

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Pedagogická fakulta

katedra fyziky

Měření fyzikálních konstant

bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. František Špulák

Autor: Miroslav Chval

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá tématem: „Měření fyzikálních konstant“. Stručně shrnuje co je konstanta a její vývoj v čase. Podrobněji se zabývá jednotlivými konstantami a vědci, kteří se na rozvoji konstant a měření podíleli. Cílem práce je aspoň trochu přiblížit význam a úlohu konstanty ve fyzice.

Abstract:

This bachelor's work is engaged in „Metering of physical constants“. It tries to say in short way what is a constant and to depict its progress in time. More attention is devoted to each constant and to scientists who participated in metering and developing of constants. Aim of this bachelor's work is effort to describe importance and effect of constant in physics.

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

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce pedagogickou fakultou, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

Datum: 30. 11. 2008

Podpis: _____

Chval Miroslav

Poděkování:

Tímto bych chtěl hlavně poděkovat RNDr. Františku Špulákovi za velmi cenné rady a připomínky při vypracování mé bakalářské práce. Dále děkuji všem, kteří svými radami, věcnými i kritickými upozorněními přispěli ke vzniku mé bakalářské práce.

Obsah

ÚVOD	8
1 Malá vyprávění o velkých vědcích	11
1.1 Aristotelés.....	11
1.2 Archimédés	12
1.3 Galileo Galilei	12
1.4 Isaac Newton.....	13
1.5 Leonhard Paul Euler.....	13
1.6 William Rowan Hamilton	14
1.7 Pierre Simon de Laplace.....	14
1.8 Joseph-Louis Lagrange.....	15
1.9 Charles-Augustin de Coulomb.....	15
1.10 Alesandro Volta.....	16
1.11 André Marie Ampère	17
1.12 Michael Faraday	18
1.13 James Clerk Mawwell.....	19
1.14 Heinrich Rudolf Hertz.....	20
1.15 Wilhelm Conrad Röntgen.....	20
1.16 Antoine Henri Becquerel.....	21
1.17 Joseph John Thomson.....	22
1.18 Piere a Marie Curie-Sklodovská.....	22
1.19 Albert Einstein.....	23
1.20 Niels Henrick David Bohr.....	24
1.21 Werner Heisenberg.....	25
1.22 Erwin Schrödinger.....	26
1.23 Paul Dirac.....	26
1.24 John von Neumann.....	27
1.25 Richard Phillips Feynman.....	28
1.26 Julian Seymour Schwinger.....	29
2 Přehled fyzikálních konstant.....	29
3 Rychlost světla.....	31
3.1 Historie.....	31

3.2	Měření rychlosti světla ve středověku.....	31
3.3	Měření rychlosti v současnosti.....	32
3.4	Závislost rychlosti světla na prostředí.....	34
4	Boltzmannova konstanta.....	36
4.1	Ludwig Boltzmann.....	36
5	Avogadrova konstanta.....	37
5.1	Amedeo Avogadro.....	38
5.2	Loschmidtova konstanta.....	38
5.3	Johann Josef Loschmidt.....	38
6	Planckova konstanta.....	39
6.1	Historie.....	39
6.2	Měření.....	39
6.3	Výkonové váhy.....	40
6.4	Redefinice kilogramu.....	40
6.5	Hallův jev.....	41
6.6	Max Karl Ernst Ludwig Planck.....	41
7	Poissonova konstanta.....	42
7.1	Měření Poissonovy konstanty Clement - Desormesovou metodou.....	42
7.2	Siméon Denis Poisson.....	45
8	Gravitační konstanta.....	45
8.1	Měření univerzální gravitační konstanty.....	45
8.2	Cavendishova měření pomocí torzního kyvadla.....	46
8.3	Další metody měření.....	48
8.3.1	Odklon od svislice.....	48
8.3.2	Jollyho váhy.....	48
8.4	Současnost.....	49
8.5	Henry Cavendish.....	50
8.6	George Bidel Airy.....	51
8.7	Charles Hutton.....	51
8.8	Nevil Maskelyne.....	51
8.9	Philipp Johann Gustav von Jolly.....	52
9	Tíhové zrychlení.....	52

9.1 Etalon tíhového zrychlení.....	53
9.2 Měření tíhového zrychlení matematickým kyvadlem.....	55
9.3 Měření tíhového zrychlení reverzním kyvadlem.....	57
10 Závěr.....	59
11 Seznam obrázků.....	59
12 Seznam tabulek.....	60
13 Seznam použité literatury.....	60
14 Seznam použitých internetových stránek.....	60

Úvod

Rozdělení fyziky

Fyziku lze velmi obecně rozdělit podle metod na teoretickou fyziku, experimentální fyziku, numerické simulace a aplikovanou fyziku. Teoretická fyzika se snaží vyvodit z matematických objevů a experimentálních výsledků obecnější platnost zákonů a určit teoretické hranice jejich platnosti. Cílem experimentální fyziky je potvrzení nebo vyvrácení existující teorie. Často přitom dochází k jiným novým objevům. Numerické simulace umožňují udělat si představu o důsledcích přírodních zákonů za daných podmínek a dávají předpovědi ověřitelné pozorováním. Aplikovaná fyzika vychází z potřeb praxe. Její rozvoj je motivován potřebami z výroby, lidské spotřeby a z potřeby ochrany životního prostředí. Hranice mezi tímto dělením nejsou striktní. Příkladem metody a přechodu mezi experimentální a teoretickou fyzikou, při níž se využívají poznatky z vědy o informatice je modelování fyzikálních stavů a dějů s pomocí informačních technologií.

Historie Fyziky

Počátky fyziky lze hledat ve starověku. Fyzika převážně patřila do filosofie, rozvíjela se kosmologie. Převažující metodou poznání byla úvaha a pozorování. Aristotelova fyzika tak odpovídá přirozené, vypožorované zkušenosti – vržený předmět se zastaví, těžké předměty padají dolů, lehké míří nahoru. (Přestože v porovnání se současnou mechanikou se taková teorie zdá úplně špatná, v určitém smyslu pořád platí - je limitou mechaniky ve viskózním prostředí). Výjimkou značně předbíhající dobu byl Archimédés, který prováděl experimenty a odvodil některé přesné kvantitativní zákony.

Arisotelovo učení se stalo vrcholem poznání na tisíc let. Pokroků v chemii a astronomii dosáhli arabští učenci, ale ve fyzice vývoj nastal teprve v renesanci. V Itálii Galileo Galilei začal systematicky provádět experimenty, což se stalo základem rozvoje fyziky a vědecké metody vůbec. Galilei také odvodil některé výsledky v mechanice, mimo jiné princip relativity. V astronomii Mikuláš Koperník navrhl heliocentrický systém a Johannes Kepler odvodil zákony pohybu nebeských těles. René Descartes a další položili základy pozdější matematizace fyziky (kartézské souřadnice).

Ke konci 17. stol Isaac Newton vydává asi nejvýznamnější dílo v dějinách fyziky vůbec *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Matematické základy filosofie přírody). Vyslovuje zákony pohybu, které jsou základem mechaniky až do 20. století. V jednotném rámci s mechanikou formuluje univerzální zákon gravitace a odvozuje z něj Keplerovy zákony. Newton vymyslel i potřebný matematický aparát, integrál a derivace.

Klasickou mechaniku rozvíjejí Lagrange, Hamilton, Euler, Laplace a další. Úspěšně popisují mechaniku tekutin.

Coulomb, Volta a Ampère studují elektrické jevy. Oersted objevuje magnetické účinky elektrického proudu. Michael Faraday objevuje indukci. V druhé polovině 19. století James Clerk Maxwell přichází s teorií elektromagnetického pole, která spojuje a vysvětluje veškeré elektrické a magnetické jevy. Jako důsledek teorie předpovídá elektromagnetické vlny, a přivádí tak na stejný základ i optiku. Předpověď experimentálně ověřil Hertz.

Roku 1895 Röntgen objevuje „paprsky X“ (rentgenovské záření), o rok později Becquerel objevuje radioaktivitu, o další rok později Thomson elektron. Jáchymovské radium studují Piere a Marie Curie-Sklodovská. Vzniká tak jaderná fyzika.

V zázračném roce 1905 Albert Einstein zveřejňuje speciální teorii relativity, popisující chování časoprostoru při rychlostech větších než malých (časoprostorovou interpretaci STR popsali Minkowski). Kvantově vysvětluje fotoefekt - Einstein byl první, kdo vzal kvanta vážně. Další přelomovou prací Einsteina bylo vysvětlení Brownova pohybu pomocí statistické fyziky. Poslední Einsteinův článek zázračného roku se věnoval ekvivalenci hmotnosti a energie, z čehož vznikl známý vztah $E=mc^2$. O desetiletí později pak Einstein představuje obecnou teorii relativity, geometrickou relativistickou čtyřrozměrnou teorii gravitace.

Koncem 19. století se objevily problémy které se nedaly vysvětlit tehdy známou (klasickou) mechanikou. Mezi ně patřilo spektrum záření absolutně černého tělesa, fotoefekt a vztahy mezi polohami spektrálních čar prvků. Počátkem 20. století spektrum černého tělesa bylo odvozeno Planckem a chování fotoefektu vysvětleno Einsteinem pomocí kvantové hypotézy. Bohr a další vysvětlili diskretní spektra prvků tím, že užili tuto hypotézu ke zlepšení modelu atomu. Ucelené teorie kvantové mechaniky ve dvacátých letech formulovali Heisenberg („maticová mechanika“) a Schrödinger

(„vlnová mechanika“), který dokázal ekvivalenci obou přístupů. Teorii značně zdokonalili Paul Dirac a John von Neumann.

Souběžně s kvantovou mechanikou se fyzici snažili popsat kvantově i pole. V jazyce kvantové teorie pole se pak na přelomu 20. století podařilo popsat elektromagnetismus, o což se zvláště zasloužili Richard Feynman a Julian Schwinger. V druhé polovině 20. století pak byla v rámci jedné teorie popsána i slabá a silná interakce, a zároveň předpovězena či vysvětlena existence mnoha elementárních částic. Současnou všeobecně uznávanou teorií elementárních částic a interakcí je standardní model.

Rozvíjela se také kosmologie - všechny současné teorie vycházejí z hypotézy velkého třesku, a obvykle i z inflace.

Poněkud stranou zájmu široké veřejnosti se vývoj odehrával také ve fyzice pevných látek a statistické fyzice. Obě oblasti se zabývají kvantovým popisem systémů mnoha částic, a tedy i projevy kvantového chování na makroskopické úrovni. Tento směr fyzikálního výzkumu měl a dosud má ohromný vliv na techniku. Kromě toho ve fyzice pevných látek vznikla i řada teoretických konceptů, které našly uplatnění např. při sjednocování interakcí.

Na pomezí fyziky, matematiky a počítačové vědy od 70. let 20. století vznikl nový směr poznání, nazývaný teorie chaosu. Předmětem zkoumání jsou fraktály a nelineární systémy.[5]

Co je konstanta?

V matematice, fyzice a dalších přírodních vědách se pojmem konstanta označuje nějaké pevně dané číslo, s přesností na desetinná místa dle vývoje od historie k současnosti.

1 Malá vyprávění o velkých vědcích

Jejich jména se stala názvy jednotek či fyzikálních konstant v oborech, v nichž se nejvíce proslavili.[2]

1.1 Aristotelés (obr. 1.1)

Aristotelés ze Stageiry byl filosof vrcholného období řecké filosofie, nejvýznamnější žák Platonův a vychovatel Alexandra Makedonského. Jeho rozsáhlé encyklopedické dílo položilo základy mnoha věd. Narodil se 384 př. n. l. v osadě Stageira na poloostrově Chalkidické v dnešní řecké Makedonii, asi 80 km východně od Soluně - Thessaloniki (proto se někdy nazývá Stagirita), zemřel v roce 322 př. n. l. v Chalkidě, asi 60 km SV od Athén.



obr. 1.1

Aristotelův otec Nikomachos byl osobním lékařem makedonského krále Filipa II. V letech 367 až 347 Aristotelés studoval a pak i vyučoval v Platónově Akademii v Athénách. Po Platónově smrti odešel vyučovat do Assu v Malé Asii a na Lesbos do Mytilény. Roku 343 př. n. l. jej povolal makedonský král Filip jako vychovatele svého syna Alexandra (budoucí Alexandr Veliký).

Po Filipově smrti se Aristotelés vrátil zpět do Athén, kde se plně věnoval vědě a kde roku 335 př. n. l. založil vlastní filosofickou školu zvanou Lykeion, nebo také peripatetická škola (z názvu krytého sloupořadí peripatos (περίπατος), kde se žáci učili, nebo od slovesa peripatein (procházet se), neboť Aristotelés se prý se svými žáky při výuce procházel). Během 13 let, které strávil v Athénách, vznikla většina jeho spisů, někdy spíše poznámek nebo záznamů z přednášek.

Roku 322 př. n. l., po smrti Alexandra Velikého, byl Aristotelés v rámci reakce proti Alexandrovi obviněn z rouhání bohům a odsouzen, takže odešel do vyhnanství do Chalkidy, odkud pocházela jeho matka a kde v následujícím roce zemřel. Zachovala se jeho závěť s přáním, aby byl pochován vedle své ženy.[5] [4]

1.2 Archimédés (obr. 1.2)

Archimédés, řecky Αρχιμήδης, latinsky Archimedes, (287 př. n. l. Syrakúsy – 212 př. n. l. Syrakúsy), byl největší starořecký matematik a fyzik.

Syrakúsy byly v době Archimédova narození řeckou kolonií na Sicílii. Jeho otec Phidias byl astronom. Archimédés získal své vzdělání v Alexandrii v Egyptě, která patřila mezi největší města své doby. Většinu svého života ale prožil na Sicílii a zasvětil svůj život experimentování a výzkumu.



obr.1.2

Archimédés byl zabit římským vojákem poté, co se na něj obořil známým výrokem: „Neruš mé kruhy!“, které měl nakreslené v písku.

