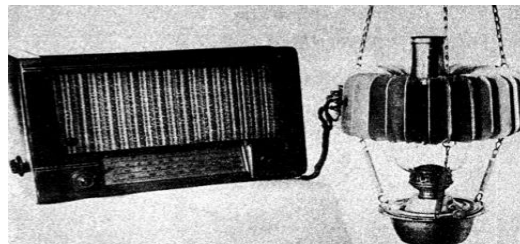
Obr.832 J.Peltier



Obr.833 G.Magnus



Obr.834 L. Kelvin



Obr.835 Zdroj elektřiny s petrolejkou r.1948

**HT** Jev zpozoroval při svých pokusech s termočlánky roku 1834 francouzský fyzik Jean Charles Anstase Peltier (\*1785 +1845)(Obr.832). Fyzik Gustav Magnus (\*1802 +1870)(Obr.833) prokázal v roce 1851, že napětí termočlánku není závislé na rozdělení teploty podél vodičů termočlánku. Lord Kelvin (Obr.834) dokázal, že Seebeckův a Peltierův jev spolu souvisejí. Úzce příbuzné jevy mají odlišné praktické použití. Obrácená změna tepla na elektřinu se hodila například k napájení rozhlasového přijímače (Obr.835).



Obr.836 Chladicí blok r.2025



Obr.837 Chladicí blok r.2025



Obr.838 Peltierova chladnička

Současné užití Peltierových článků je například k průmyslovému chlazení vody (Obr.837 šipky) nebo v malých hotelových chladničkách (Obr.838)

#### 54. Solární panel zakrytý rukou

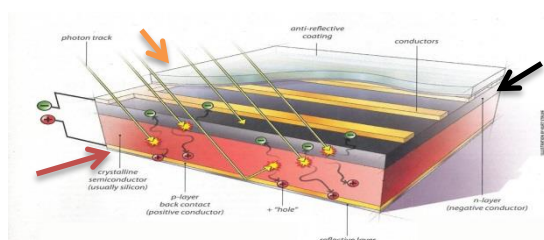
\*\*\*\*\*

K pokusu budeme potřebovat malý solární panel určený pro kutily (Obr.839), voltmetr a miliampérmetr. Panel položíme na místo nepřímo ozářené sluncem a změříme napětí naprázdno na jeho přívodech, bylo 6 VDC. Zkusíme zjistit výkon panelu, jako zatěžující odpor bude sloužit digitální miliampérmetr (Obr.840). Napětí odečítané na ručkovém voltmetru se nezměnilo, proudový odběr byl 0,491 mA. Nakonec budeme měřit pouze napětí, povrch solárního panelu přitom zakryjeme rukou. Účinek se dostavil hned, napětí pokleslo asi na polovinu, voltmetr ukázal jen 3 VDC(Obr.841). Vynásobením údaje o napětí a proudu vyčíslíme snížený užitý výkon panelu (cca 1,47 miliWatt).

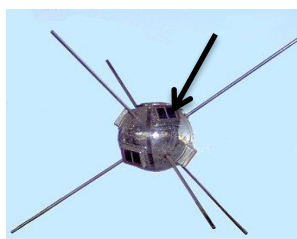


Obr.839 Solární panel Obr.840 Výkon panelu Obr.841 Napětí kleslo Obr.842 Napájení družice

**HT** Polovodičové solární články a panely byly uváděny do praxe během druhé poloviny 20.století. Veřejnost se v roce 1958 rozvěděla, že družice Země vypuštěná v USA v tomto roce užívala malé panely jako zdroj elektřiny (Obr.844). Schéma současného solárního panelu vidíme na kresbě na Obr.843. Směr dopadu fotonů slunečního záření do červené vrstvy krystalického křemíku je označen žlutými hvězdičkami a žlutou šipkou. Záporný pól spojený s tmavou vrstvou „n“ je označen černou šipkou. Červená šipka označuje kladný pól spojený s žlutě označenou vrstvou „p“. Fotony po dopadu do křemíkové vrstvy uvolňují elektrony směrem do vrstvy „n“. Kladně nabitě částice směřují opačným směrem. Výsledkem je vznik malého stejnosměrného napětí na svorkách solárního panelu.



Obr.843 Schéma solárního panelu



Obr.844 Družice Vanguard Obr.845 Model auta



Malé solární panely můžeme nalézt v četných hračkách (Obr.845). Velké solární panely na střechách domů a také ve volné krajině známe, právě tak malé panely k napájení kalkulaček (Obr.846 šipka). Skutečně velké solární panely zakrývající celou palubu lodi vidíme na Obr.847, povšimneme si malých člunů s lidmi v blízkosti lodi (šipka). Pro nepřístupná místa bez napojení na veřejnou elektrorozvodnou síť jsou určeny malé sluneční elektrárny, které mají na výstupu běžné střídavé napětí (Obr.848).



Obr.846 Solární panely



Obr.847 Loď na solární pohon



Obr.848 Solární přenosná elektrárna

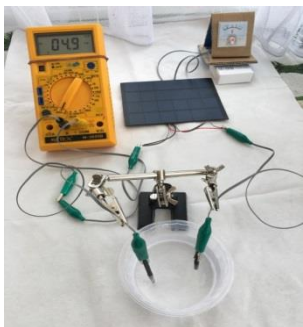
### 55. Solární panel pomůže rozložit vodu na dva plyny

\*\*\*\*\*

Jak brzy uvidíme solární panel nám pomůže rozložit vodu na dva plyny. K pokusu budeme potřebovat malý solární panel, plastovou misku s vodou, dvě tyčinky z uhlíku, voltmetr, miliampérmetr, čtené přívody k nim, malé množství kyseliny citronové a kuchyňské soli. Měřicí přístroje a panel propojíme, dvě uhlíkové tyčinky ponoříme do vody s troškou kyseliny citronové a budeme pozorovat co se stane. Napětí solárního článku bylo 6 VDC, proud 4,9 miliampér (Obr.850).

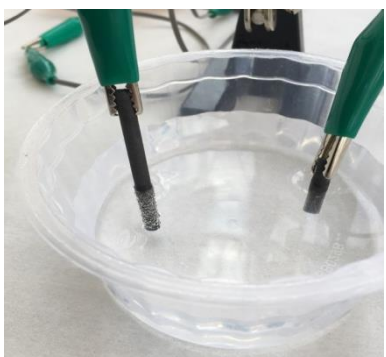


Obr.849,850 Rozklad vody malým stejnosměrným proudem



Obr.851 Jsou vidět bublinky

V nepřímém světle slunce brzo uvidíme malé bublinky, které pokrývají povrch uhlíkových elektrod (Obr.852). Na uhlíkové tyčince napojené na kladný (červený) vývod se vylučoval kyslík, na druhé tyčince spojené se záporným pólem vznikaly bublinky vodíku (Obr.852).



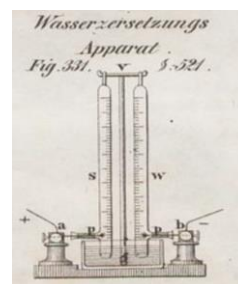
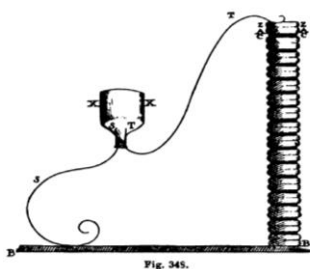
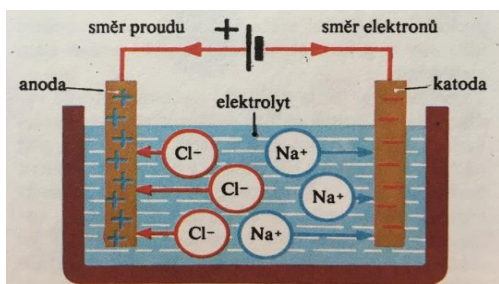
Obr.852 Uhlíkové elektrody



Obr.853,854 Rozklad vody pomocí baterie 5VDC



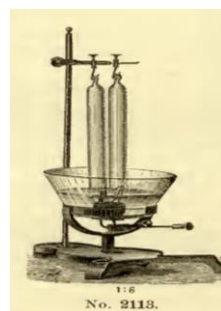
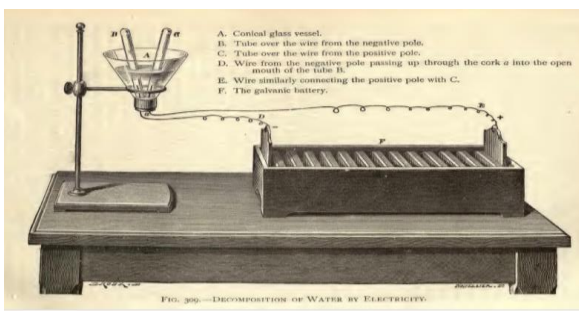
K rozkladu vody můžeme při zatažené obloze použít také bateriový zdroj o napětí 5 VDC (Obr.853,854).



Obr.855 Schema rozkladu vody Lit.48 Obr.856 Rozklad vody r.1800 Obr.857 Rozklad vody

Pokud uijeme k přípravě elektrolytu kuchyňskou sůl (NaCl), pak se bude na uhlíkové anodě vylučovat kromě kyslíku ještě chlor (Cl, Obr.855, Lit.48, r.1985).

**HT** Fyzikové Nicholson a Carlisle rozložili vodu pomocí elektrického proudu v roce 1800 jako první (Lit.30). Zdrojem proudu jim byla Voltova galvanická baterie. Vzniklý vodík a kyslík jímali a za vývinu třesku spálili. Pomocí přístroje, jehož kresba je na Obr.856, zjistil v roce 1800 také fyzik Landriani, že vodu lze rozložit. Napsal o tom Voltovi dopis. Volta v odpovědi uvedl, že podobný jev pozoroval také. V příručce fyziky vydané roku 1844 nalezeneme litografovanou přílohu s vyobrazení přístroje k rozkladu vody (Obr.857 Lit.10). Další provedení přístroje ukazuje Obr.858, který pochází z učebnice vydané v roce 1875 (Lit.17).



Obr.858 Laboratorní rozklad Obr.859 Napájení přístroje galvanickými bateriemi Obr.860 Příklad

Příklad přístroje k rozkladu vody spolu s galvanickou baterií k jeho napájení je vidět na Obr.859, který byl zveřejněn v knize vydané v roce 1881 (Lit.21). Podobné provedení přístroje k rozkladu vody nalezneme také v katalogu z roku 1893 (Obr.860, Lit.32).

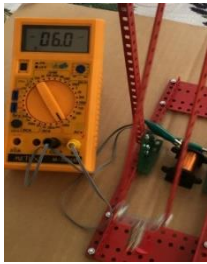
### 56. Magnet na houpačce vyvolá napětí v cívce z drátu

\*\*\*\*\*

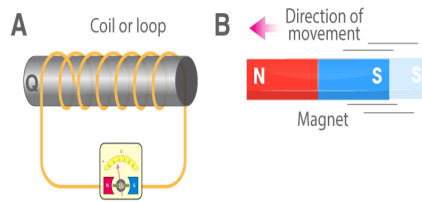


Obr.861 Pokus 1 Obr.862 Pokus 1 Obr.863 Pokus 1 Obr.864 Pokus 2 Obr.865 Pokus 2

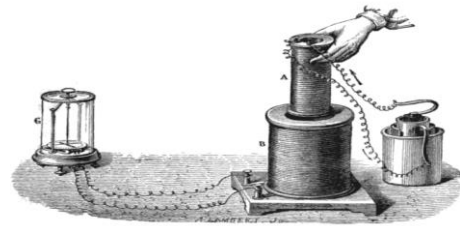
K pokusu budeme potřebovat stojánek a kyvadlo sestavené z ocelových dílů stavebnice, potom cívku z měděného drátu, neodymové magnety a měřicí přístroj. Na kyvadlo upevníme magnety a budeme jimi kývat co nejbližší povrchu cívky, jejíž vývody budou spojeny s měřicím přístrojem, který byl použit jako voltmetr střídavého napětí 0-200mV. Při dvou pokusech bylo úlohou pozorovat napětí ukazované na voltmetru při různých polohách kývajících magnetů vůči cívce. Magnetem můžeme pohybovat i uvnitř cívky (Obr.867).



Obr.866 Pokus 2

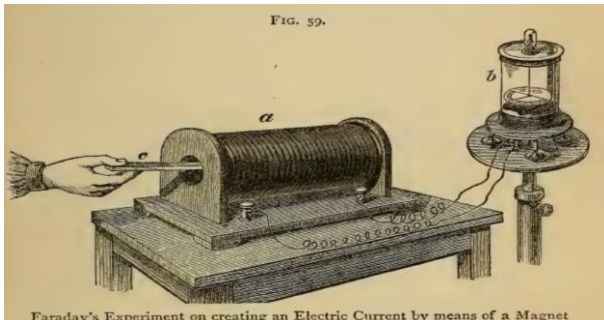


Obr.867 Cívka a magnet v pohybu



Obr.868 Dvě cívky a galvanoměr Lit.35

**HT** Provedené pokusy jako první provedl v první polovině 19.století anglický fyzik Michael Faraday. V knize vydané v USA v roce 1876 nalezneme obrázek jeho pokusu spolu s galvanoměrem k detekci vzniklého napětí (Obr.869, Lit.18). V knize vydané roku 1899 nalezneme podobný pokus, kde byl magnet nahrazen magnetickým polem cívky napájené galvanickým článkem (Obr.868, Lit.35).



Obr.869 Faradayův pokus s cívkou a magnetem



Obr.870 Magnet a cívky v r.2025

Současné školní laboratoře mohou ukázat Faradayův pokus moderními prostředky (Obr.870).