Mnohé z jeho velkých objevů přežily až dodnes.[5]

1.3 Galileo Galilei (obr. 1.3)

Galileo Galilei (15. února 1564, Pisa – 8. ledna 1642, Arcetri) byl toskánský astronom, filosof a fyzik těsně spjatý s vědeckou revolucí. Mezi jeho úspěchy řadíme vylepšení dalekohledu, rozmanitá astronomická pozorování, první z Newtonových zákonů pohybu a účinnou podporu Koperníka. Často je uváděn jako „otec moderní astronomie“, „otec moderní fyziky“ a dokonce „otec vědy“. Jeho experimentální činnost je obecně považována za důležitý doplněk spisů Francise Bacona, jimiž byla

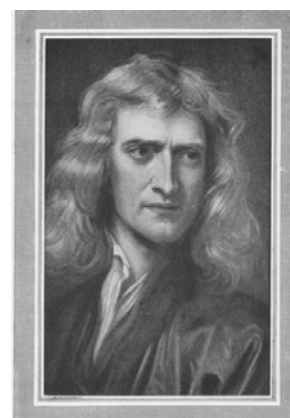


obr.1.3

založena moderní vědecká metoda. Galileova kariéra se kryla s tvůrčím obdobím Johanneše Keplera. Galileovo dílo je považováno za nejvýznamnější průlom od dob Aristotelových. Navíc jeho konflikt s římskokatolickou církví je brán jako nejvýznamnější příklad počátečního konfliktu náboženství a svobodné mysli, zvláště vědou v západní společnosti.[5]

1.4 Isaac Newton (obr. 1.4)

Sir Isaac Newton ; 25. prosince 1642 – 20. března 1727 podle tehdy užívaného juliánského kalendáře; 4. ledna 1643 – 31. března 1727 podle gregoriánského kalendáře) byl anglický fyzik, matematik, astronom, astrolog, filosof, teolog a alchymista. Je považován za jednoho z nejvýznamnějších vědců všech dob či dokonce za jakéhosi zakladatele moderní fyziky a vědy obecně. Newton ve svém základním díle *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Matematické principy přírodovědy) popsal zákon všeobecné gravitace a svými pohybovými zákony položil základy klasické mechaniky. V rámci svého výzkumu také vytvořil (spolu s Gottfriedem Leibnizem; o prvenství vedli nesmiřitelný spor) základy diferenciálního a integrálního počtu.



obr.1.4

Objevy

Nejdůležitějším objevem je vynález diferenciálního a integrálního počtu. Dále je to důkaz složeného charakteru bílého světla (rozklad na hranolu), sestavení prvního reflektivního teleskopu. Newtonovým nejznámějším objevem byly jeho tři pohybové zákony. Tyto zákony jsou :

1. Zákon síly
2. Zákon setrvačnosti
3. Zákon akce a reakce

Od Newtona se fyzika odvíjí jako novodobá věda a v jeho době měli lidé pocit, že příroda vydala všechna tajemství a již nebude co objevovat[5]

1.5 Leonhard Paul Euler (obr. 1.5)

Leonhard Paul Euler (15. dubna 1707 Basilej, Švýcarsko – 18. září 1783 Petrohrad, Rusko) byl průkopnický švýcarský matematik a fyzik.

Euler je považován za nejlepšího matematika 18. století a za jednoho v nejlepších matematiků vůbec.



obr.1.5

Euler provedl mnoho objevů na poli diferenciálního počtu a teorie grafů. Zavedl také spoustu nových moderních matematických pojmů a symbolů, obzvlášť v matematické analýze. Je také proslulý svými pracemi v mechanice, optice a astronomii.

Eulerův portrét se objevil na desetifranku šesté série švýcarské bankovky a na švýcarských, ruských a německých poštovních známkách. Na jeho počest byl po něm pojmenován asteroid 2002 Euler. 24. května je připomínán luterány v jejich kalendáři svatých.[5]

1.6 William Rowan Hamilton (obr. 1.6)

Sir William Rowan Hamilton (4. srpna 1805, Dublin – 2. září 1865, u Dunsinku)

Irský matematik, který pod vedením svého strýce co by lingvisty, se naučil mluvit 14-ti jazyky. V sedmnácti letech odhalil chybu v Laplaceově díle *Celestial Mechanics*. Předpověděl kónickou refrakci ve dvouosých krystalech, která byla zanedlouho experimentálně potvrzena Lloydem. Hamilton také rozšířil princip minima energie popsany Maupertiem na Hamiltonův princip, základní variační princip v teoretické mechanice, který vede na Lagrangeovy rovnice. V diferenciálním počtu je po něm pojmenován Hamiltonův operátor. Poslední třetinu svého života strávil pod vlivem alkoholu a již nijak nepřispěl k lidskému poznání.[5]

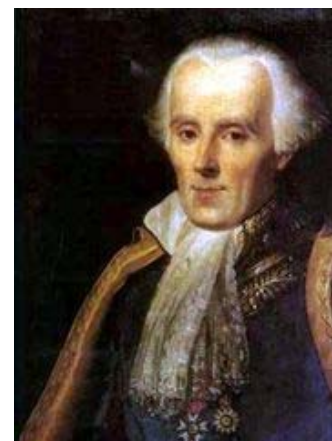


obr.1.6

1.7 Pierre Simon de Laplace (obr. 1.7)

Pierre Simon de Laplace [laplas], (28. března 1749 - 5. března 1827) byl francouzský matematik, fyzik, astronom a politik; člen Francouzské akademie věd, královské společnosti v Londýně a Komise pro míry a váhy.

Laplace je právem považován za jednoho z největších vědců vůbec. Zanechal monumentální dílo již svým rozsahem. Zabýval se matematickou analýzou, teorií



obr.1.7

pravděpodobnosti, nebeskou mechanikou, teorií potenciálu, zavedl pojem Laplaceovy transformace, užil tzv. Laplaceův operátor (v parciální diferenciální rovnici pro potenciál silového pole). Je autorem teorie o vzniku sluneční soustavy z rotující mlhoviny (Kantova-Laplaceova teorie) a mnoha dalších teorií a metod s mnoha aplikacemi.[5]

1.8 Joseph-Louis Lagrange (obr. 1.8)

Joseph-Louis Lagrange, comte de l'Empire (25. ledna 1736 – 10. dubna 1813; narozen v Turíně, pokřtěn jako Giuseppe Lodovico Lagrangia) byl italsko-francouzský matematik a astronom, který významně rozvinul matematickou analýzu, teorii čísel, a klasickou a nebeskou mechaniku. Je zakladatelem oblasti matematiky nazývané variační počet. Byl jedním z největších matematiků 18. století, podobně jako Leonhard Euler.[5]



obr.1.8

1.9 Charles-Augustin de Coulomb (obr. 1.9)

(14. června 1736, Paříž – 23. srpna 1806, Paříž) byl zakladatelem elektrostatiky a kvantitativních metod v ní.

Je po něm pojmenována jednotka elektrického náboje Coulomb v soustavě SI.

Byl potomkem zámožné šlechtické rodiny. Studoval přírodní vědy v Paříži a v letech 1767 – 1776 pracoval v armádě jako vedoucí opevňovacích prací na ostrově Martinik. Po návratu do Paříže se věnoval výzkumům elektřiny a magnetismu. Jeho práce byla vysoce ceněna, stal se členem francouzské Akademie věd. Roku 1789, po vypuknutí francouzské revoluce, se vzdal všech úřadů i hodností (byl podplukovníkem) a stáhl se na svůj statek v Blois.



obr.1.9

Roku 1800 byl Napoleonem povolán na Pařížskou univerzitu. Na ní působil až do své

smrti.

Z Columbových objevů patří mezi nejvýznamnější popis elektrického pole a objev zákona, popisující sílu mezi náboji.

Zabýval se také výzkumem vlečného tření a formuloval zákony, kterými se řídí. Na konci života začal zkoumat vnitřní tření kapalin.[5]

1.10 Alessandro Volta (obr. 1.10)

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (19. února 1745 Como, Milánské vévodství – 5. března 1827 Como, Království lombardsko-benátské) byl fyzik proslulý svými objevy v oboru elektřiny. Vynalezl například třecí elektriku, elektrický článek nebo kondenzátor.

Narodil se jako sedmé a poslední dítě ve šlechtické rodině. Do sedmi let nemluvil, jeho okolí proto mělo obavy, že je slabomyslný. Přesto zvládl vystudovat jezuitskou kolej a své zpoždění dohnat. Poté ale místo dráhy duchovního přestoupil na královský seminář. V té době se začal zajímat o výzkum elektřiny. Roku 1769 publikoval knihu O přitažlivé síle elektrického ohně a jevech s tím souvisejících, v níž zveřejnil hypotézu o souvislosti elektřiny a magnetismu. Přišel na ni ale už o šest let dříve, v pouhých 18-ti letech. V dalších letech sestavil a zdokonalil mnoho přístrojů pro své pokusy. Mezi tím se stačil stát ředitelem lycea a v roce 1774 profesorem fyziky na gymnáziu v Comu.



obr. 1.10

V letech 1775–1780 zkoumal složení vzduchu a na základě pokusů formuluje hypotézu o jeho složení ze dvou různých plynů. V roce 1779 nastoupil na univerzitu v Pavii. Vrátil se tam opět k pokusům s elektřinou. Vynalezl kondenzátor a elektrometr, uvažoval o principech vzniku bouřek.

V roce 1791 se dozvěděl o pokusech Luigi Galvaniho se žabími stehýnkami, jejichž svaly stahují při dotyku kovovým skalpelem. Odhalil, že se nejedná o živočišnou elektřinu, ale o reakci kovů. V roce 1794 se oženil a měl tři syny. V roce 1799 sestrojil první elektrický článek – Voltův sloup. Sestavil také řadu kovů podle jejich elektrochemických potenciálů.

O svých výzkumech přednášel 20. března 1800 před Královskou společností v Londýně a 28. října 1801 v pařížském Institutu. Tam zaujal Napoleona Bonaparta, který jej podporoval, jmenoval hrabětem a roku 1809 italským senátorem. Ani poté, co byl Napoleon poražen, neupadl Volta v nemilost a až do roku 1819 byl ředitelem fakulty matematiky a fyziky univerzity v Pávii. Od roku 1823 byl po srdeční mrtvici prakticky hluchý a slepý.

Je po něm pojmenována jednotka elektrického napětí Volt.[5]

1.11 André Marie Ampère (obr. 1.11)

André Marie Ampère (22. ledna 1775 Poleymieux – 10. července 1836 Marseille) byl francouzský matematik a fyzik, který proslul zejména svými pracemi z oblasti magnetismu a elektrodynamiky.

Ampère se narodil v rodině obchodníka. Rodina žila v Lyonu, ale později se natrvalo přestěhovala do nedalekého Poleymieux. Ampère nikdy nenavštěvoval školu, ale bez vzdělání nezůstal. Vyučoval ho jeho otec, díky němuž se mu dostalo výtečné vzdělání, zejména v latině a matematice. Ve 13 letech poslal mladý Ampér do Académie de Lyon svou první vědeckou práci a ve čtrnácti přečetl dvacetisvazkovou Francouzskou encyklopedii. Do Ampérova života zasáhla významným způsobem Francouzská revoluce. Roku 1793 byl pod gilotinou sťat jeho otec. Na osmnáctiletého Ampéra to mělo zničující dopad. Celý rok zůstal uzavřen do sebe.



obr. 1.11

Ze svých depresí se dostal díky vědě. Začal úporně studovat matematiku a v roce 1797 ji vyučoval v Lyonu. V roce 1802 byl jmenován profesorem fyziky a chemie na Bourg École Centrale. Od roku 1809 do roku 1826 přednášel na École Polytechnique v Paříži. Zde se věnoval nejen matematice, ale i chemii a fyzice. Mezi tím byl v roce 1814 zvolen do Institut National des Sciences. V roce 1826 Ampère začal učit na Collège de France. V roce 1827 byl Ampère zvolen členem Královské společnosti.

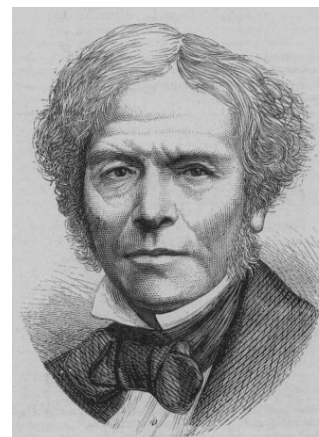
V osobním životě se Ampérovi vedlo hůř. V roce 1799 se oženil a v roce 1800 se narodil jeho syn Jean-Jacques. Manželka Julie ale v roce 1803 zemřela na tuberkulózu.

Druhé manželství, s Jenny, uzavřel v roce 1806. V roce 1807 se jim narodila dcera Albine. Manželství bylo ale v roce 1808 oficiálně odloučeno. Ampérův syn Jean-Jacques se zajímal o historii a filozofii a v roce 1830 získal místo na katedře historie a zahraniční literatury na Sorbonně. Jeho vztahy s otcem byly ale složité. Dcera Albine se v roce 1827 provdala za důstojníka Napoleonovy armády, ale ten byl alkoholikem a jejich manželství od provázely problémy. Závěr života prožil Ampér v existenčních potížích. Přesto si jako epitaf na svůj hrob nechal napsat "Tandem felix" - "Přece šťasten".[5]

1.12 Michael Faraday (obr. 1.12)

Michael Faraday (22. září 1791, Newington, Anglie – 25. srpna 1867) byl významný anglický chemik a fyzik.

V roce 1831 objevil elektromagnetickou indukci, magnetické a elektrické siločáry. Jeho objev byl významný v tom, že doposud se elektrická energie vyráběla pouze chemickou metodou z baterií. Faraday tak dal teoretický základ pro všechny elektromotory a dynamy. Další jeho objevy souvisí s chemií - obohatil odborné názvosloví o důležité pojmy, jako jsou anoda, katoda, elektroda a ion.



obr.1.12

Během svých pokusů v roce 1821 zjistil, že elektrický proud procházející vodičem může vyvolat magnetickou sílu. Celých deset let strávil snahou dokázat, že existuje i opačná možnost- aby působení magnetu vyvolalo elektrický proud. V roce 1831 se konečně objevil úspěch: Faraday objevil elektromagnetickou indukci a dokázal, že elektřina a magnetismus jsou pouze dva různé projevy jediného jevu - elektromagnetismu. To byl klíčový objev, který měl už brzy přinést dalekosáhlé důsledky. Ve 40. letech 19. století vytvořil elektromagnetických polí založenou na zcela novém pojmu elektrických a magnetických siločar. O dvacet let později myšlenku upřesnil jiný Angličan James Maxwell a vytvořil rovnice pro popis elektromagnetického pole.[5]

1.13 James Clerk Maxwell (obr. 1.13)

James Clerk Maxwell (* 13. června 1831 Middlebie u Edinburghu – † 5. listopadu 1879 Cambridge) byl všestranným fyzikem. Jeho nejvýznamnějším objevem je obecný matematický popis elektromagnetického pole dnes známý jako Maxwellovy rovnice.

Byl potomkem starého šlechtického rodu. Již ve čtrnácti letech publikoval svou první vědeckou práci. Jako šestnáctiletý začal studovat v roce 1847 univerzitu v Edinburghu. V roce 1850 přestoupil do Cambridge. V roce 1856 (25-letý) byl pozván jako profesor na univerzitu v Aberdeenu. V letech 1860–1865 byl profesorem na King's College v Londýně. Po té se uchýlil na své venkovské sídlo a věnoval se práci na matematickém zpracování Faradayových pozorování.



obr.1.13

Zjistil existenci elektromagnetických vln i že světlo je také elektromagnetické vlnění. Roku 1866 významně zdokonalil kinetickou teorii plynů vytvořenou Rudolfem Clausiem. Jako první vysvětlil, proč Měsíc nemůže mít vlastní atmosféru (střední rychlost molekul je vyšší než úniková (2.kosmická) rychlost na povrchu Měsíce, takže veškerá atmosféra by se rychle rozptýlila do vesmíru).

James Clerk Maxwell položil fyzikální základy teorie barevné fotografie v Londýně 17. května 1861. Promítl na plátno současně tři černobílé snímky barevné řádové stuhy přes červený, zelený a modrý filtr, které byly předtím exponovány přes filtry stejných barev. Prokázal tak princip aditivního míchání barev. Ve skutečnosti však byla použitá exponovaná fotocitlivá emulze necitlivá na červenou barvu. Místo červené byla na snímku přes červený filtr exponována okem neviditelná ultrafialová část spektra. Prakticky však byla tato technika kvůli své komplikovanosti nepoužitelná.

V roce 1871 se nechal přemluvit, aby se stal přednostou nově zřízené experimentální laboratoře v Cambridgi. Jednalo se o tzv. Cavendishovu laboratoř. Zde pracoval a učil až do své smrti (zemřel na rakovinu ve věku 48 let).[5]

1.14 Heinrich Rudolf Hertz (obr. 1.14)

Heinrich Rudolf Hertz (22. února 1857 Hamburk – 1. ledna 1894 Bonn) experimentálně ověřil Maxwellovy a Faradayovy teoretické předpoklady o šíření elektromagnetických vln, a tím odstartoval cestu k vývoji bezdrátového spojení. Je po něm pojmenována jednotka SI pro frekvenci – Hz.

Byl synem advokáta a senátora Gustava Ferdinanda Hertze. Mládí prožil v Hamburku. Po nástupu na místní techniku se rozhodl věnovat fyzice, a proto pokračoval ve studiích v Mnichově a Berlíně. V Berlíně byl žákem profesorů Kirchhoffa a Helmholtze. V roce 1880 získal doktorát a na tři roky se stal Helmholtzovým asistentem.



obr.1.14

Poté nastoupil jako docent fyziky v Kielu a v roce 1885 jako řádný profesor v Karlsruhe. V roce 1889 se stal v Bonnu nástupcem slavného R.Clausia. Tam také působil po zbytek svého života.

Jeho nejslavnějším pokusem byl praktický důkaz šíření bezdrátových vln z roku 1887. Přestože jejich šíření předpověděl Maxwell už v roce 1872, nebylo do té doby experimentálně prokázáno.

Hertzova aparatura se skládala z obřího induktoru s jiskřištěm v jednom rohu místnosti a oscilátoru (dvou kovových koulí vzájemně vzdálených jen pětinu milimetru s připojeným kusem drátu coby anténou) ve druhém rohu. Po spuštění induktoru se objevily jiskry i na druhé aparatuře. Tím byl poprvé dokázán přenos elektrických vln bez použití vodičů. Hertz dále dokázal i možnost nové vlny odrážet a lámat, a tím prokázal, že mají stejný charakter, jako světlo. Dalšími pokusy objevil fotoelektrický jev a katodové paprsky.[5]

1.15 Wilhelm Conrad Röntgen (obr. 1.15)

Wilhelm Conrad Röntgen — Německo (1845–1923) Německý fyzik, objevitel paprsků X, které dnes nazýváme Roentgenovo záření. Jde o krátkovlnné, životu nebezpečné elektromagnetické záření, které přineslo revoluci v lékařské diagnostice. V roce 1901 obdržel první Nobelovu cenu za fyziku.

W. Röntgen vystudoval Polytechniku v Curichu a poté se stal profesorem fyziky na universitách ve Štrasburgu (1876–1879), Giessenu (1879–1888), Würzburgu (1888–1900) a Mnichově (1900–1920). W. Röntgen zkoumal také pružnost materiálů, kapilární chování tekutin, měrná tepla plynů, vedení tepla v krystalech, absorpci tepla plyny a piezoelektrický jev.



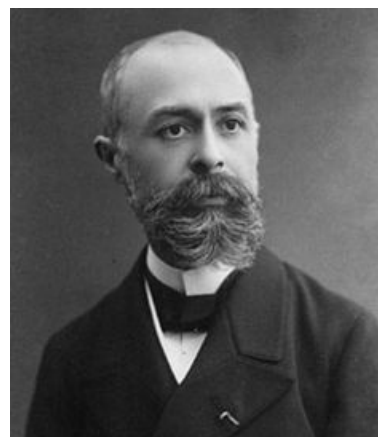
obr.1.15

V roce 1895 zjistil, že při experimentech s katodovou trubicí (částečně vakuovaná skleněná trubice s elektrodami, kterou teče elektrický proud), že blízko uložený kus barium-platino-kyanidu září, je-li trubice v provozu. Domyslel si, že když elektrony v trubici narazí na sklo, vznikne dosud neznámé záření, které prochází místností a při dopadu na chemikálii způsobí její fluorescenci. Při dalším výzkumu zjistil, že záření prochází papírem, dřevem a hliníkem. Zjistil také, že exponuje fotografické desky. Záření nazval paprsky X. Vytvořil první RTG fotografie vnitřku kovových objektů a kostí ruky své ženy. Na jeho počest se dnes záření nazývá Röntgenovo. Později se zjistilo, že jde o krátkovlnné elektromagnetické záření.[5]

1.16 Antoine Henri Becquerel (obr. 1.16)

Antoine Henri Becquerel (15. prosince 1852 Paříž – 25. srpna 1908, Le Croisic) byl francouzský fyzik, nositel Nobelovy ceny za fyziku v roce 1903 za objev přirozené radioaktivity.

Henri Becquerel se narodil v budově pařížského Muzea přírodních dějin (Muséum national d'histoire naturelle), kde byl profesorem jeho otec, fyzik Edmond Becquerel, i jeho děd, Antoine-César Becquerel. Studoval v lyceu Ludvíka Velikého (Lycée Louis-le-Grand), kde ho mj. vyučoval matematice



obr.1.16

Gaston Darboux. V roce 1872 vstoupil na Polytechnickou školu (École Polytechnique) a o dva roky později započal studium na inženýrské Škole mostů a silnic (École Nationale des Ponts et Chaussées).

V roce 1874 se také oženil s Lucií Jaminovou, dcerou profesora na Polytechnické škole Julese Jamina. V roce 1878 se jim narodil syn Jean.

V roce 1877 obdržel inženýrský diplom; poté nastoupil vědeckou dráhu. Začal se zabývat optikou, mj. zkoumal polarizaci světla. Studoval také infračervené spektrum par kovů a absorpci světla v krystalech. V roce 1888 získal doktorský titul. Následujícího roku byl zvolen do francouzské Akademie věd, stejně jako předtím jeho otec i děd. V roce 1890 se znovu oženil s Louise Désirée Lorieux. Po smrti otce v roce 1892 pokračoval v jeho práci a v roce 1895 se stal profesorem na Polytechnické škole.

V roce 1896 při zkoumání fluorescence uranových solí objevil přirozenou radioaktivitu.

Henri Becquerel zemřel předčasně ve věku 56 let. Později po něm byla pojmenována jednotka radioaktivity becquerel, kráter na Měsíci (nachází se na severní polokouli) a kráter na Marsu.[5]

1.17 Joseph John Thomson (obr. 1.17)

Sir Joseph John Thomson (18. prosince 1856 – 30. srpna, 1940) byl anglický experimentální fyzik, který objevil elektron v roce 1897 při studiu elektrické vodivosti plynů, přesněji vlastností katodového záření. Za tento objev, kterým započala éra částicové fyziky, obdržel v roce 1906 Nobelovu cenu za fyziku.

Jako ředitel Cavendishovy laboratoře na Univerzitě v Cambridge vedl či podporoval celou řadu základních experimentů, které stály u zrodu moderní fyziky na počátku 20. století.[5]



obr.1.17

Piere a Marie Curie-Sklodovská (obr. 1.18 – 19)

Francouzský chemik a fyzik, který spolu s Marie Curie objevil v roce 1898 ve smolinci uran, polonium a radium. Také přišel na to, že stálý magnet ztrácí magnetické

schopnosti, když je zahřátý nad určitou teplotu, která se dnes nazývá Curieova teplota. Objevil také piezoelektrický jev: při deformaci piezoelektrického krystalu vzniká elektrické napětí. Zemřel nešťastnou náhodou při dopravní nehodě (byl sražen kočárem



obr.1.18



obr.1.19

taženým koněm).

Polka rodným jménem Sklodowska. Pracovala se svým manželem Pierrem a objevila radioaktivní záření. Při pokusech s thoriem a uranem ukázala, že jsou radioaktivní a že radioaktivita je přímo úměrná množství radioaktivního materiálu. V roce 1898 prokázala radioaktivitu ve smolinci. Více než po roce objevila velmi radioaktivní radium. Další čtyři roky usilovně zpracovávala osm tun surové rudy, aby získala jeden gram radia. V roce 1903 obdržela Marie s manželem Pierrem a Henri Bequerem Nobelovu cenu za fyziku. Nobelovou cenou byla poctěna ještě jednou v roce 1911 a to za chemii, za izolaci čistého radia. Musela ji převzít sama, jelikož Pierre byl zabit při dopravní nehodě. A tak se stala paní Marie Curie Sklodowska jednou ze čtyř lidí, kteří se mohou pyšnit dvěma Nobelovými cenami. [5]

1.19 Albert Einstein (obr. 1.20)

Albert Einstein (14. března 1879 Ulm, Německo – 18. dubna 1955 Princeton, USA) byl teoretický fyzik, jeden z nejvýznamnějších vědců všech dob. Často je označován za největšího vědce 20. století, případně spolu s Newtonem za nejvýznamnějšího fyzika vůbec. Mezi jeho příspěvky fyzice patří speciální teorie

relativity (1905), myšlenka kvantování elektromagnetického pole a vysvětlení fotoefektu (1905), vysvětlení Brownova pohybu (1905) a snad nejvíce obecná teorie relativity (1915), která doposud nejlépe popisuje vesmír ve velkých měřítcích.

Einstein se podílel i na statistické fyzice a kvantové statistice (Boseho-Einsteinovo rozdělení), diskusi o interpretaci kvantové mechaniky (diskuse s Bohrem, EPR paradox). S Leó Szilárdem objevili nový typ chladničky.

V roce 1921 byl oceněn Nobelovou cenou za fyziku za vysvětlení fotoefektu a zásluhy o teoretickou fyziku, nicméně většina fyziků se domnívá, že Nobelovu cenu by zasloužil každý z Einsteinových článků z roku 1905 a v první řadě obecná teorie relativity.

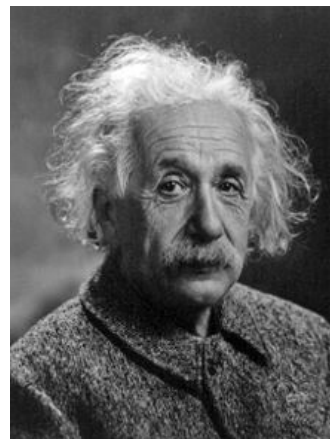
Po té, co zformuloval obecnou teorii relativity, se stal známým po celém světě, což je pro vědce nevídaný úspěch. V pozdějších letech jeho sláva zastínila ostatní vědce a Einstein se stal synonymem pro člověka s velmi vysokou inteligencí nebo zkrátka génia. Jeho tvář se stala jednou z nejnámějších na celém světě. V roce 1999 ho časopis Time vybral jako Osobnost století[1]. Jeho popularita často vedla k používání jeho jména v reklamách a obchodu a dokonce i k registraci obchodní známky Albert Einstein.

Na jeho počest po něm byla pojmenována fotochemická jednotka einstein, chemický prvek einsteinium a planetka 2001 Einstein.[5]

1.20 Niels Henrick David Bohr (obr. 1.21)

Niels Henrick David Bohr (7. říjen 1885, Kodaň – 18. listopad 1962, Kodaň) byl dánský fyzik působící v oblasti atomové a jaderné fyziky.

Byl ředitelem Ústavu teoretické fyziky v Kodani, v letech 1943 až 1945 žil v emigraci v USA. V roce 1913 vyvinul na základě představ Ernesta Rutherforda a kvantové hypotézy Maxe Plancka a Alberta Einsteina tzv. Bohrov model atomu (první kvantový model atomu). V roce 1918 model rozšířil o princip korespondence



obr.1.20



obr.1.21

(dnes všeobecně označovaný jako starší kvantová teorie), čímž se mu podařilo svou teorii prosadit. Roku 1921 teoreticky vysvětlil periodickou soustavu prvků na základě svého modelu atomu rozšířeného Arnoldem Sommerfeldem.

Roku 1927 ve spolupráci s Wernerem Heisenbergem, který předtím spolu s Erwinem Schrödingerem vytvořil kvantovou mechaniku, předběžně ukončili vývoj kvantové teorie vznikem tzv. kodaňské školy kvantové teorie. Hlavně dospěli k názoru, že atomové jevy jsou jak částicového tak i vlnového charakteru. Škola zahrnuje i Bohrovův princip komplementarity (jevy v mikrosvětě jsou neurčité a není možné je popsat jako analogii klasické fyziky), jenž byl později úspěšně aplikován i ve filozofii a v biologii.

V roce 1935 se začal zabývat jadernou fyzikou. Zavedl například pojem složené jádro a vymyslel kapkový model jádra atomu. V roce 1939 spolu s jinými fyziky objevil pro praxi významné procesy štěpení jádra uranu.

Nobelova cena za fyziku mu byla udělena roku 1922 za výzkum atomové struktury.[5]

1.21 Werner Heisenberg (obr. 1.22)

Werner Heisenberg (5. prosince 1901 - 1. února 1976) byl německý fyzik, nositel Nobelovy ceny z roku 1932 za svou roli ve vytváření kvantové mechaniky.