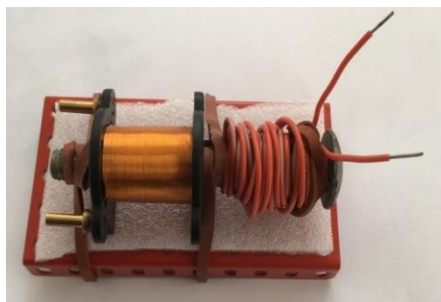
### 57. Dvě cívky z drátu a ocelový šroub přenášejí elektrinu

\*\*\*\*\*

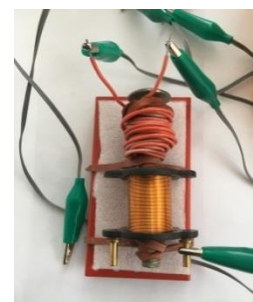
K pokusu budeme potřebovat ocelový díl mechanické stavebnice, kousek izolačního plastu,



Obr.871 Příprava pokusu



Obr.872 Dvě cívky a ocelové jádro



Obr.873 Napojení

cívku, ocelový šroub, kus izolovaného měděného drátu, baterii o napětí 5 VDC. Voltmetr přepneme na rozsah 0-200 mVDC. Izolovaný drát navineme 20 závitů na šroub (Obr.871). Cívku ze stavebnice navlékneme na šroub (Obr.872). Sestavu připevníme gumičkami na izolovanou podložku. Ke koncům izolovaného drátu připojíme voltmetr (Obr.873). Na mosazné vývody cívky napojíme přívody od bateriového zdroje 5 VDC(Obr.874). Na displeji voltmetru uvidíme údaj o velmi malém napětí, totéž se stane při odpojení zdroje od cívky (Obr.875,876). Zřejmě magnetické pole cívky prošlo ocelovým šroubem k cívce z izolovaného drátu a způsobilo tam vznik malého napětí.



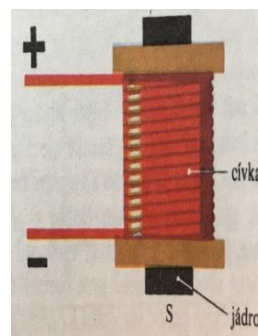
Obr.874 Připojení



Obr.875 Odpojení

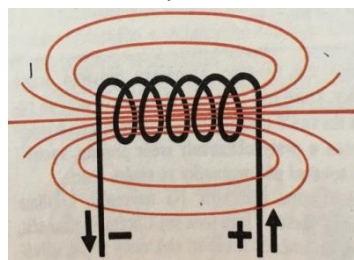


Obr.876 Odpojení



Obr.877 Cívka a jádro

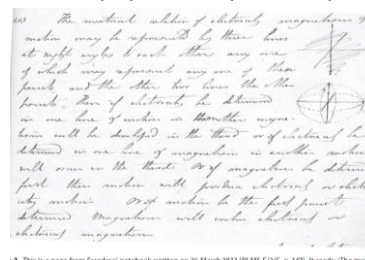
**HT** Náš pokus byl sestaven jako nápodoba experimentu, který úspěšně provedl v roce 1831 anglický fyzik Michael Faraday (\*1791 +1867)(Obr.882). K pokusu použil železný prstenec ovinutý dvěma cívkami (Obr.879,Lit.56,Obr.883 Lit.21).Po připojení a odpojení přívodů galvanické baterie k první cívce zjistil v druhé cívce malé napětí. Odběžná a náběžná hrana budícího proudu v první cívce vyvolala v železném kruhu magnetické pole, jehož změna indukovala napětí v druhé cívce. Faraday byl velmi systematický, o každém pokusu si vedl záznam (Obr.880, Lit.56). Za svůj život provedl několik tisíc fyzikálních a chemických pokusů. Současníkem mu byl americký fyzik Joseph Henry



Obr.878 Cívka a magn. pole

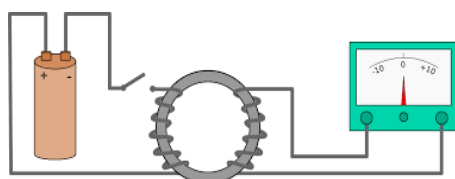


Obr.879 Faradayova cívka Lit.56



Obr.880 Faradayovy poznámky

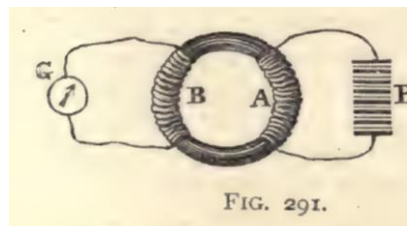
(\*1797 +1878), který také prováděl pokusy s cívkami a magnety. V roce 1829 přišel na novou myšlenku a sice izolovat vodiče cívek navinutým hedvábím (Obr.885, Lit.36).



Obr.881 Schema pokusu



Obr.882 Faraday



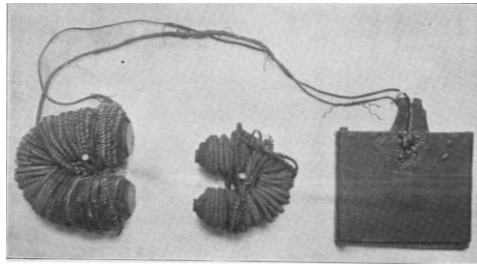
Obr.883 Pokus Lit.21 r.1881

V současnosti je také možno provádět pokus s cívkami navinutými na uzavřeném jádru (Obr.881)

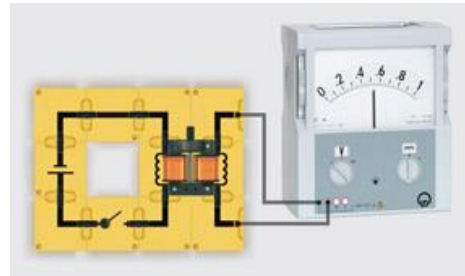
Pro respektování původní Faradayovy sestavy při pokusu je možno pořídit pro školní laboratoře patřičnou sestavu dílů (Obr.886, r.2025).



Obr.884 J.Henry



Obr.885 Cívky s izolací z hedvábí Lit.36



Obr.886 Školní pokus v roce 2025

### 58. Přeskočí elektřina z jiskry ve vzduchu na cívku z drátu ?

\*\*\*\*\*

Někdy se stane, že se pokus nezdaří. Nepomohlo ani jiskření motorku staršího vysoušeče vlasů, ani vodiče jako antény, cívky, fólie a opakovaná snaha, nic. Proto se raději obrátíme do minulosti, tam poznáme jak provedl experiment sám autor skutečně převratného objevu.

**HT** V druhé polovině 19.století bychom zastihli na polytechnické vysoké škole v jihoněmeckém městě Karlsruhe v laboratoři mladého fyzika, který se jmenoval Heinrich Hertz (\*1857 +1894)(Obr.888-890).



Obr.887 Příprava neúspěšného pokusu



Obr.888 H.Hertz



Obr.889,90 H.Hertz – busta v KIT Khe

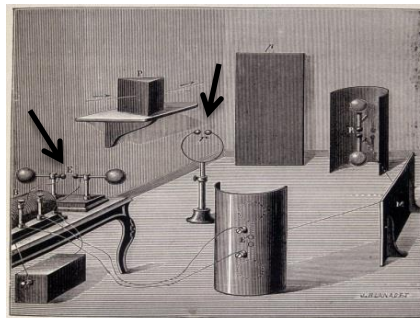


Obr.889,90 H.Hertz – busta v KIT Khe

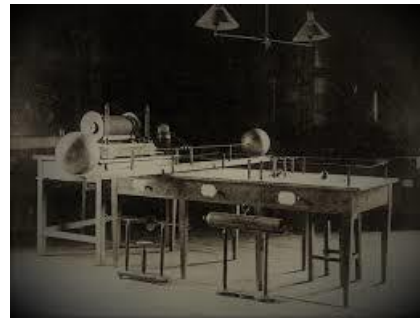
V laboratoři polytechniky byla v letech 1885 - 1889 zdrojem elektřiny galvanická baterie (Obr.891 šipka dole), která napájela induktor (šipka nahoře). Vysoké napětí induktoru Hertz přiváděl na



Obr.891 Experiment

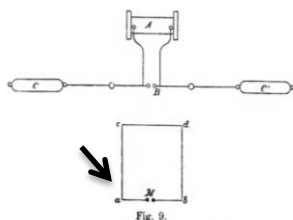
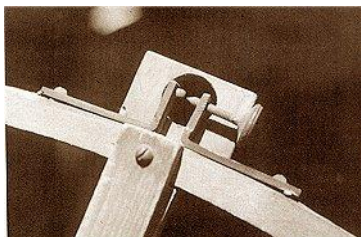


Obr.892 Pokusné zařízení v Karlsruhe



Obr.893 Pokusné zařízení

vodorovnou konstrukci v jejímž středu bylo jiskřiště (Obr.892 „E“ šipka vlevo). Opodál umístěný stojan držel svisle jeden otevřený závit vodiče na jehož koncích bylo rovněž jiskřiště (Obr.892 šipka vpravo). Hertz viděl při vhodném buzení sestavy induktorem v jiskřišti závitu drobné výboje .

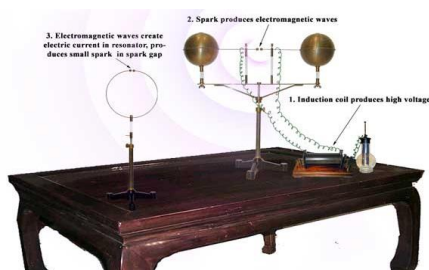


Obr.894 Originál zařízení    Obr.895 Náčres pokusu Lit.33    Obr.896 Díl originálního vybavení

Profesor Hertz označil ve své knize, která vyšla v roce 1894, závit za rezonátor (Obr.895 šipka Lit.33). Pokusem bylo prokázáno, že elektrická energie se může šířit na dálku dosud nepoznaným způsobem, pomocí elektromagnetického vlnění. Na Obr.894,896 vidíme zachovalé části přístrojů, které Hertz v laboratoři používal. Pokus zaujal mnohé fyziky, kteří si nechali postavit řemeslně velmi pěkně provedené repliky prvotního pokusu (Obr.987,898). Ani školní laboratoře nezůstaly pozadu, na Obr.899 vidíme malé pokusné zařízení. V pozdější době byl Hertzův objev připomínán na poštovních známkách (Obr.901,902). Mezinárodní společnost IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) připomenula objev vydáním medaile s podobou Hertze (Obr.900). Elektromagnetické vlnění nás provází doslova všude, třeba při bezdrátovém šíření rozhlasu, televize a internetu. Nesmíme zapomenout na mobilní telefony, letecké radary ... a mnoho dalších.



Obr.897 Rezonátor



Obr.898 Stůl s pokusem ( cca r.1890)



Obr.899 Školní pokus



Obr.900 Medaile IEEE



Obr.901,902 Heinrich Hertz na poštovních známkách



## 59. Elektromagnet pevně drží ocel

\*\*\*\*\*

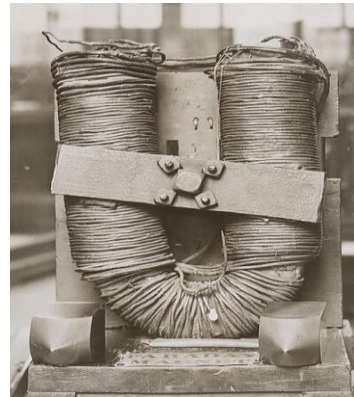
K pokusu připravíme ocelový díl stavebnice, bateriový zdroj 5 VDC, přívody a součástku nazývanou elektromagnet. Z katalogového listu elektromagnetu anebo z nápisu na něm zjistíme jakým nejvyšším napětím a proudem ho můžeme zatížit (Obr.903). Pokusem zjistíme jakou nejvyšší váhu náš elektromagnet unese (Obr.904). Jestliže odpojíme napájení, elektromagnet neunes žádnou váhu. Uvnitř elektromagnetu je cívka a jádro.



Obr.903 Příprava pokusu



Obr.904 Elektromagnet drží



Obr.905 Elektromagnet r.1845

**HT** Pokusy s elektromagnety se datují do první poloviny 19.století. První elektromagnet vyrobil v roce 1825 anglický fyzik William Sturgeon (\*1783 +1850). Použil k tomu železné jádro ve tvaru podkovy, které ovinul 14 závitů měděného drátu. Při pokusech dokázal, že při průchodu stejnosměrného proudu udrží jeho elektromagnet zátěž až 9 liber (4,1kg). Elektromagnet z roku 1845, který ve své laboratoři používal Michael Faraday, vidíme na snímku na Obr.905. Snímky elektromagnetů z roku 1850, které byly užívány v laboratoři amerického fyzika Josepha Henryho, jsou na fotografiích Obr.909,910.



Obr.906 Pokus



Obr.907 Pokus



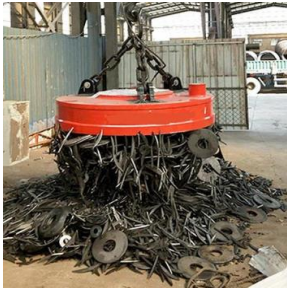
Obr.908 Pokus



Obr.909,910 Elektromagnety – Henry lab



Divácky přitažlivé pokusy s držením závaží pomocí elektromagnetů najdeme v knize z roku 1860 (Obr.906, Lit.14), dále v knize z roku 1881 (Obr.907 Lit.21) a také ještě v knížce z roku 1894 (Obr.908, Lit.34). Praktické užití elektromagnetů můžeme najít v současnosti nejen v místech časté manipulace s ocelovým šrotem (Obr.911,912), ale také v deskách k upínání rozměrných plochých ocelových součástí na obráběcích strojích (Obr.913). Nezapomeneme ani na dálkové otevírání dveří pomocí elektromagnetu. Fyzikální kabinety škol je možno v současnosti obohatit jednoduchým modelem elektromagnetu (Obr.914).