Roku 1923 dostal na Univerzitě v Mnichově doktorát z teoretické fyziky. V roce 1925 navrhl nový výklad fyziky, který se zásadně lišil od výkladu Newtona. V roce 1927 formuloval slavný princip neurčitosti, který specifikuje jisté teoretické hranice naší schopnosti provádět vědecká měření. Podle principu neurčitosti nám ani sebelepší zdokonalení měřícího přístroje nedovolí získat přesné výsledky.



obr.1.22

K praktickému využití kvantové mechaniky patří elektronové mikroskopy, lasery, tranzistory, uplatnění nalezne i v jaderné a atomové energii, tvoří základ spektroskopie a hojně se uplatňuje i v astronomii a chemii. Rovněž se využívá v teoretickém zkoumání jako jsou vlastnosti kapalného hélia, vnitřní konstituce hvězd,

feromagnetismus a radioaktivita.

Podle Heisenbergova kvantově mechanického modelu nelze spočítat (se stejnou přesností) dráhu a rychlost elektronů - čili polohu a energii - Heisenbergův princip neurčitosti.[5]

1.22 Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (obr. 1.23)

Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (12. srpna 1887 Vídeň – 4. ledna 1961 Vídeň) byl rakouský teoretický fyzik, jeden ze zakladatelů kvantové mechaniky, který se proslavil především formulací nerelativistické vlnové rovnice pro popis hmotných částic, kterou na jeho počest nazýváme Schrödingerova rovnice. Za tuto základní práci obdržel v roce 1933 společně s Paulem Diracem Nobelovu cenu. Je také autorem proslulého myšlenkového experimentu Schrödingerova kočka, který asi nejlépe vystihuje Schrödingerův (a také mnoha dalších) skeptický postoj k obecně přijímané pravděpodobnostní interpretaci kvantové mechaniky.



obr.1.23

Erwin Schrödinger přispěl významnou měrou nejen ke kvantové fyzice. Zabýval se též historií a filozofií fyziky a vědy obecně a jeho kniha *What is Life? (Co je život?)* z roku 1944, přestože byla určena široké veřejnosti, ovlivnila celou řadu vědců, kteří stáli u zrodu molekulární biologie a mezi kterými nechyběli objevitelé molekuly DNA Francis Crick či James D. Watson.[5]

1.23 Paul Adrien Maurice Dirac (obr. 1.24)

Paul Adrien Maurice Dirac (8. srpna 1902 – 20. října 1984) byl britský teoretický fyzik, který se zabýval kvantovou teorií, obecnou teorií relativity a kosmologií. Za svoji základní práci v kvantové fyzice získal v roce 1933 společně s Erwinem Schrödingerem Nobelovu cenu.



obr.1.24

Je znám především tím, že jako první formuloval

relativistickou kvantově-mechanickou rovnicí popisující elektron (a obecněji částice se spinem $1/2$), která se na jeho počest nazývá Diracova rovnice a která ho vedla k předpovědi existence pozitronu (antičástice elektronu), který byl později v roce 1932 pozorován Carlem D. Andersonem. Jeho práce na kvantové teorii emise a absorpce záření byla jedna z prvních prací kvantové elektrodynamiky. Přispěl také významnou měrou k rozvoji formalismu kvantová teorie zavedením tzv. braketové notace nazývané též Diracova notace. Paul Dirac je dále znám jako autor kontroverzní kosmologické teorie, tzv. hypotézy velkých čísel, a jako jeden z prvních fyziků pokoušejících se o skloubení kvantové teorie s teorií gravitace.

Paul Dirac je autorem mnoha vědeckých publikací a několika knih. Nejznámější z nich je učebnice *Principles of Quantum Mechanics* publikované v roce 1930, ve které Dirac elegantně shrnul jak maticovou mechaniku Wernera Heisenberga, tak vlnovou mechaniku Erwina Schrödingera a sjednotil je v rámci jednotného matematického popisu, ve kterém jsou měřitelné fyzikální veličiny reprezentovány operátory působícími na Hilbertově prostoru vlnových funkcí, které popisují v kvantové teorii stav fyzikálního systému. Za tím účelem zavádí braketovou notaci a tzv. Diracovu delta funkci.[5]

1.24 John von Neumann (obr. 1.25)

John von Neumann (28. prosince 1903 Budapešť Rakousko-Uhersko – 8. února 1957 Spojené státy americké) byl maďarský matematik židovského původu, který značnou měrou přispěl k oborům jako jsou kvantová fyzika, funkcionální analýza, teorie množin, ekonomika, informatika, numerická analýza, hydrodynamika, statistika, a mnoho dalších matematických disciplín.

John Ludwig von Neumann, se narodil v Budapešti v rodině bohatého maďarského bankéře. Od malička projevoval znaky geniality – měl jazykové nadání a neobyčejnou paměť. Říká se o něm, že v šesti letech byl schopen žertovat s otcem ve starořečtině a zpaměti uměl dělit osmimístnými čísly. Od dvanácti let ho



obr.1.25

soukromě učil nejlepší profesor matematiky z budapešťské univerzity. V sedmnácti publikoval svou první vědeckou práci. Následující rok se zapsal na budapešťskou univerzitu, na radu otce zvolil perspektivní obor chemické inženýrství. Studium bylo pro něho tak snadné, že se nudil, a tak ve volném čase napsal doktorskou práci z matematiky. Ve dvaadvaceti letech odešel na univerzitu do Berlína, kde nastoupil jako nejmladší asistující profesor v historii. Začal se zabývat kvantovou teorií a teorií neutronové sítě. Už tehdy byl uznávaným vědcem, ale celosvětově se proslavil v roce 1928 jako spoluvtvůrce matematické teorie her, která je dodnes používána v ekonomice i v politice. V roce 1929 – už jako světově proslulý vědec – se stal spolu s Albertem Einsteinem zakládajícím členem a vedoucím oddělení matematiky nového Institut for Advanced Study v Princetonu.

Nejvýznamnější jsou jeho objevy jako průkopníka digitálních počítačů a operační teorie kvantové mechaniky (takzvaná Von Neumannova algebra), tvůrce teorie her a konceptu buňkového automatu.

Spolu s Edwardem Tellerem a Stanislawem Ulamem se zabýval jadernou fyzikou, kde vytvořili základní předpoklady termonukleárních reakcí a vodíkové bomby.[5]

1.25 Richard Phillips Feynman (obr. 1.26)

Richard Phillips Feynman (11. května 1918 – 15. února 1988) patřil k největším fyzikům 20. století.

Studoval Massachusettský technologický institut (MIT), doktorát složil na univerzitě v Princetonu. Během druhé světové války pracoval na vývoji jaderné bomby (projekt Manhattan). Po skončení války pracoval krátce na Cornellově univerzitě a od roku 1951 až do své smrti působil v Kalifornském technickém institutu (Caltech). V roce 1965 mu byla spolu se dvěma dalšími fyziky udělena Nobelova cena. Vypracoval techniku popisu reakcí elementárních částic poskytující alternativní náhled na chápání kvantové fyziky (Feynmannovy diagramy). Velmi významná byla jeho pedagogická činnost, dodnes jsou pro přehlednost a názornost vysoce ceněné a používané jeho sbírky



obr.1.26

přednášek a další knihy.

Richard Phillips Feynman byl třikrát ženatý. První žena mu zemřela v mladém věku. Se třetí ženou Gwen měl 2 děti. Zemřel na selhání ledvin způsobené rakovinou.[5][4]

1.26 Julian Seymour Schwinger (obr. 1.27)

Julian Seymour Schwinger (12. února 1918 - 16. července 1994)

Americký fyzik zabývající se kvantovou teorií. Navazoval na práce Diraca a byl spoluvůrcem kvantové elektrodynamiky. Za její vytvoření získal spolu s Feynmanem a Tomonagou Nobelovu cenu za fyziku pro rok 1965.[5][4]



obr.1.27

2 Přehled fyzikálních konstant

Tabulka 1 - Fyzikální konstanty

<i>Veličina</i>	<i>Hodnota (SI)</i>	<i>Hodnota</i>
Atomová hmotnostní konstanta	$1,660\,538\,86(28) \times 10^{-27} \text{ kg}$	-
Avogadrova konstanta	$6.022\,1415(10) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	-
Bohrův magneton	$9,274\,015\,4(31) \times 10^{-24} \text{ J T}^{-1}$	-
Bohrův poloměr atomu	$0.529\,177\,2108(18) \times 10^{-10} \text{ m}$	-
Boltzmannova konstanta	$1.380\,6505(24) \times 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$	$8,617\,342(15) \times 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$
Coulombova konstanta	$8.987\,742\,438 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\text{C}^{-2}$ ($=\text{kg}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-4}\cdot\text{A}^{-2}$)	-
Elementární náboj	$1,602\,176\,53(14) \times 10^{-19} \text{ C}$	-
Faradayova konstanta	$96\,485.3383(83) \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$	-
Gravitační konstanta	$6.6742(10) \times 10^{-11} \text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$	-
Hubbleova konstanta	-	$72 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$

Impedance vakua	$376.730\ 313\ 461\ \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2} (= \Omega)$	-
Jaderný magneton	$5,050\ 786\ 6(17) \times 10^{-27}\ \text{J T}^{-1}$	-
Klidová energie elektronu	-	0,511 MeV
Klidová energie neutronu	-	939,550 MeV
Klidová energie protonu	-	938,256 MeV
Klidová hmotnost elektronu	$9,109\ 381\ 88(72) \times 10^{-31}\ \text{kg}$	$0,511\ \text{MeV } \square \text{c}^{-2}$
Klidová hmotnost neutronu	$1,674\ 927\ 16(13) \times 10^{-27}\ \text{kg}$	$939,550\ \text{MeV } \square \text{c}^{-2}$
Klidová hmotnost protonu	$1,672\ 621\ 58(13) \times 10^{-27}\ \text{kg}$	$938,256\ \text{MeV } \square \text{c}^{-2}$
Konstanta hustoty záření	$7,5646 \times 10^{-16}\ \text{J m}^{-3}\ \text{K}^{-4}$	$\times 10^{-15}\ \text{erg cm}^{-3}\ \text{K}^{-4}$
Konstanta jemné struktury	$7,297\ 352\ 533(27) \times 10^{-3}$	-
	137,035 999 11(46)	-
Molární plynová konstanta	$8.314\ 472(15)\ \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$	-
Permeabilita vakua	$4\pi \times 10^{-7}\ \text{N} \cdot \text{A}^{-2} = 1.2566\ 370\ 614 \times 10^{-6}\ \text{N} \cdot \text{A}^{-2}$	-
Permitivita vakua	$8.854\ 187\ 817 \times 10^{-12}\ \text{F} \cdot \text{m}^{-1}$	-
Planckův čas	$5.391\ 21 \times 10^{-44}\ \text{s}$	-
Planckova délka	$1.616\ 24 \times 10^{-35}\ \text{m}$	-
Planckova energie	$1.956\ 1 \times 10^9\ \text{J}$	$1.220\ 90 \times 10^{19}\ \text{GeV}$
Planckova hmotnost	$2.176\ 45 \times 10^{-8}\ \text{kg}$	-
Planckova hustota	$5.155\ 00 \times 10^{96}\ \text{kg m}^{-3}$	-
Planckova konstanta	$6.626\ 0693(11) \times 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}$	-
Planckova plocha	$2.612\ 23 \times 10^{-70}\ \text{m}^2$	-
Planckova teplota	$1.416\ 79 \times 10^{32}\ \text{K}$	-
Redukovaná planckova konstanta	$1.054\ 571\ 68(18) \times 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}$	-
Rychlost světla ve vakuu	$299\ 792\ 458\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	-
Stefan-Boltzmannova konstanta	$5,670\ 400(40) \times 10^{-8}\ \text{W m}^{-2}\ \text{K}^{-4}$	$\times 10^{-5}\ \text{erg cm}^{-2}\ \text{K}^{-4}\ \text{s}^{-1}$
Tíhové zrychlení (na Zemi)	$9,806\ 65\ \text{m s}^{-2}$	-

V práci se zaměříme pouze na měření vybraných konstant a to rychlost světla, Boltzmanova konstanta, Avogadrova konstanta, Poissonova konstanta, Planckova konstanta, gravitační konstanta a tíhové zrychlení.[5]

3 Rychlost světla

Rychlost světla (nebo jiného elektromagnetického záření) ve vakuu je definována přesnou hodnotou 299 792 458 metrů za sekundu (1 079 252 848,8 km/h). Označuje se písmenem c (údajně z latinského celeritas, což znamená rychlost).

Tato rychlost dává přirozený poměr měřítek prostoru a času a je nejvyšší možnou rychlostí šíření signálu či informace. Vzhledem k tomu, že samotná jednotka délky metr je určena jako vzdálenost, kterou světlo ve vakuu urazí za $1/299\,792\,458$ sekundy, je hodnota rychlosti světla určená touto definicí přesná a přibližuje se velikosti rychlosti světla získané v minulosti měřeními s využitím staré definice metru. Rychlost světla v látkovém prostředí je menší než rychlost světla ve vakuu c a je rovna c/n , kde „ n “ je index lomu příslušné látky (materiálu).

3.1 Historie

Až do nedávné minulosti byla rychlost světla z velké části jen otázkou dohadů. Antický filosof Empedoklés zastával názor, že světlo je něco, co se pohybuje a šíří mezi zemí a oblohou, aniž to můžeme pozorovat. Proto musí cesta světla z jednoho místa na jiné trvat určitý čas. Jiný řecký filosof Aristotelés to odmítal a tvrdil, že světlo vyplývá z určité přítomnosti, je to bezbarvá, statická materie, jež je opakem tmy, ale nepohybuje se. Mimo to, jestliže by světlo mělo konečnou rychlost, musela by být velmi velká. Aristotelés tvrdil, že „je to až příliš neuvěřitelné“.

Jednou ze starověkých teorií vidění je, že světlo je vyzařováno z oka, nikoliv z jiného zdroje do oka odráženo. Z této teorie odvodil Hérón z Alexandrie argument, že rychlost světla musí být nekonečná, protože vzdálené objekty, jako například hvězdy, se objeví, jakmile se oko otevře.

3.2 Měření rychlosti světla ve středověku

Islámské filozofy Avicenna a Alhazen věřili, že světlo má konečnou rychlost, i když většina ostatních filozofů v tomto bodě souhlasila s Aristotelem. Podobně považovala

rychlost světla za konečnou i árijská filosofická škola ve starověké Indii.

Johannes Kepler prosazoval názor, že světlo putuje neomezenou rychlostí, protože ve volném prostoru mu nestojí v cestě žádné překážky. Francis Bacon argumentoval, že rychlost světla nemusí být nutně nekonečná, ale může být tak velká, že to nejsme schopni vnímat. René Descartes tvrdil, že kdyby byla rychlost světla konečná, nemohly by Slunce, Měsíc a Země být během zatmění v zákrytu. Protože nic takového nebylo pozorováno, odvodil z toho, že rychlost světla je nekonečná. Descartes se domníval, že vesmír vyplňuje zvláštní látka, kterou nazýval plenum, která umožňuje vidění a ve skutečnosti byl přesvědčen, že kdyby připustil konečnost rychlosti světla, celý jeho filosofický systém by se zhroutil.

3.3 Měření rychlosti v současnosti

Isaac Beeckman, Descartův přítel, navrhl v roce 1629 experiment při kterém by se pozoroval záblesk z kanónu odražený ze zrcadla vzdáleného asi míli. Galileo Galilei v roce 1638 navrhoval měřit rychlost světla pozorováním prodlevy mezi odkrytím lucerny a zpozorováním světla z určité vzdálenosti. Descartes tento experiment kritizoval jako zbytečný, protože experiment během zatmění Měsíce, který měl lepší předpoklady ke zjištění konečné rychlosti, byl negativní. Takže experiment uskutečnila až v roce 1667 Florentinská Accademia del Cimento, s lucernami vzdálenými asi 1 míli. Vzdálenost však byla příliš malá a tak žádné zpoždění nebylo pozorováno. Robert Hooke negativní výsledek vysvětloval tak, že se nejedná o potvrzení nekonečné rychlosti světla, ale toho, že světlo se musí pohybovat velmi rychle.

První kvantitativní odhad rychlosti světla provedl v roce 1676 Ole Römer, který pomocí teleskopu studoval pohyb Jupiterova měsíce Io. Vzhledem k tomu, že Io vchází a vychází z Jupiterova stínu v pravidelných intervalech, je možné změřit trvání doby oběhu. Römer zaznamenal, že když je Jupiter nejbliž k Zemi, byla doba oběhu Io kolem Jupitera 42,5 hodiny. Také pozoroval, že jak se Jupiter a Země od sebe vzdalovali, Io vycházel ze stínu Jupitera postupně stále později. Bylo jasné, že tomuto výstupnímu „signálu“ trvalo déle než dosáhl Země. Jak se Země a Jupiter vzdalovali, zvětšoval se interval mezi signály, na kterém se projevoval dodatečný čas, který světlu zabere překonání dodatečné vzdálenosti mezi planetami. Podobně, asi o půl roku později, byly vstupy měsíce Io do stínu Jupitera o něco častější, protože se Země a Jupiter

přibližovali. Na základě těchto pozorování Römer odhadoval, že na překonání průměru oběžné dráhy Země by světlo potřebovalo 22 minut (což je dvojnásobek astronomické jednotky), přičemž moderní odhad je přibližně 16 minut a 40 sekund.

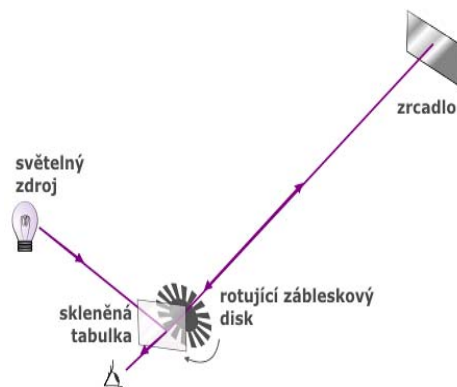
Přibližně ve stejné době byla velikost astronomické jednotky odhadována na 140 milionů kilometrů. Z této astronomické jednotky a Römerova odhadu času vypočítal autor vlnové teorie holanďan Christiaan Huygens rychlost světla na 1 000 průměrů oběžné dráhy za minutu, což je asi 220 000 kilometrů za sekundu. To je sice významně méně než dnes uznávaná hodnota, ale i tak tato hodnota o mnoho převyšovala jakýkoliv fyzikální jev známý v té době.

Také Isaac Newton uznával, že rychlost světla je konečná. Ve své knize „Opticks“ dokonce publikoval přesnější hodnotu rychlosti světla - 16 průměrů Země za sekundu, kterou sám odvodil, ačkoliv není známo, jestli z Römerových údajů, nebo z něčeho jiného. Stejný úkaz byl následně pozorován Römerem na rotující „skvrně“ na povrchu Jupitera. Efekt byl zaznamenán i později u obtížnějšího pozorování tří dalších Galileových měsíců.

Ani tato pozorování však nepřesvědčila každého (především Giovanniho Domenica Cassiniho) a k definitivnímu odmítnutí hypotézy nekonečné rychlosti světla došlo až po pozorováních Jamese Bradleyho v roce 1728. Bradley vyvodil, že světlo hvězd dopadající na Zemi musí přicházet z mírného úhlu, který se dá vypočítat porovnáním rychlosti Země na její oběžné dráze k rychlosti světla. Tato tzv. „aberrace“ byla asi 1/200 stupně. Bradleyem vypočítaná rychlost světla byla 298 000 kilometrů za sekundu, což už je jen o málo méně než dnes uznávaná hodnota. Aberrace byla během následujících století široce zkoumána, především Friedrichem von Struve a Magnusem Nyrenem.

První úspěšné měření rychlosti světla pozemním přístrojem provedl v roce 1849 francouzský fyzik Hippolyte Fizeau. Fizeauv experiment (obr.3.1) byl koncepčně podobný návrhům Beeckmana a Galilea. Paprsek světla byl namířen na zrcadlo umístěné ve vzdálenosti několika kilometrů. Na cestě od zdroje světla k zrcadlu paprsek procházel rotujícím diskem se zářezy. Při určité rychlosti rotace disku projde paprsek směrem od zdroje jedním zářezem a při návratu zářezem následujícím. Jestliže dojde třeba i jen k malému zrychlení nebo zpomalení rotace disku, zasáhne zpětný paprsek samotný disk (jeho zub) a nedostane se nazpět. Rychlost světla se dá vypočítat ze známé vzdálenosti zdroje a zrcadla, počtu zářezů (resp. zubů) na disku a rychlosti rotace.

Rychlost světla publikovaná Fizeauem byla 313 000 kilometrů za sekundu. Fizeauova metoda byla později zdokonalena M. A. Cornuem (1872) a J. Perrotinem (1900).



obr. 3.1

Leon Foucault vylepšil Fizeauovu metodu tím, že nahradil disk se zářezy rotujícím zrcadlem. Foucaultův odhad publikovaný v roce 1862 byl 298 000 kilometrů za sekundu. Foucaultovu metodu použili i Simon Newcomb a Albert A. Michelson.

Michelson použil v roce 1926 rotující zrcadla pro změření času, který světlo potřebuje na překonání vzdálenosti tam a zpět mezi horami Mount Wilson a Mount San Antonio v Kalifornii. Výsledkem těchto měření byla relativně přesně určená rychlost světla na 299 796 kilometrů za sekundu.

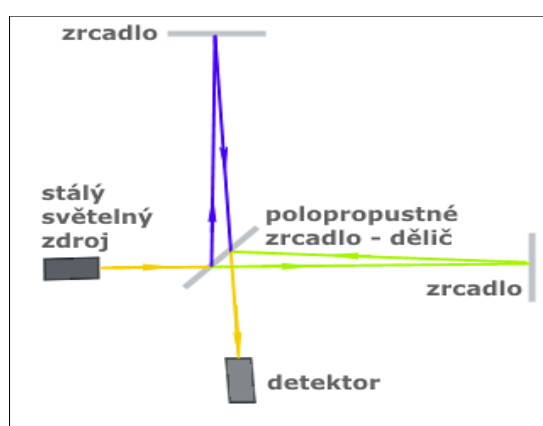
3.4 Závislost rychlosti světla na prostředí

Díky práci Jamese Clerka Maxwella bylo známo, že rychlost elektromagnetického záření je konstanta definovaná elektromagnetickými vlastnostmi vakua (permitivitou a permeabilitou). Fyzikové v 19. století se však domnívali, že rychlost je dána relativně k světlonosnému éteru. Éter měl být nekonečně jemné médium, kterým všechny látky pronikají a které současně vyplňuje veškerý prostor kolem nás. Podle těchto představ se světlo mohlo šířit právě jen prostřednictvím éteru.

V roce 1887 byl uskutečněn fyziky Albertem Michelsonem a Edwardem Morleyem významný experiment za účelem změření rychlosti světla vzhledem k pohybu Země. Cílem tohoto experimentu, dnes zvaného Michelson-Morley experiment, bylo měření

rychlosti Země pohybující se domnělým „světlnosným éterem“. Jak je znázorněno na nákresu Michelsonova interferometru, k rozdělení světla na dva monochromatické paprsky (t. j. mající jen jednu vlnovou délku), které se dále šíří v pravém úhlu, bylo použito polopropustné zrcadlo s tenkou vrstvou stříbra.

Po opuštění tohoto dělicího zrcadla se oba paprsky odrážejí několikrát mezi dalšími zrcadly. Aby oba paprsky urazily stejnou vzdálenost, je pro ně počet odrazů shodný (během skutečného Michelson-Morleyova experimentu bylo použito více zrcadel než je vidět na obrázku 3.2). Po jejich následném sloučení vznikne obrazec konstruktivní a destruktivní interference. I malá změna rychlosti světla v některém z ramen



obr.3.2

interferometru (způsobená tím, že se přístroj společně se Zemí měl pohybovat předpokládaným „éterem“) by měla zapříčinit změnu doby, kterou paprsek potřebuje na překonání vzdálenosti, což se mělo projevit jako změna interferenčního obrazce. Celé zařízení se otáčelo, aby se změnila dráha paprsků v „éteru“ vlivem toho, že rychlosti světla a Země by se měly sčítat. Experiment neměl žádný výsledek, ať bylo aparaturou otáčeno jakkoliv a stal se pravděpodobně nejznámějším a nejužitečnějším neúspěšným experimentem v historii fyziky.

Česko-rakouský fyzik Ernst Mach byl jeden z prvních, který tvrdil, že experiment vlastně vyvrátil teorii éteru. Pokrok v oblasti teoretické fyziky v té době už nabízel alternativní teorii, Lorentz-Fitzgeraldovu kontrakci, která dovolila vysvětlit i negativní výsledek Michelson-Morleyova experimentu.

Není jisté, jestli Albert Einstein znal výsledek Michelson-Morleyova experimentu, ale jeho nulový výsledek velmi pomohl všeobecnému přijetí teorie relativity. Einsteinova teorie byla zcela v souladu s výsledkem experimentu: éter neexistoval a rychlost světla

byla stejná v každém směru. Konstantní rychlost světla je (společně s kauzalitou a rovnocenností inerciálních vztažných soustav) jedním ze základních východisek speciální teorie relativity.[5]

4 Boltzmannova konstanta

Boltzmannova konstanta vyjadřuje vztah mezi teplotou a energií plynu.

Byla pojmenována po rakouském fyzikovi Ludwigu Boltzmannovi, který se významně podílel na rozvoji statistické fyziky, kde tato konstanta hraje klíčovou roli.

Značka: k nebo k_B

Hodnota: $k = (1,380658 \pm 0,000012) \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$

Vynásobením Boltzmannovy a Avogadrovy konstanty dostaneme univerzální plynovou konstantu, která udává totéž pro látkové množství jednoho molu.

4.1 Ludwig Boltzmann (obr. 4.1)

Ludwig Boltzmann (20. února 1844 Vídeň – 5. září 1906) byl rakouský fyzik, zakladatel statistické fyziky.

Narodil se na vídeňském předměstí Erdberg v rodině daňového úředníka. Jeho otec však zemřel již v Ludwigových 15 letech. Navíc zemřeli velmi mladí i jeho bratr a sestra. Studium se ale Ludwigovi dařilo – na Lineckém gymnáziu měl ty nejlepší známky a jeho učitelem ve hře na klavír byl rakouský skladatel Anton Bruckner. Po maturitě



obr. 4.1

odešel studovat fyziku na univerzitu ve Vídni. Roku 1866 získal doktorát a následující dva roky pracoval jako asistent profesora Josefa Stefana. V 25 letech se stal profesorem matematické fyziky na univerzitě ve Štýrském Hradci. Vyjížděl také na další univerzity, např. do Heidelbergu, Berlína a Lipska. Po smrti profesora Stefana se roku 1895 vrátil do Vídně a tady až do konce svého života vyučoval fyziku. Roku 1891 se stal členem Bavorské akademie věd. Od roku 1870 se také zabýval problémem letectví, a tak se například zajímal o pokusy Otto Lilienthala.

Roku 1876 se oženil s Henriette von Aigentler (1854-1938), měli spolu 5 dětí, z nichž čtyři se narodily ve Štýrkém Hradci mezi lety 1878 a 1884. Nejmladší dcera se narodila roku 1981 v Mnichově. Svoji vědecky nejpłodnější a lidsky nejtřastnější dobu prožil právě ve Štýrkém Hradci. Aktivně sportoval, miloval hudbu (hrál velmi dobře na klavír) a byl starostlivým otcem, který však ztratil jednoho ze synů kvůli zánětu slepého střeva. Ačkoli byl Boltzmann známý svou kousavou ironií, byl popisován jako člověk dobrotivé povahy. Ke konci života trpěl depresemi, trápila ho slepota a silné astma. V roce 1906, když byl s rodinou na letní dovolené, se oběsil na okenním kříži italského hotelu v Duino. Na jeho náhrobním kameni, který leží na Centrálním hřbitově ve Vídni, je vyryto: $S = k \cdot \log W$

Boltzmannovým životním dílem byla termodynamika, postavená na nových poznacích. Společně s Jamesem Maxwellem založil statistickou mechaniku a popsal entropii jako mikroskopickou veličinu. Byl také zastáncem atomistické představy, ačkoli mu oponovalo mnoho odborníků té doby, ku příkladu Wilhelm Ostwald nebo Max Planck. Ten se však při svém Planckově vyzařovacím zákoně k Boltzmannově představě vrátil.