Obr.911 Elektromagnet



Obr.912 Elektromagnet



Obr.913 Upínací deska

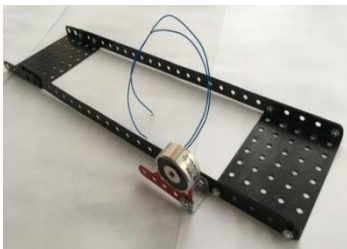


Obr.914 Pokus

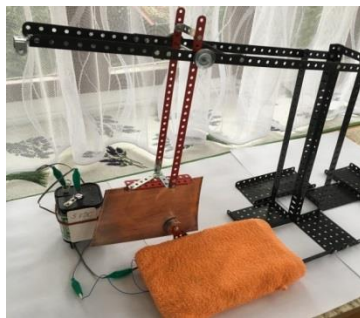
### 60. Elektromagnet brzdí houpačku (Waltenhofen)

\*\*\*\*\*

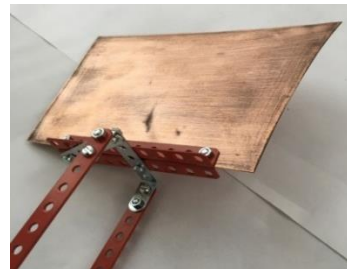
K pokusu budeme potřebovat stojan, který sestavíme z ocelových dílů stavebnice, dále pak kyvadlo. Z měděné desky vyrobíme nástavec, který připevníme pomocí šroubků ke kyvadlu (Obr.918, 919). K dolní části stojanu přišroubujeme elektromagnet (Obr.915). Vzájemnou polohu kývající desky a elektromagnetu nastavíme tak, aby mezera byla co nejmenší, asi 1 mm. (Obr.916,917). Nyní můžeme připojit elektromagnet k baterii, rozkvíveme kyvadlo pod malým úhlem a pozorujeme útlum kmitů. Potom napájecí zdroj od elektromagnetu odpojíme a opět rozkvíveme kyvadlo. Budeme sledovat jak se oba pokusy od sebe liší časovým průběh kvyů. Zjistíme, že při zapojeném elektromagnetu byl útlum kvyů viditelně větší. Důvod už známe z jiných pokusů. Kyvadlo se brzdí magnetickým polem vířivých elektrických proudů, které byly indukovány v měděné desce (Lenzovy, Fourierovy proudy). Proč se ale kyvadlo jmenuje tak divně ?



Obr.915 Elektromagnet



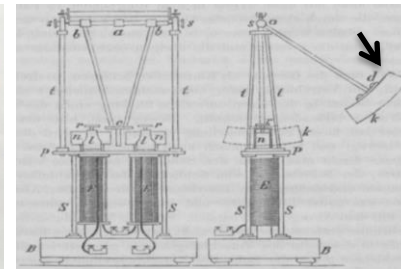
Obr.916,917 Model Waltenhofenova kyvadla s malým rozkvyem



Obr.918 Měděná deska



Obr.919 Upevnění desky



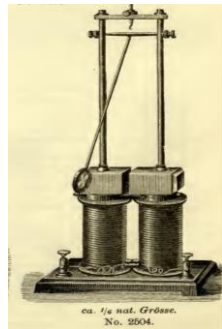
Obr.920 Waltenhofenovo kyvadlo

**HT** Rakouský fyzik Adalbert von Waltenhofen (\*1828 +1914)(Obr.921) vyučoval na Polytechnickém institutu v Praze v osmdesátých letech 19.století fyziku. Během svých přednášek nebyl spokojen

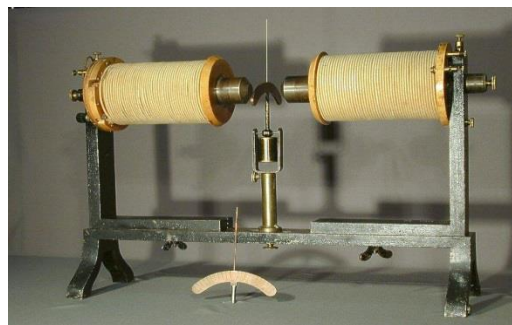
s tehdejšími malými přístroji, které měl k demonstrování Foucaultových vířivých proudů v posluchárně. Waltenhofen proto sestavil v roce 1883 návrh velkého kyvadla, které bylo vyrobeno v Praze. Popis a kresba kyvadla vyšly v témže roce v časopise Polytechnisches Journal (Obr.920, Lit.66). Autor v článku popsal rozměry kyvadla takto ... měděná deska kyvadla má rozměry 20 x 5 x 1 cm (šipka Obr.920), délka kyvadla je 50 cm. Jádra elektromagnetů mají průměr 7,5cm a cívky na nich navinuté mají tři vrstvy drátu o průměru 3mm. Vůle mezi měděnou deskou a nástavci elektromagnetu je 1 až 2mm. Kyvadlo nejdříve kývá volně z vodorovné startovní polohy, s malým tlumením. Po zapojení napájecího zdroje na elektromagnet jsou stejně zahájené kyvy silně tlumeny, jako ve velmi husté kapalině ... (Lit.66). Nové kyvadlo mělo dobrý ohlas, brzo se dostalo do katalogů školních přístrojů (např. Obr.922, Lit.32 r.1893). Jiná konstrukční provedení kyvadel jsou patrna ze snímků na Obr.923,925, 926. Waltenhofen sestavil ještě další přístroj k demonstraci tlumených lineárních kmitů (Obr.924). Waltenhofenovo kyvadlo najdeme ve školních fyzikálních laboratořích dodnes, moderní typy vyráběné v roce 2025 vidíme na Obr.927,928. Waltenhofen byl na základě četných a přínosných výsledků v oboru elektrotechniky jmenován v roce 1883 vůbec prvním vysokoškolským profesorem tohoto oboru v předlitavské části Rakouska-Uherska a sice na Vysoké škole technické (Technische Hochschule) ve Vídni.



Obr.921 Waltenhofen



Obr.922 Kyvadlo



Obr. 923 Waltenhofenovo kyvadlo



Obr.924 Pokus



Obr.925,926 Muzeální Waltenhofenovo kyvadlo



Obr.927,928 Současné přístroje pro laboratoř



### 61. Cívka úplně zmate kompas

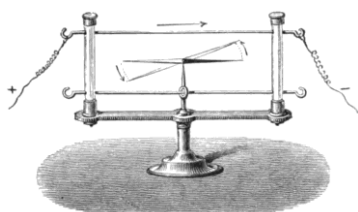
\*\*\*\*\*

K pokusu budeme potřebovat kompas, buzolu, cívku a napájecí zdroj 5 VDC. Vedle cívky položíme kompas a buzolu (Obr.929). Po připojení napájecího zdroje na cívku zpozorujeme výchylku střelek buzoly a kompasu. ) (Obr.930). Pokusem jsme prokázali, že magnetické pole cívky zmate kompas i buzolu. Kdo a kde asi uviděl podivný jev jako první ?

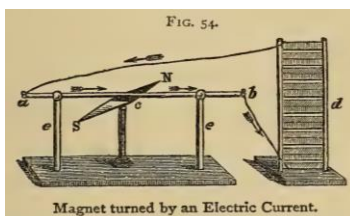


Obr.929 Cívka a kompas Obr.930 Cívka a kompas Obr.931 Oersted Obr.932 Oerstedův objev

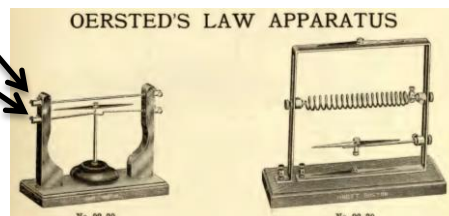
**HT** Dánský fyzik Hans Christian Oersted (\*1777 +1851) byl v roce 1820 profesorem fyziky na univerzitě v Kodani, hlavním městě Dánska (Obr.931). V témže roce 1820 zpozoroval během jedné ze svých přednášek, že se pohnula strelka kompasu v okamžiku, kdy jeho asistent připojil vodič nedaleko ležící na stole ke galvanické baterii (Obr.932, Lit.21). Oersted usoudil, že elektrický proud protékající vodičem vytvořil magnetické pole podobné jaké mají přírodní magnety a ovlivnil tím polohu strelky kompasu.



Obr.933 Oerstedův pokus



Obr.934 Oerstedův pokus



Obr.935 Školní přístroje z roku 1912

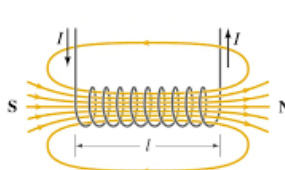
Oerstedův pokus zaujal odbornou veřejnost, později se rozšířily jednoduché přístroje pro školy k jeho ukázkám nového jevu, jak dokazuje kresba v knize vydané roku 1876 (Obr.933, Lit.18). Katalog školních pomůcek vydaný v USA v roce 1912 obsahoval dva takové přístroje (Obr.935, Lit.38). Přístroj lze pořídit do školy i nyní (Obr.936, r.2025). Ovšem je otázkou proč mají přístroje dvě vstupní zdířky ?



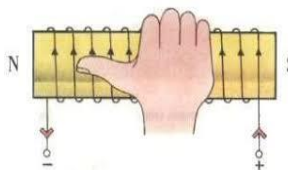
Obr.936 Školní přístroj



Obr.937 Ampere



Obr.938 Cívka pod proudem



Obr.939 Pravá ruka

Nápověda - můžeme si vzpomenout na orientaci siločar v cívkách (Amperovo pravidlo) a kolem vodiče (Obr.938-Obr.939).

## 62. Stopa po tužce na papíru vede elektřinu

\*\*\*\*\*

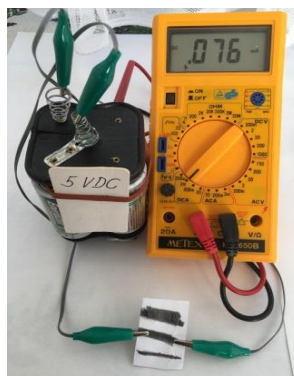
K provedení pokusu připravíme napájecí bateriový zdroj 5 VDC, měřicí přístroj, měkkou tužku, dvě barevné pastelky, dvě uhlíkové tyčinky, přírady se svorkami, kousek papíru a stojánek. Na papír nanese pomocí měkké tužky tři stopy, nejdříve silnou (Obr.941), pak slabší (Obr.942) a nakonec nejslabší (Obr.943). Měřicí přístroj zapojíme jako miliampérmetr do série s částí papíru bez stopy po měkké grafitové tužce (Obr.940). Přístroj neukázal žádný proud. Nyní svorky připojíme na širokou a silně nanesenou grafitovou stopu. Měřicí přístroj ukázal proud 0,396 mA (Obr.941). Užší a slabší vrstva grafitu propustila jen 0,076 mA (Obr.942). Nejslabší a nejužší stopa tužky na papíře nepropustila žádný měřitelný proud (Obr.943). Jak vidíme stopy mají přibližně stejnou délku. Z toho můžeme usoudit, že grafitová stopa propustí proud tím lépe čím je širší a silnější.



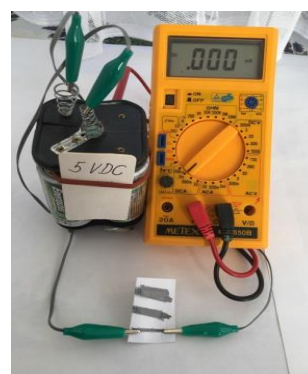
Obr.940 Odpor papíru



Obr.941 Silná stopa

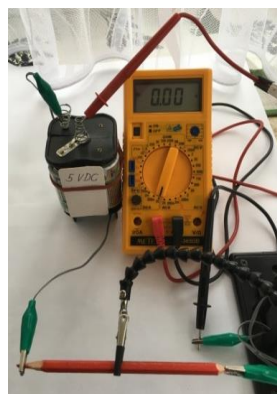


Obr.942 Slabší stopa



Obr.943 Nejslabší stopa

Vyzkoušíme jestli barevné pastelky vedou elektrický proud. Přichytíme červenou pastelku svorkami, ale červená náplň žádný proud nepropustila (Obr.944). Modrá pastelka také nepropustila žádný proud (Obr.945). Zkusíme ještě tenkou a silnější uhlíkovou tyčinku. Černá náplň do kovové tužky vedla proud o velikosti 0,31 A (Obr.946). Silnější uhlíková tyčinky vedla dokonce 1,15 A ! (Obr.947). Pokus jsme museli rychle ukončit, aby nedošlo k vyčerpání napájecího zdroje. Jsou tu veliké rozdíly.



Obr.944 Pastelka



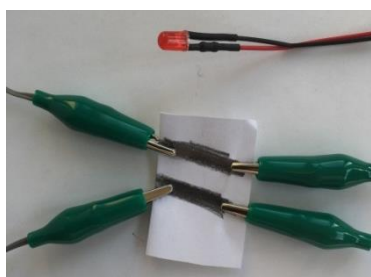
Obr.945 Pastelka



Obr.946 Uhlíková tyčinka



Obr.947 Uhlíková tyčinka



Obr.948 Vedení proudu pro LED

OHMŮV ZÁKON  
 $U = R \cdot I$   
 $U$  napětí [V]  
 $R$  odpor [Ω]  
 $I$  proud [A]  
 $R = \frac{U}{I}$

ODPOR VODIČE  
 $R = \rho \cdot \frac{l}{F}$  [Ohm, Ω]  
 $\rho$  měrný odpor [Ω·mm<sup>2</sup>/m]  
 $l$  délka [m]  
 $F$  průřez [mm<sup>2</sup>]

$R_{\text{stopy}} = \frac{U}{I} = \frac{5}{0,396 \cdot 10^{-3}} = 12626 \Omega = 12,626 \text{ k}\Omega$

Obr.949 Ohmův zákon

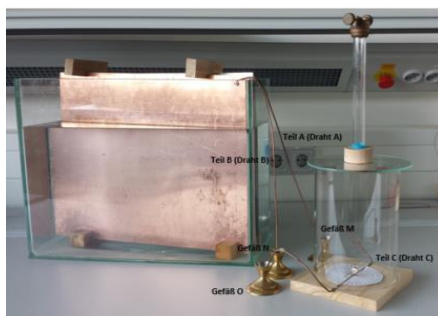


Obr.950 Měděný vodič

**HT** Pokusem jsme ověřili, že platí Ohmův zákon (Obr.949). Z údajů zjištěných pokusem pro silnou stopu grafitové tužky na papíře můžeme zjistit, je její odpor byl 12,6 kOhm ( Obr.949 šipka dole ). Grafit klade elektrickému proudu větší odpor než měď. Měděný drát má měrný odpor 0,0175(Ohm mm<sup>2</sup>/m), grafit má měrný odpor více jak 100x větší(Obr.950, Obr.951). Přesto se nám podařilo napětím 5 VDC rozsvítit diodu LED malým proudem, který byl veden přívodními vodiči z mědi a pak dvěma silnými stopami po tužce na papíru (Obr.948).