Zformuloval tzv. Maxwell-Boltzmannovo rozdělení, které umožňuje spočítat rozdělení molekul plynu, které se stalo důležitou součástí termodynamických výpočtů. Roku 1877 připojil Boltzmannovu konstantu k . Jeho slavná rovnice popisuje mj. schopnost každého plynu zaujmout během doby stav rovnoměrně rozdělené energie. Jako první použil statickou metodu pro popis tepelného záření. Roku 1884 odvodil tzv. Stefanův-Boltzmannův zákon (speciální případ Planckova zákona) popisující část tepelného spektra těles.[5]

5 Avogadrova konstanta

Avogadrova konstanta vyjadřuje počet částic v jednotkovém látkovém množství (v 1 molu). Je pojmenována po italském fyzikovi Avogadrovi, její hodnotu však poprvé vypočetl Johann Josef Loschmidt roku 1856.

Definice

Je definována jako počet atomů v 0.012 kg izotopu uhlíku ^{12}C , tedy stabilního izotopu, který obsahuje v jádře šest protonů a šest neutronů.

Značení

- Značka: N_A
- Velikost: $N_A = 6.022\ 1415(10) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

5.1 Amedeo Avogadro (obr. 5.1)

Celým jménem Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro di Quaregna e Cerreto. Amedeo Avogadro (obr.č.4, 9. srpna 1776 Turín – 9. července 1856 Turín) je jedním ze zakladatelů fyziky plynů. Jeho objevy umožnily určení relativních atomových hmotností prvků. Je po něm pojmenována Avogadrova konstanta.

Byl synem zámožného šlechtice se starodávného italského rodu Piedmont. Vystudoval práva. Postupně ale opouštěl advokacii a začal se věnovat svému koníčku - fyzice. Nejprve se stal demonstrátorem fyziky na turínském univerzitě, později profesorem fyziky ve Vercelli. V roce 1820 se vrátil do Turína jako přednosta nově založené katedry vyšší fyziky. Na ní pracoval až do roku 1850.



obr.5.1

Nejprve se zabýval elektřinou, ale později se věnoval fyzice plynů. Roku 1811 formuloval hypotézu, že ideální plyny obsahují v objemové jednotce plynu při stejném tlaku a teplotě stejný počet molekul (Avogadrův zákon). Dokázat se jí ale podařilo až o půlstoletí později na základě kinetické teorie plynů.[5]

5.2 Loschmidtova konstanta

Roku 1856 zaslal vídeňské Akademii práci, ve které odvodil tzv. Loschmidtovo číslo. Loschmidtova konstanta udává počet molekul v 1 m^3 ideálního plynu za normálních podmínek. Ve své podstatě se jedná o jiné vyjádření Avogadrovy konstanty.[5]

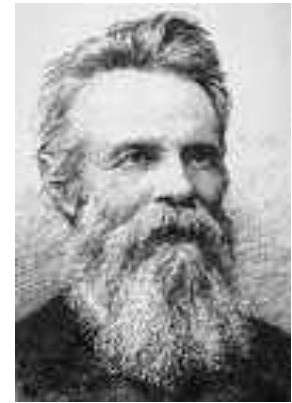
5.3 Johann Josef Loschmidt (obr. 5.2)

Johann Josef Loschmidt se narodil 15. března 1821 v Počernech u Karlových Varů v chudé rodině zemědělce. Johann Josef Loschmidt je naším krajanem. Český původ dokládá skutečnost, že se u Loschmidtů mluvilo česky.

Johann Josef Loschmidt byl jedním ze zakladatelů atomové fyziky. Zabýval se také chemií (Loschmidt bývá často označován jako otec molekulového modelování), elektrodynamikou, mechanickou teorií tepla, optikou a krystalografií. Byl profesorem

fyziky a chemie na univerzitě ve Vídni.

Johann Josef Loschmidt byl velmi nadaný. Toto nadání rozpoznal vesnický farář Adalbert Čech, který mu pomohl studovat na piaristickém gymnáziu v Ostrově (1833 - 1837). Poté Loschmidt pokračoval ve studiích na gymnáziu v Praze. Absolvoval filozofickou fakultu na Karlově univerzitě, kde studoval dva roky. V roce 1846 získal na vídeňské Polytechnice bakalářský titul (fyzika a chemie), studoval také na vídeňské univerzitě (studoval zde mj. filosofii, matematiku, fyziku a chemii).



obr.5.2

Po ukončení studií se Loschmidt neúspěšně pokoušel získat místo na vídeňské univerzitě.

V roce 1856 začal Loschmidt učit na střední škole ve Vídni fyziku, chemii, aritmetiku a účetnictví. Na škole měl také svou malou laboratoř.[7]

6 Planckova konstanta

Planckova konstanta h je jednou ze základních fyzikálních konstant. Jako fyzikální veličina má rozměr akce. Planckova konstanta byla poprvé zavedena Maxem Planckem, po němž nese jméno, jako konstanta vyzařovacího zákona černého tělesa.

6.1 Historie

Konstantu poprvé uvedl Max Planck (tehdy pod označením b) v květnu 1899 ve svém referátu "Über irreversible Strahlungsvorgänge" pro Královskou Pruskou akademii věd a uvedl i její hodnotu. V tomto referátu také naznačil myšlenku přirozené soustavy jednotek (Planckovy jednotky), ve kterých by byla číselná hodnota konstanty jednotková.

6.2 Měření

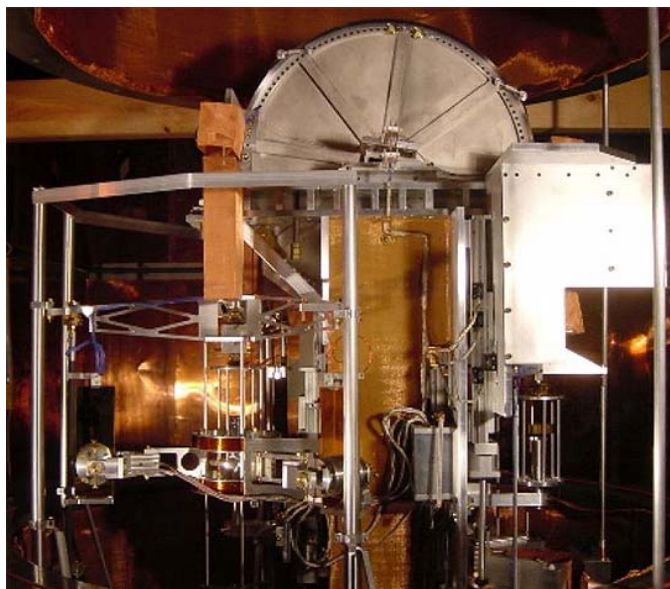
V současnosti nejpřesnější způsob měření Planckovy konstanty představují výkonové váhy (obr.5.1), které porovnávají tíži tělesa s magnetickou silou. K měření elektrických veličin se přitom využívá Josephsonův jev a kvantový Hallův jev (obr.5.2), což umožňuje dát hmotnost do přímého vztahu s Planckovou konstantou. Mezinárodní úřad pro míry a váhy uvažuje v roce 2011 změnit definici kilogramu a jednou z možností je

stanovení přesné hodnoty Planckovy konstanty. Její hodnotu by pak již nebylo třeba měřit a výkonové váhy by sloužily pro přesnou realizaci prototypu kilogramu.

6.3 Výkonové váhy (obr. 6.1)

Výkonové váhy známé též pod anglickým názvem „watt balance“ jsou extrémně přesný přístroj pro měření hmotnosti anebo Planckovy konstanty. V roce 1975 je navrhl Bryan P. Kibble z britské Národní fyzikální laboratoře (NPL).

Mezinárodní komise pro míry a váhy v současnosti uvažuje dvě možnosti změny definice kilogramu a výkonové váhy



obr.6.1

představují zatím nejpřesnější způsob, jak podle jedné z nich kilogram realizovat. Kilogram je jako poslední z jednotek definován konkrétním objektem – etalonem

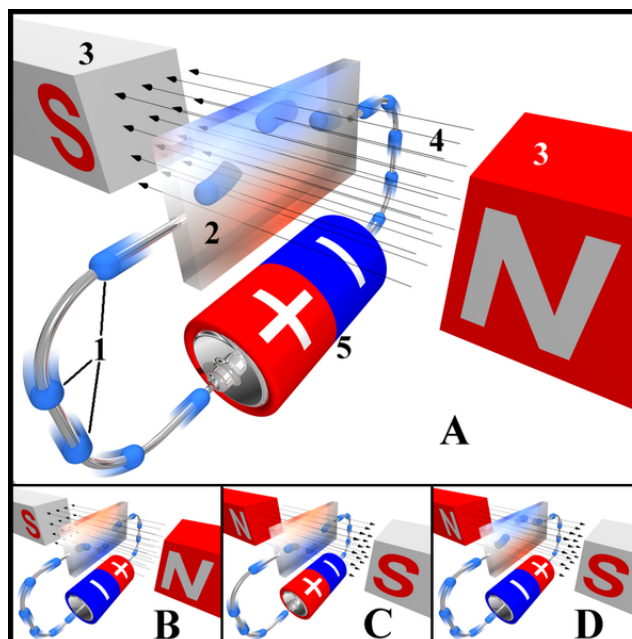
6.4 Redefinice kilogramu

Porovnávání mezinárodního prototypu kilogramu s jeho kanonickými kopiemi ukázala, že navzdory všem snahám se jeho hmotnost mění mezi jednotlivými kontrolami v řádu desítek mikrogramů. To je hlavním důvodem k hledání nové definice. Reálnou šanci mají dvě možné cesty, buď pomocí Avogadrovy konstanty anebo Planckovy konstanty. Hodnota konstanty by byla definicí určena přesně, podobně jako dnes definice metru udává hodnotu rychlosti světla ve vakuu.

Definice, která by svázala hodnotu kilogramu s Planckovou konstantou, se realizuje pomocí výkonových vah. Než bude kilogram předefinován, je třeba ve stávajícím systému SI změřit Planckovu konstantu tak přesně, aby se předešlo jakékoliv nesrovnalosti mezi stávajícím a novým kilogramem.

6.5 Hallův jev (obr. 6.2)

1. Elektrony (směr proudu je podle konvence opačný)
2. Polovodičový předmět
3. Magnety
4. Magnetické pole
5. Zdroj energie



obr.6.2

Na obrázku „A“ dostává předmět negativní náboj symbolizovaný modrou barvou a kladný náboj symbolizovaný barvou červenou.

Na obrázcích „B“ a „C“ se elektrický proud obrací, což způsobuje změnu polarizace. Změna proudu i magnetického pole opět vytvoří záporní náboj v horní části předmětu (obrázek „D“).

6.6 Max Karl Ernst Ludwig Planck (obr. 6.3)

Max Karl Ernst Ludwig Planck (23. dubna 1858 Kiel – 4. října 1947 Göttingen) byl německý fyzik, považovaný za jednoho ze zakladatelů kvantové teorie. Studoval u vynikajících německých fyziků Helmholtze a Kirchhoffa. V červenci 1879 získal doktorát na mnichovské univerzitě. V roce 1880 dokončil dizertační práci a stal se soukromým docentem na mnichovské univerzitě. V roce 1885 byl s pomocí otce jmenován mimořádným profesorem na univerzitě v Kielu. V roce 1892 nastoupil po Helmholtzovi na místo řádného profesora teoretické fyziky na berlínské univerzitě. V Berlíně pak působil až do konce své vědecké kariéry.



obr.6.3

Zpočátku pracoval na termodynamice, později jej zaujala Kirchhoffova práce o záření a začal se zabývat problémem záření černého tělesa, kde dosáhl největších vědeckých

úspěchů. Roku 1899 objevil základní fyzikální konstantu, dnes nazývanou Planckova konstanta. Téhož roku popsal sadu tzv. Planckových jednotek, udávající přirozená měřítka času, prostoru a hmotnosti. O rok později pak objevil správný zákon vyzařování černého tělesa – průlomový článek v Annalen der Physik vyšel roku 1901. Pro vysvětlení zákona vyzařování Planck formuloval hypotézu kvantování energie oscilátorů. (Skutečný dosah myšlenky kvantování si ovšem uvědomil teprve Albert Einstein o pět let později, postuloval kvantování energie elektromagnetického pole a touto teorií okamžitě vysvětlil fotoefekt.)

V letech 1905 – 1909 Planck předsedal Německé fyzikální společnosti (Deutsche Physikalische Gesellschaft). V roce 1918 byl za práci na záření černého tělesa oceněn Nobelovou cenou za fyziku.

V pozdějších letech se Planck věnoval filozofii, estetice a náboženství. Před 2. světovou válkou se pokusil přesvědčit Hitlera, aby změnil rasové zákony a ušetřil vědce židovského původu. V roce 1945 byl Planckův syn Erwin umučen Gestapem v souvislosti s neúspěšným pokusem o atentát na Hitlera.[5]

7 Poissonova konstanta

Poměr měrných nebo molárních tepelných kapacit se nazývá Poissonova konstanta.

Podle definice platí

$$k = \frac{C_P}{C_V} = \frac{c_p}{c_v} ,$$

kde C_p je molární tepelná kapacita při stálém tlaku, C_V je molární tepelná kapacita při stálém objemu, c_p je měrná tepelná kapacita při stálém tlaku a c_v je měrná tepelná kapacita při stálém objemu.[5]

7.1 Měření Poissonovy konstanty Clement - Desormesovou metodou (obr. 7.1)

Pomůcky :

1. nádoba objemu řádově 10^{-2} m^3
2. dva kohouty (K_1 a K_2)
3. otevřený manometr s milimetrovou stupnicí
4. skleněné trubičky, gumové hadičky,

5. balónek od rozprašovače

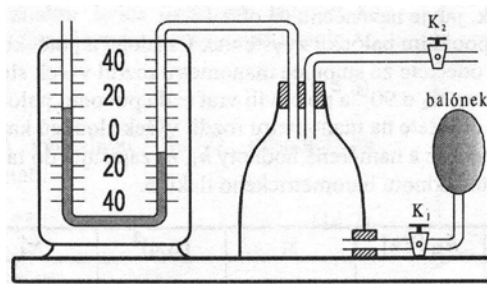
6. obarvená voda jako náplň do manometru (voda s inkoustem)

Teorie :

Měrná tepelná kapacita plynu závisí na podmínkách, ve kterých je soustava při předávání tepla.

Při měření měrných tepelných kapacit pevných a kapalných látek se obvykle zjišťuje měrná tepelná kapacita při stálém tlaku c_p , která se vzhledem k malé roztažnosti a stlačitelnosti těchto látek většinou příliš neliší od hodnoty měrné tepelné kapacity c_v , měřené při stálém objemu.

Jinak je tomu u plynů, kde se vzrůstem teploty dochází k výrazným změnám objemu. Tento poměr měřených tepelných kapacit lze měřit.



obr.7.1

Clement-Desormesovou metodou, která je založena na adiabatické expanzi plynu.

Nádoba je spojena s kapalinovým manometrem a je opatřena dvěma kohouty a balónkem. Balónek slouží k zvýšení tlaku v nádobě. Po nastavení tlaku vyššího než je tlak barometrický se kohoutkem K_1 odpojí od nádoby balónek. Po vyrovnání teploty lze odečíst na manometru přetlak plynu z rozdílu výšek sloupců kapaliny h_1 . Potom při dostatečně rychlém otočení kohoutku K_2 o 180° plyn expanduje z nádoby do okolního prostoru tak, že se tlak plynu adiabaticky vyrovná s tlakem atmosférickým. Při této expanzi se plyn ochladí. Po uzavření kohoutku se teplota plynu opět vyrovná na teplotu okolí. Přitom tlak plynu v nádobě stoupne. Na manometru je možné odečíst vzniklý přetlak plynu z rozdílu výšek sloupců hladin h_2 . Vztah mezi počátečním a konečným stavem plynu představuje izotermickou změnu. Děj při expanzi je adiabatický. Z příslušných rovnic pro tyto děje lze získat výraz pro výpočet Poissonovy konstanty.

$$k = \frac{\log(b + h_1 \rho g) - \log b}{\log(b + h_1 \rho g) - \log(b + h_2 \rho g)},$$

Kde b je barometrický tlak, ρ je hustota vzduchu a g je tíhové zrychlení.

Vzhledem k tomu, že tlak $h_1 \cdot \rho \cdot g$ je řádově $10^{-2} b$, je možné upravit rovnici a konstantu κ určovat pouze na základě změřených rozdílů výšek h_1 a h_2 ze vztahu:

$$\kappa = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$$

Postup měření Poissonovy konstanty

- Sestavte aparaturu tak, jak je naznačeno na obr.7.1.
- Otevřete kohoutek K_1 , smáčknutím balónku zvyšte tlak v nádobě a poté kohoutek uzavřete.
- Po vyrovnaní teploty odečtete ze stupnice manometru rozdíl výšek sloupců hladiny h_1 .
- Rychle otočte kohoutkem K_2 o 90° a po chvíli vraťte do původní polohy.
- Po vyrovnaní teploty odečtete na manometru rozdíl výšek sloupců kapaliny h_2 .
- Měření provádíme desetkrát a naměřené hodnoty zapisujeme do tabulky předem připravené.[3]
-

Tabulka 2 - naměřené hodnoty k určení Poissonovy konstanty

Číslo měření	h_1 [cm]	h_2 [cm]	κ	κ	$\nu (\kappa)$
1	9,20	1,20	1,15	1,17	0,01
2	9,30	1,00	1,12	xxxxx	xxxxx
3	9,20	1,30	1,16	xxxxx	xxxxx
4	7,30	0,90	1,14	xxxxx	xxxxx
5	4,60	0,60	1,15	xxxxx	xxxxx
6	4,30	0,50	1,13	xxxxx	xxxxx
7	5,00	0,80	1,19	xxxxx	xxxxx
8	9,30	1,40	1,18	xxxxx	xxxxx
9	9,00	1,40	1,18	xxxxx	xxxxx
10	6,40	1,30	1,25	xxxxx	xxxxx

$$K = (1,17 \pm 0,01)$$

7.2 Siméon Denis Poisson (obr. 7.2)

Siméon Denis Poisson (21. červen 1781 – 25. duben 1842) byl francouzský matematik, astronom a fyzik.

Narodil se v Pithiviers ve Francii. V roce 1798 nastoupil na École Polytechnique v Paříži. Díky svému nadání začal brzy spolupracovat s význačnými vědci té doby, jako byli např. Joseph Louis Lagrange nebo Pierre Simon Laplace. V roce 1806 se stal profesorem a nastoupil na místo Fouriera, kterého Napoleon poslal do Grenoble. V roce 1817 se oženil s Nancy de Bardi. Během Velké francouzské revoluce se nezajímal o politiku. V roce 1821 mu byl udělen titul baron, který však nikdy nepoužíval. Zemřel v Sceaux. [5] [4]



obr. 7.2

8 Gravitační konstanta

8.1 Měření univerzální gravitační konstanty

Gravitace je základní interakcí zodpovědnou za pohyb planet, hvězd a galaxií. Podstatnou měrou ovlivňuje charakter struktur ve vesmíru. Gravitace působí na všechna tělesa bez výjimky a je tak jedinou skutečně univerzální interakcí. Vliv gravitace na planety poprvé pozoroval Tycho Brahe. Z jeho pečlivých měření poloh zformuloval Johannes Kepler tři zákony nebeské mechaniky týkající se pohybu planet. Objevil, že planety se pohybují po elipsách, v jejichž ohnisku je Slunce, zjistil, že planety se blíže ke Slunci pohybují rychleji než ve větších vzdálenostech a našel vztah mezi oběžnou dobou planety a poloměrem její dráhy. Obecný gravitační zákon zformuloval ale až sir Isaac Newton (obr. 8.1) v roce 1678: Síla působící na dvě tělesa je přímo úměrná součinu jejich hmotností a nepřímo úměrná kvadrátu jejich vzdálenosti:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Konstanta úměrnosti G v tomto zákonu se nazývá univerzální gravitační konstanta a její hodnota je jediným parametrem charakterizujícím gravitační interakci.



Obr. 8.1 Sir Isaac Newton podle pověsti přemýšlí v sadu nad otázkou proč padá jablko.

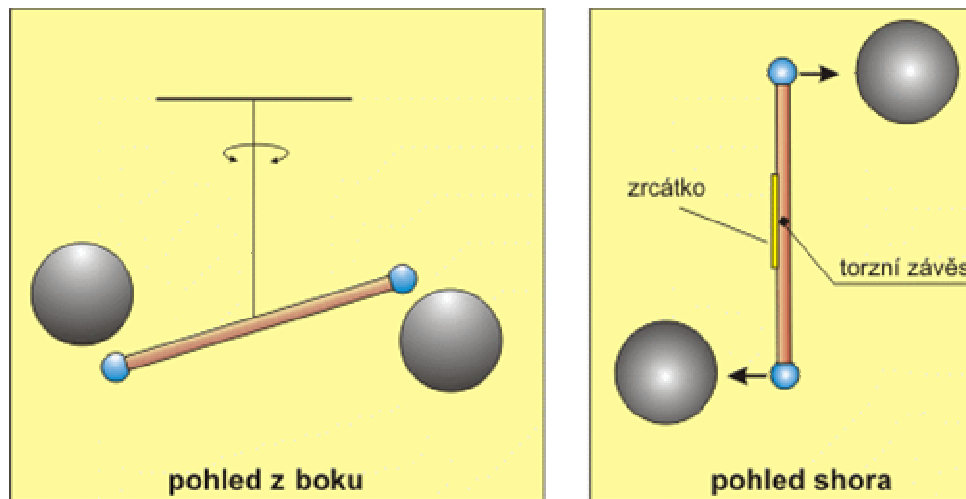
Gravitační interakce působí skutečně na všechna tělesa bez rozdílu. Pro elementární částice je ale neporovnatelně menší než ostatní interakce. Například gravitační přitahování dvou protonů je 10^{36} krát slabší než jejich elektrostatické odpuzování. Proto má gravitační působení význam až u větších těles, která jsou již elektricky neutrální a krátkodosahové interakce (slabá a silná) se neuplatňují.[4]

8.2 Cavendishova měření pomocí torzního kyvadla (obr. 8.2)

První měření gravitační konstanty provedl v roce 1798 Henry Cavendish v experimentu s torzním kyvadlem, který se zapsal zlatým písmem do dějin fyziky. Experiment původně navrhl John Michell (1724-1793), sám sestrojil měřicí zařízení, ale zemřel dříve než mohl experiment uskutečnit. Po jeho smrti získal aparaturu Francis John Hyde Wollaston, který ji věnoval Cavendishovi. Ten ji přestavěl a provedl řadu pečlivých experimentů, které umožnily první změřeni gravitační konstanty.

Jak zařízení vypadalo? Šlo o dřevěnou tyč dlouhou 180 cm, na obou koncích opatřenou malými kovovými koulemi. Tyč byla vodorovně zavěšena na svisle upevněném vlákne. Takovéto zařízení se nazývá torzní váhy a je schopno torzně kmitat na vlastní frekvenci kolem rovnovážné polohy. Vratnou silou je kroučící moment ve vlákne. Silový moment potřebný ke stočení vlákna o daný úhel je úměrný čtvrté mocnině poloměru vlákna. Pro

tenká vlákna proto stačí ke stočení nepatrná síla. Cavendish do blízkosti malých koulí přiložil velké olověné koule (každá o hmotnosti 160 kg) a pomocí malého dalekohledu měřil změnu rovnovážné polohy torzních kmitů (stočení vlákna způsobené gravitací): Z naměřeného úhlu potom vypočetl hodnotu gravitační konstanty.



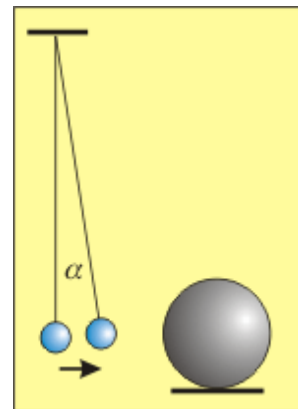
obr. 8.2 Schéma Cavendishova experimentu. Na zrcátko byl poslán světelný (později laserový) paprsek, z jehož stopy na stupnici se odečetlo stočení rovnovážné polohy.

Po změření gravitační konstanty je možno určit z tíhy olověné koule (síly, kterou je přitahováno Zemí) hmotnost Země. Proto tento experiment vešel do dějin pod názvem "vážení Země". Cavendishovi vyšla hodnota gravitační konstanty $G = 6,75 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2$ a hodnota hmotnosti Země $5,90 \times 10^{24} \text{ kg}$. Jeho výpočty byly zpřesněny až ve 20. století. V současnosti je nejlepší odhad hmotnosti Země asi 5,973 zettatun (tedy $5,973 \times 10^{24} \text{ kg}$), což se od Cavendishova výpočtu odlišuje jen asi o 1 %.[4]

8.3 Další metody měření

8.3.1 Odklon od svislice (obr. 8.3)

Další metoda měření gravitační konstanty (a tím hmotnosti a průměrné hustoty Země) spočívá v měření úhlu mezi svislicí a volně zavěšeným tělesem vychýleným ze svislé polohy gravitačním působením dalšího velkého tělesa, například olověné koule. Bohužel úhel, o který se zavěšené těleso vychýlí, je tak malý, že je tato metoda v praxi nepoužitelná. V laboratorních podmínkách totiž není možné použít dostatečně hmotné těleso, které by způsobilo výchylku o měřitelný úhel. Modifikací této metody se



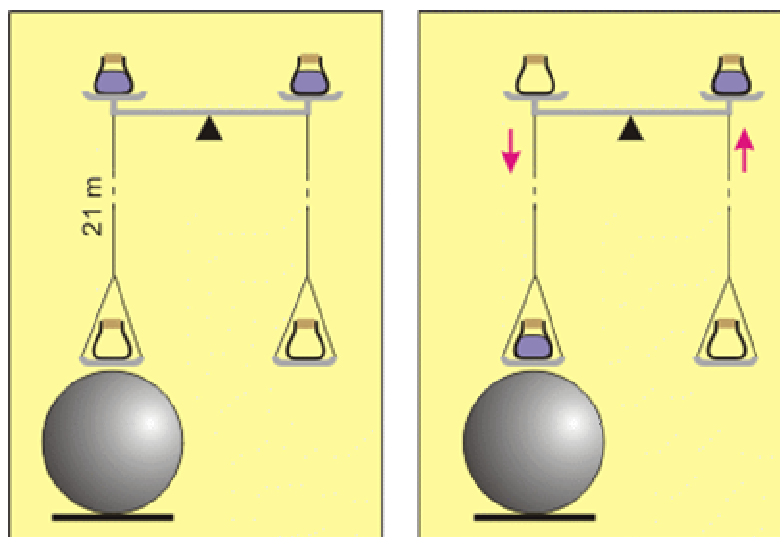
obr. 8.3

roku 1738 pokusil změřit velikost gravitační konstanty Pierre Bouguer, francouzský geofyzik. Místo olověné koule použil celou horu. Na úpatí hory Chimborasso, která stojí osamocena v krajině, naměřil úhel $7,5''$ což ho vedlo k závěru, že Země je 22 krát hustější než voda. Tento výsledek by sice v současné době neobstál, avšak byl velice důležitý z jiného důvodu. Ukázal, že Země není homogenní a že povrchové vrstvy mají nižší hustotu. Dalšími, kdo vylepšili tuto metodu byli Nevil Maskelyne a Charles Hutton. Roku 1774 zřídili dvě měřicí stanice na stejném poledníku u skotského hřebenu Schiehallion. Kdyby na závaží, použitá v experimentu, nepůsobila žádná síla vyvolaná masivem, tak by na jižním i severním svahu naměřili stejný směr svislice vzhledem ke hvězdám. Avšak mezi měřenými úhly byla odchylka $15''$. Problémem u těchto druhů měření však bývá zjistit rozměry a hustotu kopce či hory, u kterého se tyto pokusy provádí. Oba experimentátoři měřili u masivu celé dva roky a nakonec odhadli průměrnou hodnotu hustoty kopce na $2,5 \text{ g/cm}^3$. Tak došli k závěru, že hustota Země je $4,5 \div 5 \text{ g/cm}^3$. [4]

8.3.2 Jollyho váhy (obr. 8.4)

Philipp von Jolly byl dalším, kdo v letech 1879 až 1880 měřil gravitační konstantu. Experiment uskutečnil ve věži univerzitní budovy v Mnichově. Ke svému pokusu si vybral speciální váhy, které umístil uvnitř věže. Pod každou miskou bylo lanko s další (dolní) miskou vzdálenou 21 m. V první fázi byly váhy v rovnováze, v horních miskách

byly baňky s 5 kg rtuťi, v dolních baňky prázdné. Dolní baňky byly identické s horními a měly za účel vyloučit vztlakové síly. Pod jednou dolní miskou byla umístěna olověná koule o průměru 1 m a hmotnosti 5 775 kg. Lze předpokládat, že v této fázi experimentu na rtuť vzdálenou 21 metrů koule gravitačně nepůsobila. V druhé fázi se baňka se rtuťí vyměnila s prázdnou baňkou tak, aby na rtuť působila gravitačně olověná koule a z výchylky vahadla sledované pomocí odrazu paprsku od zrcátka na vahadle Jolly určil hodnotu gravitační konstanty. Bohužel je tato metoda náchylná na vnější vlivy (zejména změnu teploty, vzdušné proudy, atd.). Zlepšení experimentu provedl John Henry Poynting v roce 1891, který umístil olověnou kouli na otočnou desku, čímž byla umožněna snazší manipulace a koule tak mohla být pohodlně přesunuta pod obě dolní misky.



obr. 8.4 Schématické znázornění Jollyho experimentu. Nalevo: první fáze experimentu. Napravo: Vychýlení ramena vah po přehození baněk.