Obr.951 Přírodní grafit



Obr.952 Rekonstrukce Ohmova pokusu



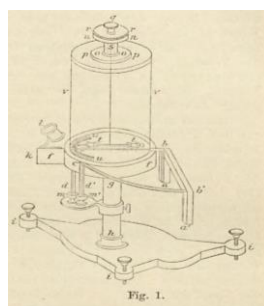
Obr.953 Ohmův pokus



Obr.954 G.Ohm

$$X = kw \frac{a}{l}$$

Obr.955 Ohmův zápis



Obr.956 Ohmův pokus



Obr.957 G.Ohm

Georg Simon Ohm (\*1787 +1854)(Obr.954,957) byl od roku 1817 profesorem gymnázia v Kolíně nad Rýnem, od roku 1833 ředitelem polytechnické školy v Norimberku, pak od roku 1849 profesorem fyziky na univerzitě v Mnichově. V roce 1826 prováděl rozsáhlá měření elektrických obvodů pomocí galvanometru (Obr.956,Lit.31). Výsledky měření a pozorování shrnul do lineární rovnice (Obr.955, Lit.30). Tato původní formulace pochází z textu příspěvku do sborníku Poggendorf's Annalen Nr.7 ročník 1826, str.117-118, kde X je proud, „a“ napětí, „w“ průřez mosazného drátu, „l“ jeho délka „k“ byl součinitel odporu (Lit.30). Současné vyjádření Ohmova zákona najdeme na Obr.949 (šipka nahoře). Moderní rekonstrukce Ohmova pokusu je vidět na snímku Obr.952 (Lit.59). Ohm je v současnosti jednotkou odporu. Jak byla tato jednotka fyzicky realizována uvidíme na následujících



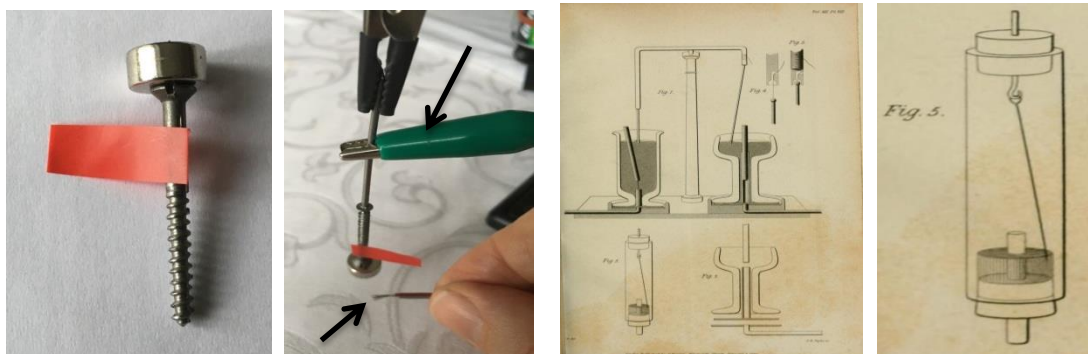
Obr.958,959 Odpor 1 Ohm z roku 1897 Obr.960 200 Ohm Obr.961 Sada odporů PTB

fotografiích. Na Obr.958,959 vidíme cejchovní normál elektrického odporu 1 Ohm vyrobený společností Siemens roku 1897. Další snímek ukazuje přesný odpor 200 Ohm ke kontrole kalibrace měřicích přístrojů z roku 1960 (Obr.960). Sada odporů 1 Ohm, která sloužila do nedávné minulosti jako státní etalony pro cejchovní službu PTB (Physikalisch Technische Bundesanstalt) v Německu, je vidět na vedlejším snímku (Obr.961)

V současnosti je 1 Ohm definován pomocí kvantového Hallova jevu, tím se bohužel jednoduchá názornost vytratila.

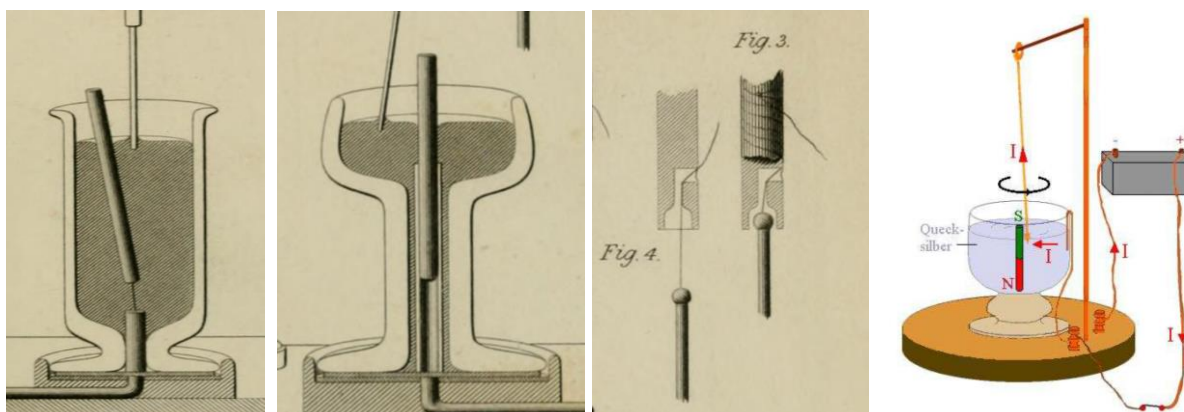
### 63. Elektromotor ze hřebíku, šroubku a magnetu

\*\*\*\*\*



Obr. 962,963 Model stejnosměrného motoru Obr.964 Rotující aparát Obr.965 Menší verze

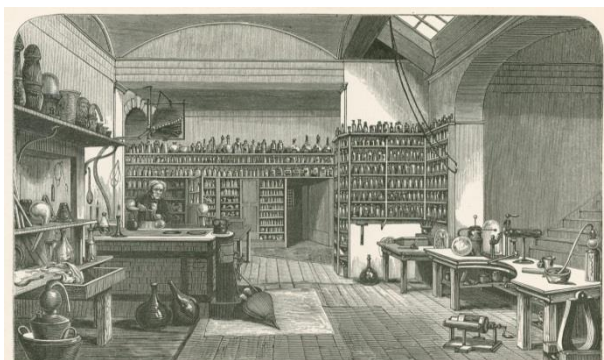
K provedení pokusu budeme potřebovat stojánek se svorkou, hřebík, vrut do dřeva a magnet.



Obr.966 Rotující mag. Obr.967 Rotující tyčinka Obr.968 Závěs tyčinky Obr.969 Princip pokusu

Na ocelový vrut připevníme magnet a červenou plastovou značku, aby bylo dobře vidět otáčení (Obr.962). Izolovanou svorkou upneme hřebík hlavou dolů a jeho dřík sevřeme svorkou přívodu elektřiny (Obr.963 šipka nahoře). Potom se dotkneme magnetu druhým přívodem od napájecího zdroje (šipka dole). Model elektromotoru se roztočí.

**HT** Náš pokus je odezvou na původní experiment, který realizoval roku 1822 Michael Faraday (Lit.6). Na Obr.966 vidíme mědirytinu první verze pokusu, kdy magnet upevněný za přívodní vodič opisuje pravidelný rotační pohyb ve rtuti. Příčinou pohybu byla interakce pole magnetu s magnetickým polem proudu protékajícího od dolního přívodu k hornímu. Druhou variantu pokusu vidíme na Obr.967. Uprostřed kelímku se rtuť je upevněn magnet, ve spodní části kelímku vidíme přívod elektřiny. Nahoře krouží kolem magnetu tyčinka upevněná v závěsu. Provedení závěsu a přívodu elektřiny je patrné z detailů na Obr.968. Schéma pokusu a jednoduchá realizace jsou vidět na Obr.969,972,973.



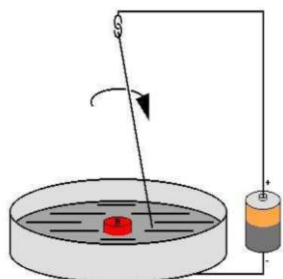
Obr.970 Michael Faraday v laboratoři cca r.1850



PAUL WILKINSON  
This is Faraday's original basement laboratory at the Royal Institution

Obr.971 Faradayova laboratoř v současnosti

Další ukázky pokusu vidíme na Obr.975-Obr.977. Výsledky počítačového modelování průběhu elektrického potenciálu podél a vně rotujícího šroubu je vidět na Obr.974 (Lit.55).



Obr.972 Schema pokusu



Obr.973 Pokus

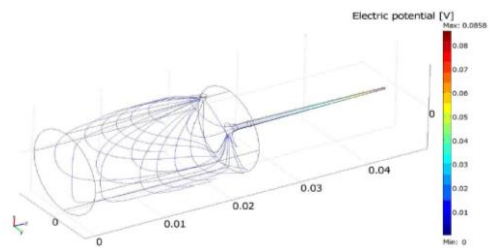
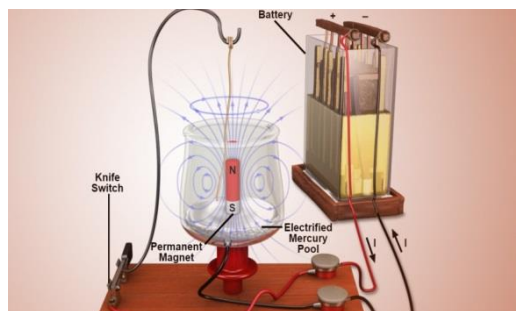


Fig. 21. FEM solution of the SPICE model for the total current density (streamlines), and the distribution of electric potential on the screw (colored scaling).

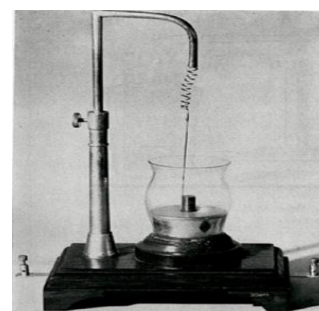
Obr.974 Elektrické napětí šroubu Lit.55



Obr.975 Pokus s rotující tyčinkou



Obr.976 Pokus s tyčinkou

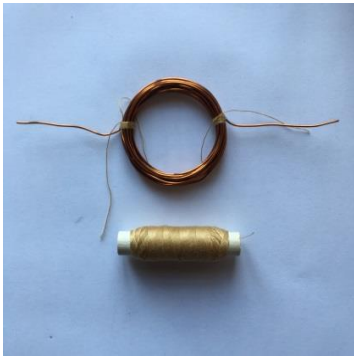


Obr.977 Pokus s tyčinkou

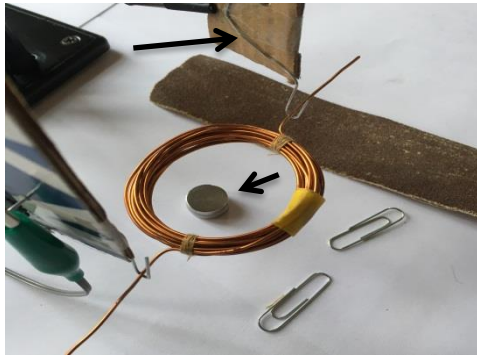
#### 64. Sestavíme elektromotor a model generátoru zvlněného napětí

\*\*\*\*\*

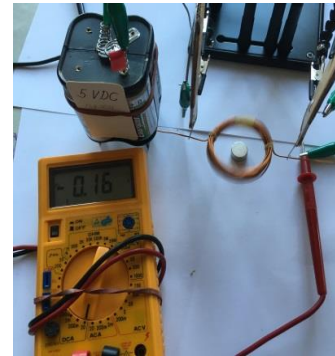
K sestavení jednoduchého modelu stejnosměrného elektromotoru budeme potřebovat měděný lakovaný drát, pevnou nit, dvě kancelářské ocelové sponky, neodymový magnet, kousek jemného smirkového plátka a bateriový zdroj 5 VDC. Model stejnosměrného motoru z cívky o 18 závitů lakovaného měděného drátu o průměru 1mm vidíme na Obr.978. Vnitřní průměr cívky byl 45mm, ohmický odpor 0,3 Ohm. Uložení cívky do osy rotace bylo provedeno pomocí dvou ocelových kancelářských svorek, které byly připevněny na tvrdém papíře pomocí lepicí pásky (Obr.979 šipka nahoře). Napájení bylo provedeno z bateriového zdroje o změřeném napětí 4,98VDC. A nyní vezmeme opatrně konce izolovaného drátu cívky a pomocí jemného smirkového plátka odstraníme lak v místě jeho uložení ve sponkách, ale jen částečně, do tvaru půlválce. Lak na druhé části půlválce musí zůstat neporušen ! Pod cívku umístíme silný neodymový magnet (Obr.979 šipka dole).



Obr.978 Příprava pokusu

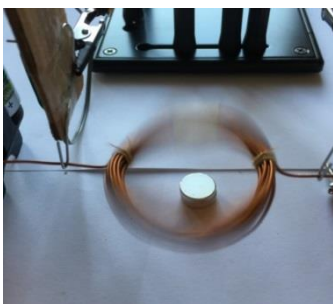


Obr.979 Zavěšení cívky do ložisek

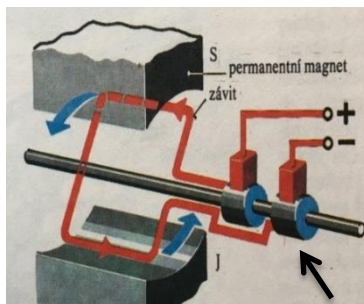


Obr.980 Cívka se rychle točí

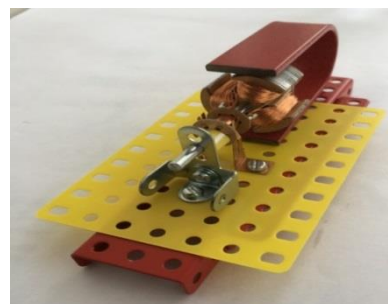
Cívku zavěsíme do ocelových svorek a závěs vyvážíme do vodorovné roviny. Vyzkoušíme pootočením, že je cívka dobře vyvážená a může se volně protáčet. Nyní připojíme konce kancelářských svorek k napájecímu zdroji a lehce cvrnkneme prstem do cívky. Zjistíme, že se cívka začne celkem rychle otáčet (Obr.980,981).



Obr.981 Cívka se točí



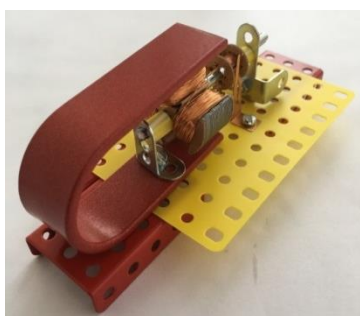
Obr.982 Motor Lit.48 r.1985



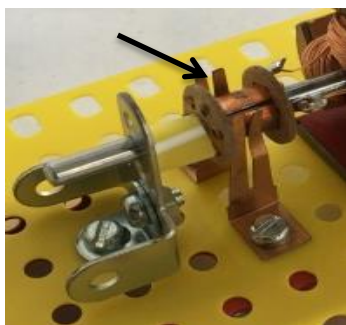
Obr.983 Motor ze stavebnice

Schéma elektromotoru s jedním napájeným závitů rotoru je vidět na Obr.982 (Lit.48). Tam kresebně naznačené sběrací kroužky a kartáče přívodů proudu byly v našem případě nahrazeny zbrúšením laku na částech vodiče v místě uložení v kancelářských sponkách (Obr.982 šipka).

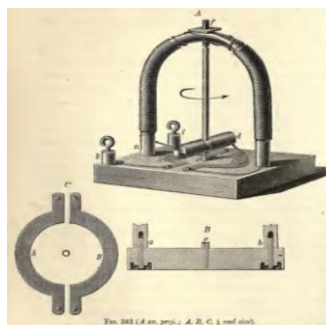
**HT** Model motoru z našeho pokusu lze použít pouze jako ukázkou, pohánět s ním žádný mechanický model nebude možné. K tomu účelu se lépe hodí stavebnice motorků, které se pro kutily vyrábějí. Na Obr.983,984 vidíme složený motor s permanentním magnetem ve tvaru podkovy, rotorem s vinutím a ložisky, jako celek uložený na malém rámu sestaveném z částí mechanické stavebnice Merkur. Na Obr.985 je vidět v detailu provedení dvou půlválcových dílů komutátoru a dvou pružných kartáčů. Stavebnice motorů pro děti nebo pro školní laboratoře můžeme najít už v knihách vydaných v 19.století. Na Obr.986 z roku 1875 je model motoru se elektromagnetickým statorem ve tvaru podkovy a svislým rotorem (Lit.17).



Obr.984 Motor ze stavebnice

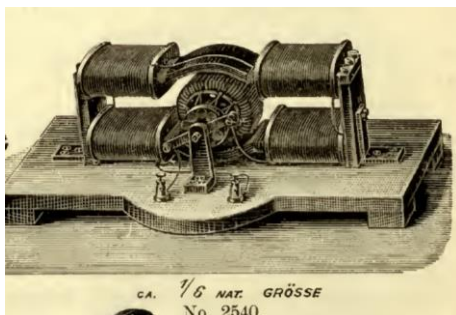


Obr.985 Detail komutátoru

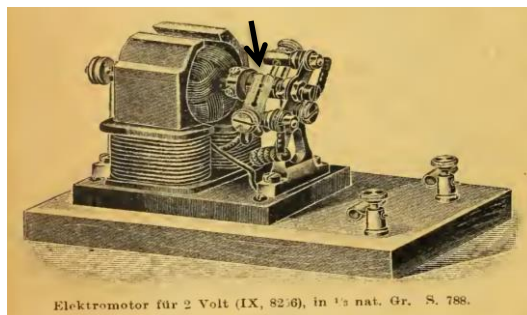


Obr.986 Motor (r.1875)

Katalog školních potřeb vydaný v roce 1893 obsahoval jiné konstrukční pojetí modelu motoru (Obr.988 Lit.32). Elektromotor na napětí 2 Volt z roku 1914 měl podobné provedení kartáčů jako model elektromotoru ze stavebnice Merkur zakoupené v roce 2021 (Obr.985,989 šipky)(Lit.39).

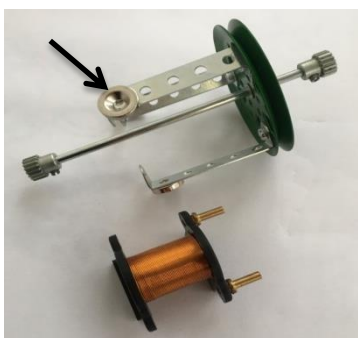


Obr.988 Motor do školní laboratoře

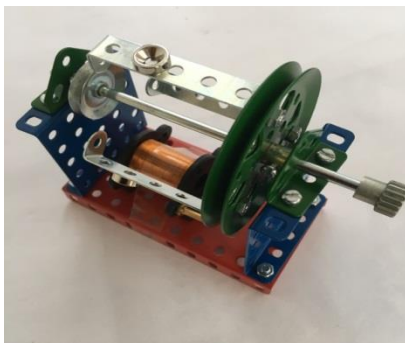


Obr.989 Motor do školní laboratoře r.1914

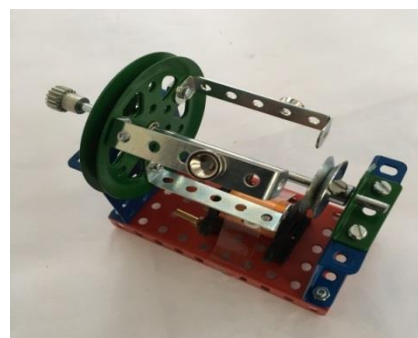
Pokusíme se ještě sestavit generátor zvlněného napětí. Budeme k tomu potřebovat díly mechanické stavebnice, tři neodýmové magnety, cívku, lepicí pásku a měřicí přístroj (Obr.990). Na rotoru



Obr.990 Příprava pokusu

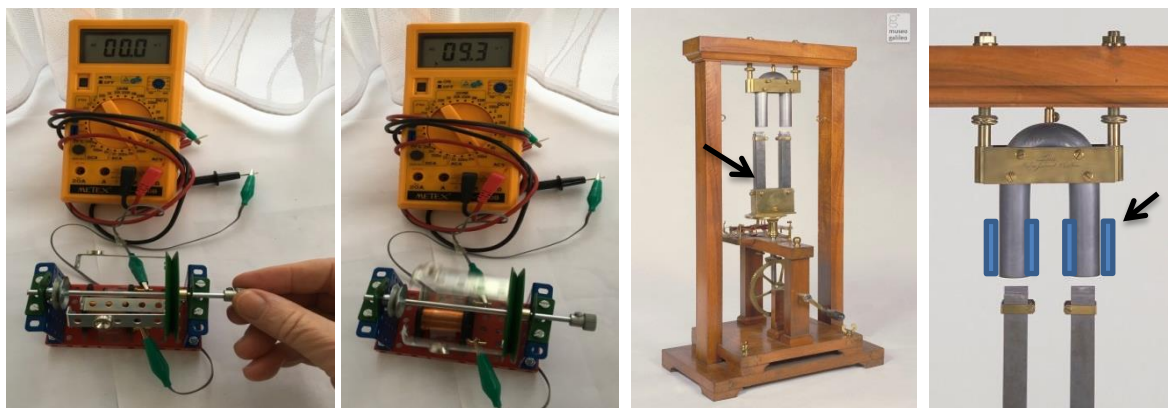


Obr.991 Generátor je sestaven



Obr.992 Generátor je sestaven

sestaveném z dílů stavebnice budou suvně přichyceny tři magnety (Obr.990 šipka). Cívku přilepíme ke statoru jen průhlednou páskou, aby bylo možno snadno měnit její polohu. Vyzkoušíme, zda se rotor otáčí volně a má co nejmenší volnou vzdálenost od cívky (Obr.992). K vývodům cívky připojíme digitální voltmetr s rozsahem nastaveným na 0 až 200 mVAC (Obr.993). Pak energicky protočíme rotor. Napětí měřené při pokusu dosáhlo nejvýše 9,3 mVAC (Obr.994). Nyní můžeme pokus zpestřit pozorováním, zda magnety posunuté do jiné polohy budou mít vliv na velikost napětí. Také můžeme cívku z polohy rovnoběžné k ose rotace nastavit do polohy šikmé. Bohužel nemáme osciskop, proto nemůžeme pozorovat časový průběh napětí. Snad někdy příště.



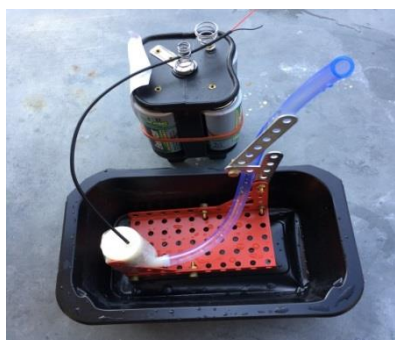
Obr.993 Generátor v klidu Obr.994 Měření napětí Obr.995 Generátor Pixii Obr.996 Detail stroje

**HT** Patrně z první komu se podařilo sestavit v roce 1832 fungující generátor střídavého napětí byl francouzský mechanik Hippolyte Pixii (\* 1808 +1835). Jeden z přístrojů je dodnes uložen v Museo Galilei v Itálii (Obr.995). Celková výška mahagonového rámu generátoru je 1180mm. Svislý magnet v podobě podkovy byl roztáčen mechanismem poháněným na kliku (Obr.995 šipka). Napětí se indukovalo ve dvou cívkách, které na muzejním exponátu chybí (náhradní modré obdélníky). Cívky byly navlečeny na železném jádře (Obr.996 šipka). Při ukázkách původního experimentu bylo napětí po doplnění generátoru komutátorem prokazováno lístkovým galvanoskopem a také pomocí rozkladu vody.

#### 65. Elektromotor čerpá vodu

\*\*\*\*\*

K dalšímu pokusu budeme potřebovat malé vodní odstředivé čerpadlo, misku s vodou, díly mecha-



Obr.997 Čerpadlo na vodu



Obr.998 Čerpadlo na vodu

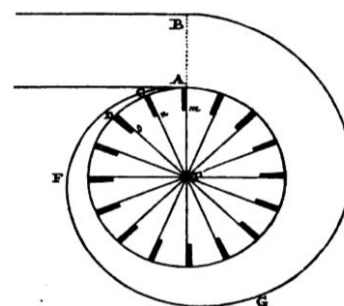
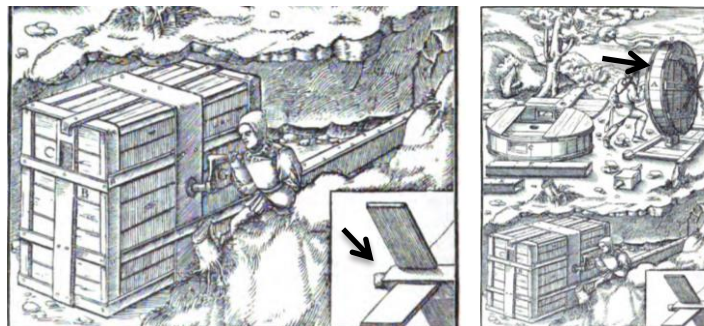
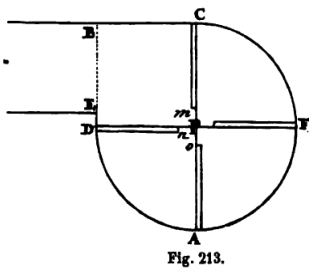


Fig. 214.

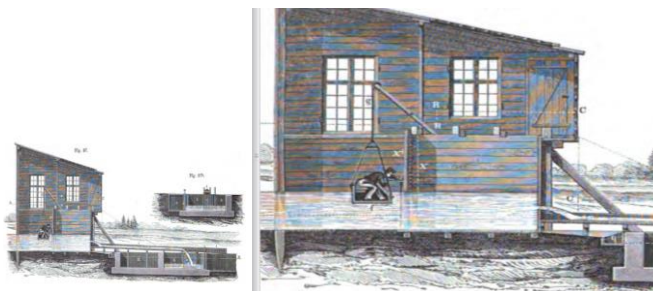
Obr.999 Odstředivý ventilátor

nické stavebnice, hadičku, a napájecí zdroj 5 VDC. Čerpadlo a hadičku připevníme pomocí dílů stavebnice podle Obr.997. Pak půjdeme někam ven, pokus nebudeme dělat v místnosti. Venku spustíme čerpadlo a budeme pozorovat tvar, který opisuje voda tryskající z hadičky. Uvidíme zvláštní oblouk. Podobný oblouk vody uvidíme také v parku u fontány, která stříká vodu šikmo do výšky.

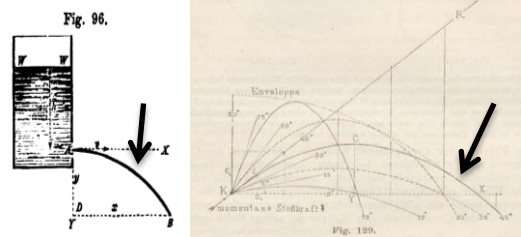
**HT** V prostředí vakua by vodou vytvořeným obloukem byla kvadratická parabola. Stejnou křivku by opisoval třeba kámen hozený ve vakuu stejným směrem. Ovšem kámen hozený šikmo do výšky někde na louce u lesa bude opisovat balistickou křivku, stejně jako náboj ze střelné zbraně. K největšímu dostřelu je vhodné volit úhel šikmého vrhu  $45^\circ$ . Vrátime se ještě k odstředivému čerpadlu. První dokumentované použití tohoto principu v Čechách je možno nalézt v latinsky psané knize „De re metallica“ vydané roku 1556 ve Švýcarsku v Basileji (Obr.1001,1002). Knihu napsal lékař, fyzik, znalec hornictví a mineralogie Georgius Agricola (\*1494 +1555), vlastním jménem Georg Bauer. Agricola ve své knize shrnul tehdejší poznatky o hornictví na obou stranách severočeských Krušných hor. Na Obr.1001 vidíme rotor ventilátoru se čtyřmi lopatkami (šipka). Válcová skříň důlního ventilátoru ve patrná na Obr.1002(šipka). Ventilátor na ruční pohon klikou byl uložen v další skříni ve tvaru hranolu. Stejný princip užitý opět u odstředivého ventilátoru v 18. století nalezneme v knize vydané v roce 1899 (Obr.1000,Lit.35). Už v průběhu 18. století byla malá účinnost ventilátorů zlepšena zvýšením počtu lopatek a náhradou válcové skříňe zdokonalenou skříňí spirálovou (Obr.999). Pro srovnání je vidět na snímku Obr.998 historickým ventilátorům velmi podobný rotor čerpadla na vodu, které nalezneme téměř v každé současné domácnosti v automatické pračce a myčce nádobí.



Obr.1000 Odstředivý ventilátor Obr.1001,1002 Odstředivý ventilátor v Čechách v 16.století



Obr.1003,1004 Zkušební stanice r.1880



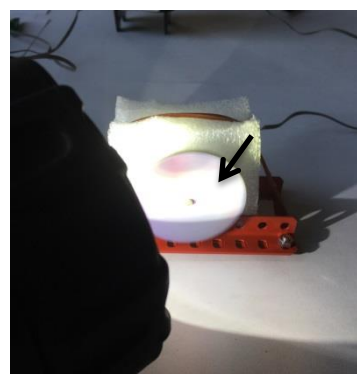
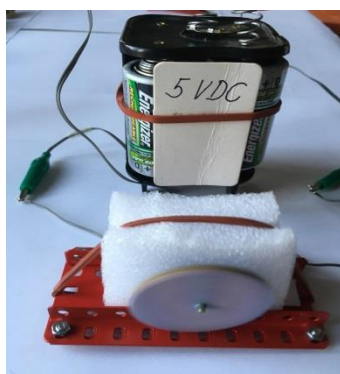
Obr.1005,1006 Výtok vody pod různými úhly

Zkoumání hydraulických poměrů při výtoku vody v 19.století velmi pokročilo. Na Obr.1003,1004 vidíme velkou zkušební stanici, kde byly experimentálně hledány velikosti hydraulických odporů potrubí, jezů, dále při výtoku vody, včetně odchylek od teorie při výtoku vody otvory z nádob ven (Obr.1005 šipka, Lit.20). Soubor teoretických trajektorií šikmého vrhu (také výtoku vody) v závislosti na úhlu je vidět na Obr.1006. Šipkou je označen největší donos pro úhel šikmého vrhu  $45^\circ$ .

## 66. Elektromotor nechá zmizet tři barvy

\*\*\*\*\*

K pokusu budeme potřebovat malý elektromotor, zdroj 5 VDC, ocelové díly stavebnice, pěnový plast, gumičku, tvrdý papír, nůžky, lepidlo a barevné pastelky. Motorek upneme pomocí pěnového plastu na rámeček z ocelových dílů (Obr.1007). Z tvrdého papíru vystříháme několik různě velkých kotoučků, které rozdělíme na výseče. Ty potom vybarvíme. Zvolený kotouček navlékneme na hřídelku motorku a zajistíme jeho polohu kapkou lepidla. Podívejme se nyní co se stane když připojíme motorek na zdroj (Obr.1008). Optickým klamem splynou červená, zelená a modrá barva při pozorování na denním světle v jakýsi světlý odstín červenošedé barvy. Jinak tomu bude při nasvícení rotujícího kotoučku svítilnou bílým světlem z diody LED (Obr.1009). Kotouček se pak jevil jako bílý (šipka). Zřejmě se oko nedokáže přizpůsobit tak rychlým změnám pozorovaných barev a barvy nevidí.



Obr.1007 Newtonovy kotoučky

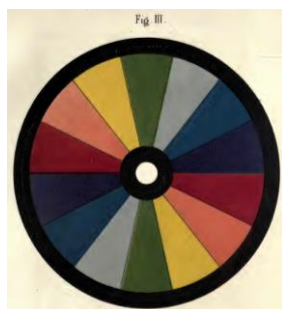
Obr.1008 Kotouček se už točí

Obr.1009 Bílá barva ve světle

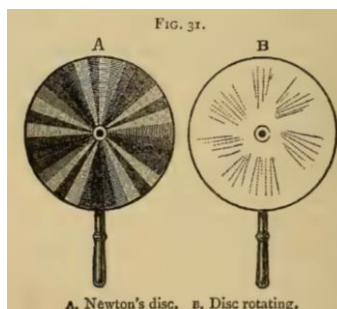
**HT** Jev provedl a popsal v roce 1672 anglický fyzik Isaac Newton (\*1642 +1726). Několik let prováděl pokusy s rozkladem slunečního světla skleněným hranolem a našel v něm 7 barev. Barvy opět skládal do výsledné šedé barvy. Pokus s rotujícím kotoučkem dostal Newtonovo jméno. Jev byl však už dříve znám starým řeckým a ve středověku též arabským učencům.



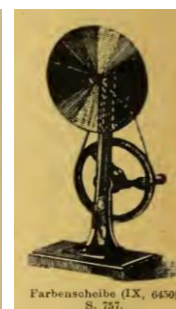
Obr.1010 Kotouček (Lit.10)



Obr.1011 Kotouček



Obr.1012 Kotoučky



Obr.1013

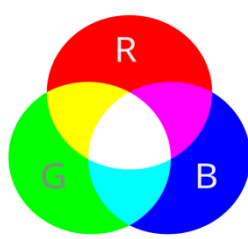
Na litografii z roku 1844 vidíme skládání bílé barvy z třech barev – červené, žluté a modré (Obr.1010) (Lit.10). Barevný kotouček na Obr.1011 pochází z knihy vydané v roce 1876 (Lit.18). Učebnice z roku 1875 obsahovala černobílou kresbu Newtonova kotoučku za klidu a při otáčení (Obr.1012, Lit.17). Katalog školních pomůcek z vydaný v roce 1914 informoval zájemce o možnosti pořídit pro školy Newtonův kotouček s ručním pohonem na kliku (Obr.1013, Lit.39). Moderní kotouč se sedmi barvami je vidět na snímku na Obr.1014. Pro školy je určen kotouč poháněný elektromotorkem (Obr.1015).



Obr.1014 Kotouč



Obr.1015 Přístroj



Obr.1016 Tři barvy

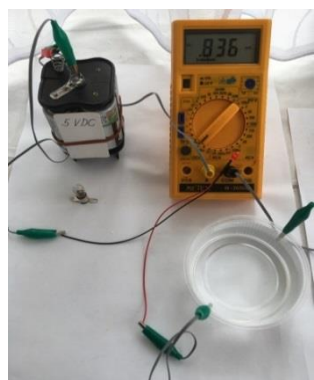


Obr.1017 Foto ze tří filtrů r.1912

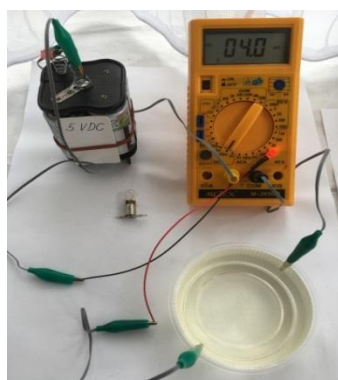
Tři základní barvy jsou používány k složení tisíců odstínů barev, které vidíme každý den digitálně vykouzlené na monitorech počítačů, mobilních telefonů, v televizi a jinde. Princip byl však využit už dávno, jak dokumentuje barevná analogová fotografie z roku z roku 1912. Barevný pozitiv byl tehdy složen ze třech negativů snímaných pomocí filtrů ve třech základních barvách (Obr.1017 šipka).

### 67. Slaná voda vede elektrinu lépe

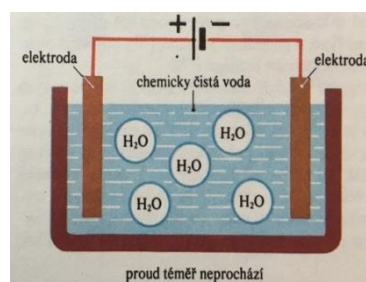
\*\*\*\*\*



Obr.1018 Čistá voda



Obr.1019 Slaná voda



Obr.1020 Vodivost čisté vody

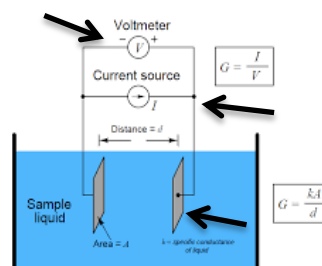
K provedení pokusu budeme potřebovat plastovou misku s čistou vodou, diodu LED s ochranným odporem, špetku kuchyňské soli (NaCl), zdroj 5 VDC, a měřicí přístroj nastavený na rozsah 200 mADC. Svorky přívodů upevníme na kraj plastové misky tak, aby jejich konce byly ponořeny do vody. Dioda LED, miliampérmetr a roztok budou jako odpory elektricky zapojeny za sebou. Po připojení napájecího zdroje k třem odporům v sérii byl zjištěn proud 0,836 mA, dioda LED nesvítla. V druhé části pokusu přidáme malé množství soli do vody, zamícháme a zjistíme účinek. Proud se zvětšil na 4 mA a dioda LED se rozsvítla (Obr.1019).



Obr.1021 Měření vodivosti



1022 Přenosný měřicí přístroj



Obr.1023 Princip měření

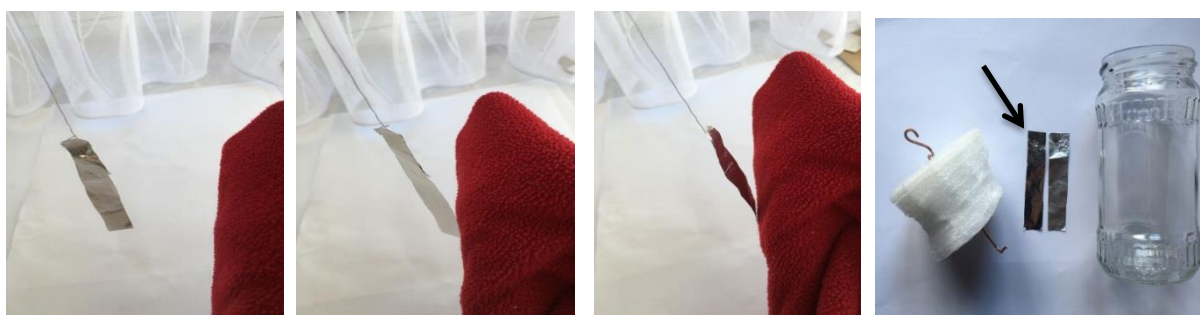
**HT** Pokusem jsme zjistili, že čistou vodou elektrický proud téměř neprocházel (Obr.1020, Lit.48).

Přítomnost iontů ve vodě umožní snadnější vedení proudu mezi elektrodami. K měření vodivosti roztoků se používá jednotka nazvaná Siemens (1/Ohm). Současný laboratorní přístroj k měření vodivosti vidíme na Obr.1021. Provozní přístroj k měření vodivosti kapalin v průmyslu ukazuje snímek na Obr.1022. Princip měření je vidět na Obr.1023. Zdrojem vnucený střídavý proud (šipka uprostřed) prochází kapalinou mezi elektrodami (šipka dole), měřenou hodnotou je střídavé napětí mezi elektrodami (šipka nahoře). Princip vypadá jako snadný, praktická realizace je však velmi obtížná. Jen velmi málo výrobců nabízí průmyslové provozní přístroje k průběžnému zjištění váhové koncentrace měřené složky v roztoku soli jako nebo v roztoku koncentrované kyseliny sírové.

#### 68. Elektrický náboj v šálce pohne alobalem

\*\*\*\*\*

K provedení dalšího pokusu budeme potřebovat šálku, zimní vlněné rukavice, kousek hliníkové fólie, pěnový plast, měděný drát, nůž, nůžky, kleště, smirkové plátno a sklenici. Při pokusu budeme mít suchou obuv s gumovou podrážkou, kvůli izolaci. Kousek hliníkové fólie pověsíme na nit' a suchou rukavici budeme třít suchou šálku. Potom přiblížíme šálku k visící fólii a pozorujeme jak bude hliníkový plátek šálkou přitahován. Jev nás přivede k sestavení jednoduchého elektroskopu. Z fólie nejdřív vystříháme dva plátky a na jejich konci vytlačíme špičkou nůžek malé otvory (Obr.1027).



Obr.1024 Plátek v klidu Obr.1025,1026 Plátek je přitahován nábojem Obr.1027 Příprava pokusu

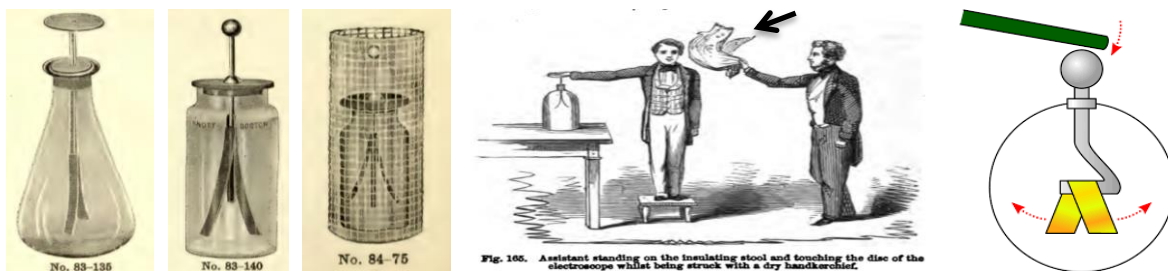
Z pěnového plastu vyřízneme válcovou zátku o něco větší nežli je hrdlo sklenice. Měděný drát na koncích očistíme smirkovým plátnem a ohneme. Ohnutý drát protáhneme zátkou a na jeho vodorovný konec zavěsíme oba plátky těsně vedle sebe. Přesvědčíme se opatrně, že se plátky mohou v závěsu na drátu volně kývat. Potom vložíme zátku do hrdla láhve (Obr.1029). Třením opět vyvo-



Obr.1028 Elektroskop Obr.1029 Plátky v klidu Obr.1030 Plátky nabity Obr.1031 Elektroskop

láme v šálce elektrostatický náboj. Zjistíme, že potom co přiložíme šálku k oku drátu se oddálí hliníkové plátky od sebe (Obr.1029,1030). Jejich vzdálenost bude úměrná velikosti elektrostatického náboje v šálce.

**HT** Princip elektroskopu se zlatými plátkami vidíme zakreslen na Obr.1036. Katalog školních pomůcek vydaný roku 1912 v USA obsahoval hned tři provedení elektroskopu, jeden z nich byl opatřen Faradayovou klecí (Obr.1032-1034, Lit.38). Kniha z roku 1860 dávala čtenářům návod jak si mohou účastníci pokusu předávat elektrostatický náboj šátkem mezi sebou (Obr.1035, Lit.14).



Obr.1032,1033,1034 Elektroskopy Obr.1035 Předávání elektrického náboje Obr.1036 Princip

Alessandro Volta zkonstruoval elektroskop ve kterém použil k indikaci náboje dva kousky slámy ze stonku obilí. Voltův přístroj na snímku pochází z pozdější doby – asi z roku 1870 (Obr.1037). Zcela nový elektroskop vidíme na fotografii hned vedle vpravo (Obr.1038)



Obr.1037,1038 Elektroskop r.1870 a r. 2025 Obr.1039,1040 Indukční elektrika r.1915 a r.2025

Ve školních kabinetech bylo možno často najít indukční elektriku, která sloužila k nabíjení Leydenových lahví nebo jiného kondenzátoru elektrostatickým nábojem. Provedení z roku 1915 a zcela nový současný přístroj z roku 2025 jsou si kupodivu hodně podobné (Obr.1039,1040)

### 69. Nafouklá gumová rukavice a niť poznají elektrický náboj

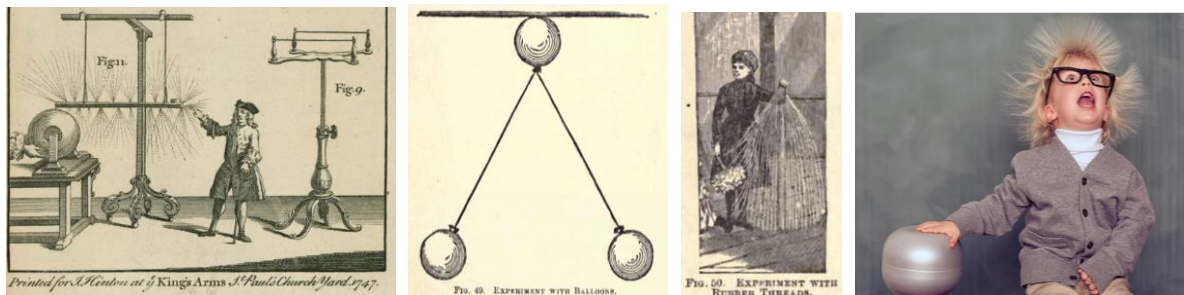
\*\*\*\*\*



Obr.1041 Nafouklé rukavice Obr.1042 Nafouklé rukavice Obr.1043 Visící nafouklé rukavice

K jednoduchému pokusu potřebujeme jen pár gumových rukavic, nit a stojánek. Rukavice nafoukneme a pověsíme je na elektricky nevodivé závěsy. Potom je pomocí tření šálky a vlněné rukavice nabijeme stejným elektrostatickým nábojem. Rukavice se budou odpuzovat, stejně tak jako lístky v elektroskopu. Nitě na tom budou stejně.

**HT** Pokusy s elektrostatickým nábojem byly velmi oblíbené již v 18.století. Francouzský duchovní abbé Nollet je zachycen na rytině vydané roku 1747 při pokusu s hedvábnými vlákny. V knize o



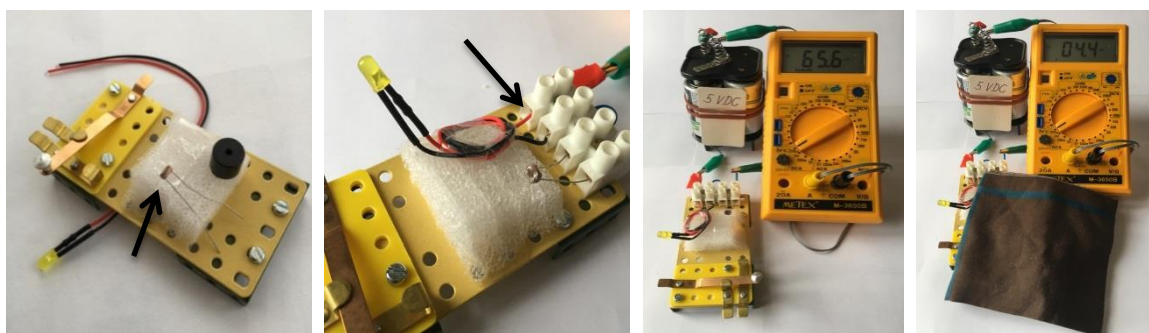
Obr.1044 Abbé Nollet při pokusu Obr.1045,1046 Balonky a vlákna Obr.1047 Elektřina ve vlasech

elektrických hračkách, která byla vydána v USA roku 1899, nalezneme náš pokus s gumovými balonky (Obr.1045, Lit.37). Pokus s elektrizovanými gumovými vlákny byl zveřejněn v téže knize (Obr.1046). Suché vlasy je možno pomocí elektrostatického náboje dostat do humorných poloh na různých výstavách a v muzeích dodnes (Obr.1047).

#### 70. Světlo rozsvítí diodu (LED)

\*\*\*\*\*

K pokusu budeme potřebovat diodu LED s ochranným odporem, díly stovebnice, zdroj 5VDC, fotorezistor (elektrická součástka, která mění svůj odpor s intenzitou osvětlení, Obr.1048 šipka),

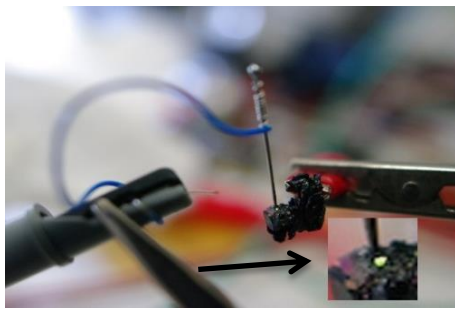


Obr.1048 Příprava pokusu Obr.1049 Upevnění dílů Obr.1050 Denní světlo Obr.1051 Tma

propojovací vodiče, lepicí pásku, kapesník a měřicí přístroj zapojený jako stejnosměrný mikroampérmetr s rozsahem 0-200 uADC. Fotorezistor a diodu LED připevníme za pomoci lepicí pásky do svorkovnice, budou zapojeny do série. Červeně označený vodič LED bude zapojen na kladný pól zdroje (Obr.1049 šipka). Fotorezistor a mikroampérmetr budou zapojeny v sérii a na záporný pól zdroje. V tom okamžiku bude obvodem protékat proud 65,6 uADC, LED bude nepatrně svítit (Obr.1050). Pak zakryjeme fotorezistor kapesníkem. Proud klesne na 4,4 uADC, svit LED nebude vidět. Světlo dopadající na fotorezistor skutečně rozsvítilo diodu LED. Kdo a kdy na princip svítící diody vlastně přišel ?



Obr.1052 H.J.Round



Obr.1053 Pokus s karbidem křemíku SiC



Obr.1054 LED s odporem

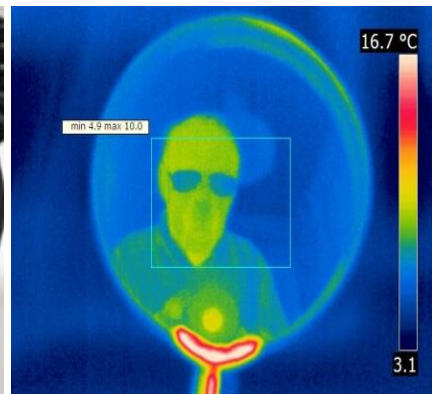
**HT** Henry Joseph Round (\*1881 +1966) byl americkým vynálezcem (Obr.1052). Jeho objevy vyústily v podání 110 patentů v oboru radiotechniky. Jev ze kterého se časem vyvinuly současné diody LED Round objevil roku 1907 při pokusech s krystaly karbidu křemíku (SiC). Round přikládal na krystal dvě elektrody s rozdílem elektrického potenciálu 10V, někdy pozoroval malé žluté světlo. Při rozdílu potenciálu 110V pozoroval jev často. Round zveřejnil svá pozorování v časopise „Electrical World“ č. 49 z roku 1907. Na obr.1053 vidíme současnou rekonstrukci jeho původního objevu. První seriově vyráběné diody LED byly elektrotechnikům k dispozici teprve počátkem šedesátých let 20.století. V současnosti můžeme nalézt diody LED více barev volně v obchodech pro kutily (Obr.1054).

#### E / Věnování a doslov

\*\*\*\*\*



Autor věnuje soubor pokusů svým dvěma vnoučatům v naději, že v nich budou jednou pokračovat.





Doslov: Místo mnoha slov jeden návrh:

Když ve Vám něco nedaří neztrácejte nervy a po čase zkuste problém vyřešit !

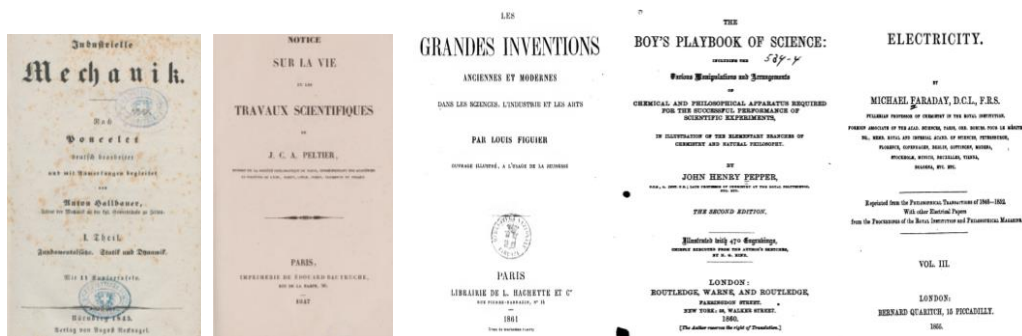
F/ Seznam literary

\*\*\*\*\*

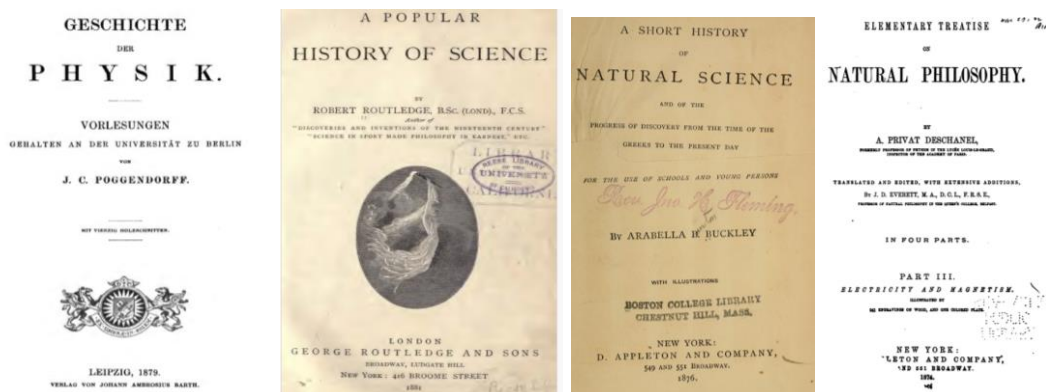
1. De magnete, Guilielmi Gilberti, London, England, 1600
2. Micrographia or some physiological descriptions of minute bodies, by Robert Hooke, FRS, printed for James Alleftry, Duck lane, London,England,1667
3. Lectures De Potentia Restitutiva or of Spring – explaining the Power of Springing Bodies, by Robert Hooke, SFS, printed for John Martyr, in the St.Paul’s church yard, London, England, 1672
4. Philosophical Experiments and Observations of the late eminent Dr.Robert Hooke, SFS, published by W.Derham, FRS, printed by W. and J.Innys, London,England, 1726
5. Micrographia restaurata of the copper-plates of Dr. Robert Hooke, printed and sold by John Bowles at the Black Horse in Cornhill, London, England, 1745
6. The Quarterly Journal of Science, Literature and the Arts. The Royal Institution of Great Britain, John Murray, Albemarle Street, London, UK, 1822
7. Kupfertafeln zum Handbuche der Mechanik, von Franz Josef Ritter von Gerstner, Prag 1831
8. Contributions to electricity nad magnetism by Joseph Henry, printed by James Kay jun & brother,122 Chesnut Street, Philadelphia, USA,1839
9. Mécanique industrielle par J.V.Pocelet, colonel du génie, Meline, Cans et Cie, Bruxelles, Belgie, 1839



10. Dreizehn Steindrucktafeln zu C.F.Peschel's Lehrbuch der Physik, Arnoldsche Buchhandlung Dresden und Leipzig, Nēmecko, 1844
11. Industrielle Mechanik nach Poncelet, von Anton Hallbauer, mit 11 Kupferstichen, Verlag August Recknagel, Nürnberg, Nēmecko, 1845
12. Notice sur la vie et les travaux scientifiques de J.C.A.Peltier, Imprimerie de Édouard Bautreche, rue de la Harpe, Paris, France, 1847
13. Experimental Researches in Electricity, by Michael Faraday, reprinted from Philosophical Transactions 1846-1852, Vol.III. Bernard Quaritch, 15 Piccadilly, London, UK, 1855
14. The boy's playbook of science, by John Henry Pepper, Routledge, Warner & Routledge, Parrington Street, New York, USA, 1860
15. A course of six lectures on the various forces of matter, by Michael Faraday, DCL,FRS, Harper &brothers, publishers, Franklin Square, New York, USA, 1860
16. Elementary treatise on natural philosophy, by Augustin Privat-Dechanel, part III.electricity and magnetism, Cleton and Company, 551 Broadway, New York,USA,1874
17. Introduction to Experimental Physics – theoretical and practical, by Adolf Weinhold, Professor in the royal technical school at Chemnitz, Longmans, Green & Co, London, UK, 1875



18. A short history of natural science by Arabella H. Buckley, D.Appelton and Company, New York, USA, 1876
19. Geschichte der Physik, Vorlesungen gehalten an der Universität zu Berlin von J.C.Poggendorf, Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig, Nēmecko, 1879



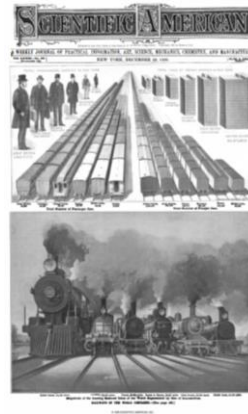
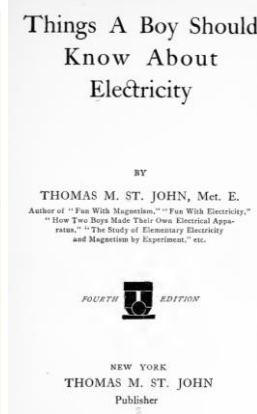
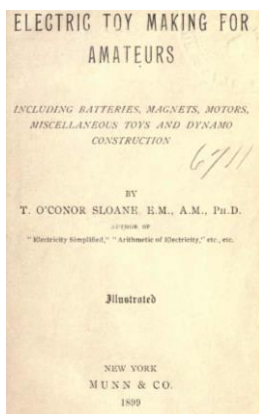
20. Hydromechanik oder die technische Mechanik flüssiger Körper, von Dr.Moritz Rühlmann, Hahnsche Buchhandlung, Braunschweig, Nēmecko, 1880
21. A popular history of science by Robert Routledge, George Routledge and sons, 426 Broome street, New York, USA, 1881

- 22. Die Geschichte der Physik in Grundzügen mit synchronischen Tabellen, erster Teil, von Dr. Ferdinand Rosenberger, Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, Nėmecko, 1882
- 23. Wissenschaftliche Abhandlungen von Hermann Helmholtz, Erster Band, Verlag Johann Ambrosius Barth, Berlin, Nėmecko, 1882

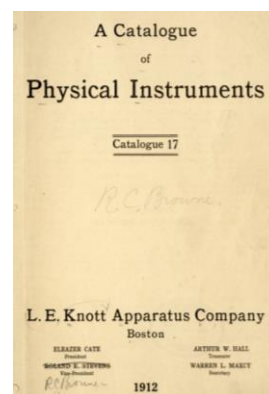


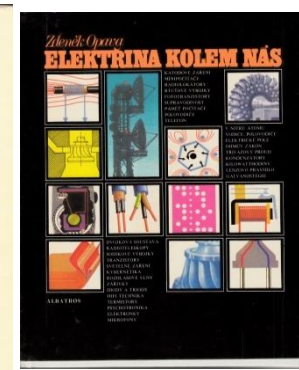
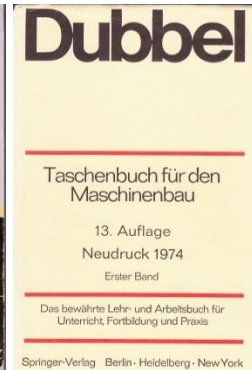
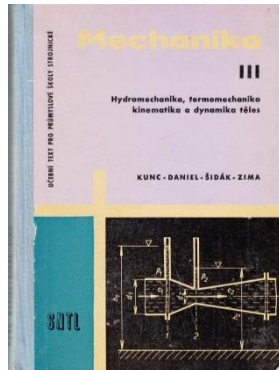
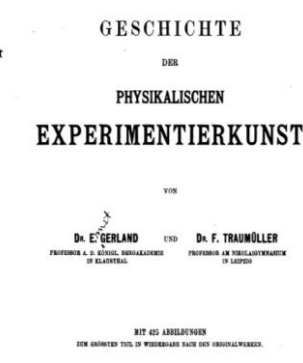
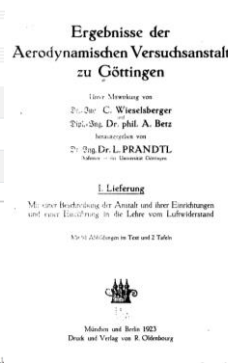
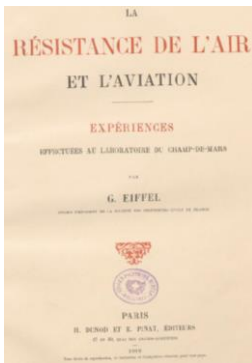
- 24. Scientific Papers of J.P.Joule, Physical Society of London, UK, 1884
- 25. Illustrierte Geschichte der Elektrizität von den ältesten Zeiten bis auf unsere Tage, von Dr.Eugen Netoliczka, Verlag von A.Pichler Witwe und Sohn, Wien, Rakousko, 1886
- 26. Technische Mechanik fester, flüssiger und luftförmiger Körper (Mechanik der Wärme), bearbeitet von Georg Christoph Mertens, mit 600 Illustrationen im Text, Kommissions-Verlag von Ernst Tesche, Berlin, Nėmecko, 1887
- 27. The Orbis Pictus of John Amos Comenius, C.W.Bardeen, Publisher, Syracuse New York, USA, 1887
- 28. Der Vogelflug als Grundlage der Fliegerkunst, ein Beitrag von Otto Lilienthal, Ingenieur und Maschinenfabrikant in Berlin, Verlag R.Gaertners Verlagsbuchhandlung, Berlin, Schoeneberger Str.26, Nėmecko, 1889
- 29. Things a boy should know about electricity, by Thomas M.St.John, Publisher, New York, USA, 1900



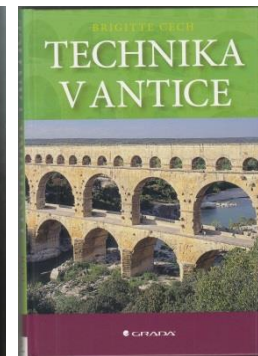
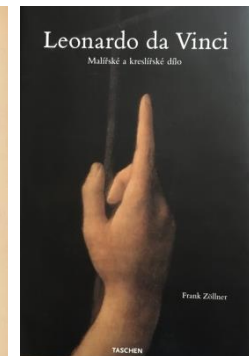
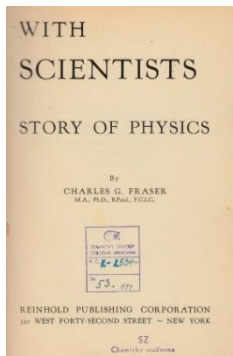


30. Geschichte der Physik von Dr.E.Gerland, Verlagsbuchhandlung von J.J.Weber, Leipzig, Nĕmecko, 1892
31. Gesammelte Abhandlungen von G.S.Ohm, herausgegeben und eingeleitet von Dr.E.Lommel,Verlag Johann Ambrosius Barth, Leipzig, Nĕmecko, 1892
32. Physikalische Appate, Instrumente und Gerätschaften (ca 700 Abbildungen enthalten), von G.Gerhardt, Bonn am Rhein, Nĕmecko, 1893
33. Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft von Heinrich Hertz, mit 40 Figuren im Text, Verlag Johann Ambrosius Barth, Leipzig, Nĕmecko, 1894
34. Grundriss der Elektrotechnik , verfasst von Heinrich Kratzert, mit 278 Abbildungen, Verlag Franz Deuticke, Leipzig und Wien, Rakousko, 1894
35. Geschichte der physikalischen Experimentierkunst von Dr.E.Gerland und Dr.F.Traumüller, mit 425 Abbildungen, Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig, Nĕmecko, 1899
36. Scientific American, weekly journal of practical information, volume LXXXI.No.26, Munn &Co New York, USA.1899
37. Electric toy making for amateurs, by T.O´Connor Sloane, Munn & Co, New York, USA,1899
38. A catalogue of physical instruments, Catalogue 17, L.E.Knott Apparatus company, Boston,USA,1912
39. Schulwart, Verlag F.Vockmar, Leipzig und Berlin, Nĕmecko, 1914
40. Entwicklung und Konstruktion der Unterseeboots-Seehohre, von Dr.F.Weidert, Polytechnisches Journal, Jahrgang 1914, Band 329, S.417, Augsburg, Nĕmecko, 1914





41. Aerodynamik von Prof. Dr. Richard Fuchs und Prof. Dr. Ludwig Hopf, mit 285 Abbildungen im Text, Verlag Carl Schmidt & Co, Berlin, Německo 1922
42. Ergebnisse der aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen, herausgegeben von Ing.-Dr. Ludwig Prandtl, Druck und Verlag R. Oldenbourg, München und Berlin, Německo, 1923



43. Story of physics by Charles G. Fraser, Reinhold publishing company, 350 West forty-second Street, New York, USA, 1948
44. Mechanika III. A.Kunc, A.Daniel, J.Šidák, J.Zima, učebnice pro SPŠ strojní, nakladatelství SNTL v Praze, 1961
45. Fluid-dynamic drag, practical information, by Dr.-Ing. Sighard Hoerner, POBox Bakersfield, CA 93390, USA, 1965
46. Synopsis of lift, drag and vortex frequency data for rigid circular cylinders, by John H. Lienhard, Bulletin Nr.300, Washington State University, USA, 1966

47. Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, F.Sass, CH.Bouché , A.Leiner , 13. Auflage, Springer Verlag Berlin, Heidelberg New York, 1974
48. Elektřina kolem nás, Zdeněk Opava, Albatros – nakladatelství pro děti a mládež v Praze, 1985
49. Who invented Young's Modulus ? Alasdair N. Beal, Research gate, časopis The structural Engineer Vol.78, No. 14, 18 July 2000
50. Journal of Physics, Conference Series, Galileo's microscopic and telescopic observations and their impact on how bodies are conceived, by Filip Buyse, Cenf.Ser. 2877012119, St.Cross College, University of Oxford, UK, 2004
51. Leonardo da Vinci, malířské a kreslířské dílo, Frank Zöllner, Nakladatelství/ Verlag Taschen GmbH, Hohenzollernring 53,D-50672 Köln, Německo, 2005
52. Inside the Camera obscura, Preprint Nr.333, Max Planck Institut für Wissenschaftsgeschichte, Německo, 2007
53. Infrared Thermal Imaging, Fundamentals,Research and Applications,ISBN978-3-527-40717-0, M.Vollmer,K.-P.Möllmann, Verlag Willey-VCH GmbH, Boschstr.12, D-69469 Weinheim, Německo, 2010
54. Technika v antice, Brigitte Cech, ISBN 978-80-247-3786-7, Grada Publishing a.s., U Průhonu 12, Praha 7, 2013
55. Modelling and Simulation of a Simple Homopolar Motor of Faraday's type, by H.Brauer, M.Ziolkowski, K.Porzig, H.Toepfer, Facta Universitatis, Niš, Electro Eng Vol 24, No.2 August 2011
56. The birth of the electric machines: a commentary on Faraday (1832) Experimental researches in electricity, by Jim Al-Khalili, Univesity of Surrey, Guildford, Philosophical transactions of Royal Society. UK, 2015
57. Snímky a texty z webové stránky muzea Wright Brothers Aeroplane Company : <https://www.wright-brothers.org>, 2025
58. Snímky a texty z webové stránky <https://www.tou Eiffel.paris> 2025
59. Snímky a texty z webové stránky <https://www.experimentis-shop.de> 2025
60. Strömungsmessverfahren, Script, Ing.-Dr.Michael Klaas, Lehrstuhl für Strömungslehre und Aerodynamisches Institut, RWTH Aachen, Německo, 2025
61. Snímky a text ze stránky <https://atlantic-cable.com/Cables/1924NewYorkAzores> 2025
62. Snímky a text ze stránky: <https://www.camera-obscura-muehlheim.de> 2025
63. La résistance de l'air et l'aviation Expériences effectueés au laboratoire du Camp-de-Mars, par G.Eiffel, H Dunod et E.Pinat,Éditeurs, 47 , Quai des Grand-Augustins, Paris, France, 1910
64. Geschichte der physikalische Experimentierkunst, von Dr.E.Gerland und Dr.F.Traumüller, mit 425 Abbildungen,Verlag Wilhelm Engelmann, Leipzig. Německo, 1899
65. Les grandes inventions anciennes et modernes, par Louis Figuier, Libraire de L.Hachette, Rue Pierre Sarrazin 14, Paris, France, 1861
66. Ueber einen neuen Apparat zur Demonstration der Foucault'schen Ströme, von Dr.A.v. Waltenhofen, Polytechnisches Journal Band 249, Jahrgang 1883, Augsburg, Německo,1883