8.4 Současnost

Zpřesňování měření univerzální gravitační konstanty probíhá samozřejmě až do současnosti. Většina měření využívá výše popsané metody, nejčastěji se používá různě modifikovaného Cavendishova experimentu. V roce 1930 byla navržena *rezonanční metoda* J. Zahradníčkem z Československa. Váhy s velmi hmotnými tělesy na miskách jsou umístěny v blízkosti prázdných testovacích vah, které jsou upraveny tak, aby měly stejnou frekvenci. Testovací váhy se rezonančně rozkmitají a z amplitudy kmitů je

možné určit gravitační konstantu. K přesnému měření gravitační konstanty použil navržené zařízení C. Pontikis z Francie v roce 1972.

Měření gravitační konstanty je mimořádně obtížné. Jde o interakci, která je v porovnání s elektromagnetickou interakcí velmi slabá. Nejčastěji používaná Cavendishova metoda (s torzním kyvadlem) je zatížena chybou způsobenou velkým rozdílem mezi hmotností torzního kyvadla a hmotností koule, která gravitačně stáčí jeho rovinu. Díky značnému rozptylu měření z posledních 10 let, jehož podstatu se nepodařilo objasnit, přistoupil mezinárodní výbor Committee on Data for Science and Technology ke zvýšení udávané relativní chyby z hodnoty $1,28 \times 10^{-5}$ na hodnotu $1,5 \times 10^{-4}$. Stalo se tak v roce 1999, dvě stě let po provedení Cavendishova experimentu. Gravitační konstanta je dnes určena s nejmenší přesností ze všech fundamentálních konstant. NIST (National Institute of Standards and Technology) udává poslední hodnotu z roku 2002, a to $G = (6,6742 \pm 0,0010) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$ s relativní přesností $1,5 \times 10^{-4}$. [4]

8.5 Henry Cavendish (obr.8.5)

Henry Cavendish (10. října 1731 - 24. února, 1810) byl britský fyzik a chemik.

Studoval v letech 1749 až 1753 na univerzitě v Cambridge, avšak nezískal univerzitní diplom. Ve studiu přírodních věd mohl pokračovat díky velkému dědictví; během jeho života byla však publikována jen malá část jeho prací.

Cavendish byl tichý samotář, byl považován za poněkud výstředního, a kromě své rodiny nenavazoval blízké vztahy.

Vypráví se, že ve svém domě měl zadní schodiště, které používal, aby se vyhnul své hospodyně, neboť se cítil nesvůj ve společnosti žen. V důsledku své povahy často nepublikoval výsledky své práce, a řadu svých závěrů nesdělával ani svým spolupracovníkům. Teprve po jeho smrti, koncem 19. století, jeho práce studoval James Clerk Maxwell který zjistil, že zásluhy za objevy, které učinil Cavendish, si mezitím připsali jiní vědci. K těmto objevům patří např. Ohmův zákon, Daltonův zákon parciálních tlaků nebo podstata elektrické vodivosti.

Zanechal po sobě značný majetek, který byl v roce 1871 použit k založení a vybavení ústavu „Cavendish Laboratory“ na univerzitě v Cambridge. [5]



obr.8.5

8.6 George Biddell Airy (obr.8.6)

George Biddell Airy, (1801-1892), anglický fyzik a královský astronom. V roce 1819 nastoupil do Trinity College v Cambridge a protože neměl peníze, pracoval jako služebník. Ukončil studium jako nejlepší student ročníku a získal Smithovu cenu. Pouhé tři roky po ukončení studií byl jmenován profesorem matematiky v Cambridge. V roce 1835 se stal královským astronomem a přestěhoval se do Greenwich.



obr.8.6

Vydal soubor 13 knih, ve kterých se věnoval například: teorii chyb a měření, parciálním diferenciálním rovnicím, gravitaci a trigonometrii. V roce 1845 se stal prezidentem královské astronomické společnosti. Byl všestranně zaměřeným vědcem, mezi jeho záliby patřila například poezie, historie, teologie, antika, architektura, geologie nebo strojírenství. Mezi kolegy nebyl příliš oblíbený, vyžadoval přísný řád, byl sarkastický a velice zarputilý. Mezi jeho dlouholeté spolupracovníky patřil například Charles Babbage. Jeho jméno nesou dva krátery; jeden na Měsíci a druhý na Marsu.

8.7 Charles Hutton (obr.8.7)

Charles Hutton, (1737-1823), anglický matematik. V sedmi letech si při nešťastné potyčce mezi dětmi vykloubil rameno. Tenkrát mu bohužel lékaři nedokázali pomoci a tak zůstal na jednu ruku nemohoucí. Po této příhodě jeho rodiče rozhodli, že když nemůže pracovat manuálně, půjde na studia. V roce 1760 otevřel matematickou školu v Newcastleu. K jeho radosti se k němu přihlásilo několik dětí. Byl velmi úspěšný pedagog a posléze nastoupil na místo podpořené stipendiem na univerzitě v Eddinburgu. Potkal se tam s Nevilem Maskelynem a spolu uskutečnili měření gravitační konstanty, potažmo hustoty Země. Královská společnost mu udělila medaili a později se stal jejím sekretářem.



obr.8.7

8.8 Nevil Maskelyne (obr.8.8)

Nevil Maskelyne, (1732-1811), anglický astronom. V dětství přišel o oba rodiče. Jeho další životní osud ovlivnilo zatmění Slunce 25. července 1748, při kterém si uvědomil, co ho vlastně baví. Roku 1749 nastoupil na univerzitu v Cambridge, kde úspěšně obhájil

v roce 1754 titul. O pět let později ho vyslala královská společnost na ostrov sv. Heleny, aby provedl pozorování přechodu Venuše přes sluneční kotouč. Výsledky byly velice důležité, neboť se tak podařilo určit rozměry sluneční soustavy. Jeho kniha s názvem „*The British Mariner's Guide*“ z roku 1763 pojednává o měření vzdálenosti Měsíce od Země. O dva roky později se stal královským astronomem. Roku 1772 navrhl postup, jak změřit hustotu Země. V roce 1774 s kolegou Charlesem Huttonem uskutečňuje měření, za které dostává medaili královské společnosti.



obr.8.8

8.9 Philipp Johann Gustav von Jolly

Philipp Johann Gustav von Jolly, (1809-1884), německý fyzik, který se narodil v Meinheimu. Jeho rodina emigrovala na konci 17. století z Francie. Vystudoval matematiku a fyziku na univerzitě v Heildelbergu. Po krátkém období ve Vídni působil opět v Heildelbergu a od roku 1854 na univerzitě v Mnichově. Základem jeho práce byla experimentální fyzika. Navrhl řadu nových přístrojů. Zabýval se studiem osmózy, problémů gravitace, pokusil se určit hustotu Země, gravitační konstantu, složení vzduchu, atd. V roce 1864 navrhl speciální váhy, jejichž podstatou byly dvě misky zavěšené na svislé pružině. Tyto Jollyho váhy sloužily k měření hustoty těles, jedna z misek obsahovala kádinku s vodou a těleso se vážilo jak na vzduchu, tak nadlehčované vodou. Zkonstruoval eudiometr na měření objemového složení vzduchu, Jollyho teploměr a vylepšil rtuťovou vodní pumpu. Byl všestranně činným experimentátorem.

9 Tíhové zrychlení

Tíhové zrychlení g znamená zrychlení ve vakuu volně padajícího tělesa v určitém místě tíhového pole planety. Tíhové zrychlení je totožné s intenzitou tíhového pole v témže místě. Normální tíhové zrychlení g_n má hodnotu

$$g_n = 9,80665 \text{ m.s}^{-2}$$

Tíhové zrychlení g je rovno vektorovému součtu intenzit všech gravitačních polí v daném místě a v témže okamžiku působících na těleso a zrychlení unášivého (inklusivně odstředivého), způsobeného pohybem planety.

Pečlivě je nutno rozlišovat pojmy tíhové zrychlení a gravitační zrychlení. Gravitační zrychlení, jež je totožné s intenzitou gravitačního pole, způsobují jen gravitační síly. Tíhové zrychlení má na povrchu Země různé hodnoty. Největší je na pólu ($9,932 \text{ m.s}^{-2}$), nejmenší na rovníku ($9,780 \text{ m.s}^{-2}$).

Se stoupající výškou nad povrchem Země se zmenšují hodnoty tíhového zrychlení asi o $0,03 \text{ m.s}^{-2}$ na 1 km výšky. S rostoucí hloubkou (pod povrchem Země) se zmenšují hodnoty asi o $0,0015 \text{ m.s}^{-2}$ na 1 km hloubky.

Hodnota $g_n = 9,80665 \text{ m.s}^{-2}$ byla přijata na 2. generální konferenci vah a měř v roce 1901.[1]

9.1 Etalon tíhového zrychlení

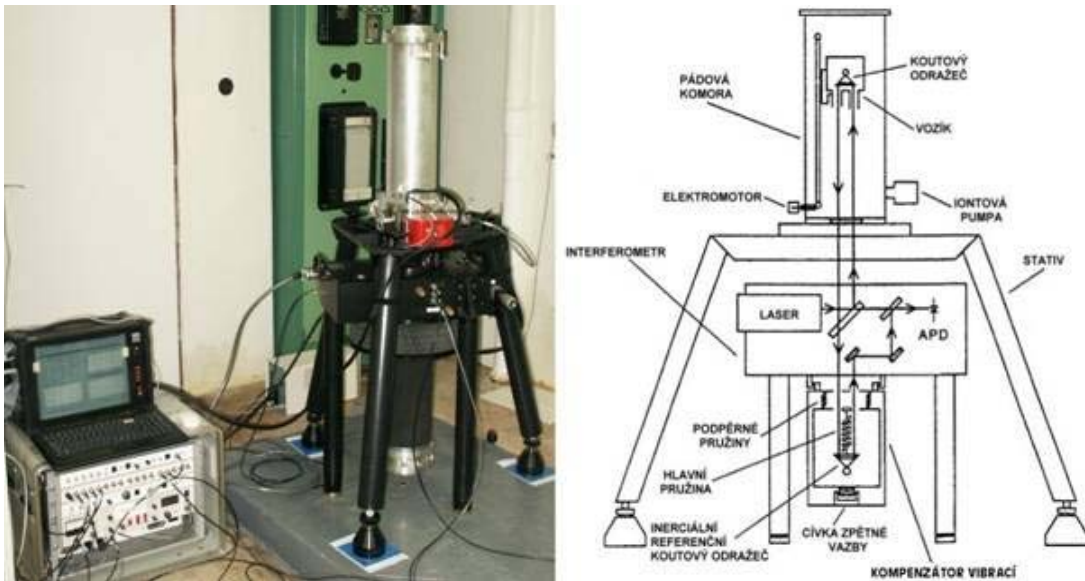
V souladu s koncepcí rozvoje národního metrologického systému ČR (úkol 4.4.20, vypracovat dokumentaci, požadovanou pro státní etalony a vyhlásit státní etalon pro obor gravimetrie - parametr tíže) byly provedeny příslušné práce na přípravě schválení státního etalonu tíhového zrychlení.

Potřeba zřízení navrženého etalonu je dána požadavkem na zabezpečení přenosu jednotky tíhového zrychlení na pracovní měřidla (relativní gravimetry) v ČR. Relativní gravimetry jsou používány pro budování a údržbu státní gravimetrické sítě, gravimetrické mapování, pro geofyzikální průzkum a pro vědecký (geodynamický) výzkum.

Navrhovaným etalonem je absolutní gravimetr FG5 v.č. 215, který je jediným absolutním gravimetrem v ČR. Gravimetry typu FG5 jsou v současnosti nejpřesnějšími absolutními gravimetry.

Pro absolutní měření tíhového zrychlení se v současnosti používají téměř výhradně absolutní balistické gravimetry, které určují tíhové zrychlení z měření délky a času při pohybu tělesa ve vakuu. Nejpřesnějšími balistickými gravimetry (relativní nejistota $2-3 \times 10^{-9}$) jsou v současnosti gravimetry FG5, které jsou výsledkem téměř 40 letého výzkumu započatého prof. Fallerem z University of Colorado a jsou vyráběny firmou Micro-g Solutions, Inc..

Popis etalonu

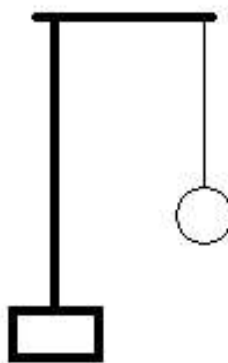


obr.9.1

Princip měření absolutního gravimetru FG5 v.č. 215 (obr.9.1) je založen na určení zrychlení volného pádu tělesa ve vakuu. Trajektorie volného pádu testovacího tělesa ve vakuu se měří laserovou interferometrií. Přiřazením času ke vzniklým interferenčním proužkům je pozice volně padajícího tělesa měřena jako funkce času a zrychlení volného pádu. K volnému pádu testovacího tělesa dochází uvnitř vzduchoprázdňé pádové komory. Dráha volného pádu je asi 0,20 m. Testovacím tělesem je koutový odražeč, který je umístěn uvnitř vozíku, jehož pohyb je řízen pomocí elektromotoru. Vakua je v pádové komoře dosahováno ve dvou krocích. Pro dosažení tlaku 10^{-3} Pa je používána dvoustupňová vakuová pumpa, jejíž první stupeň je tvořen membránovou a druhý stupeň nízkotlakou turbomolekulární pumpou. Po vyčerpání pádové komory na tlak 10^{-3} Pa je vakuová pumpa odpojena a spuštěna iontová pumpa. Iontová pumpa elektrostaticky odsává zbývající molekuly plynů a vytváří tak tlak 10^{-4} Pa, který je udržován po celou dobu měření.[6]

9.2 Měření tíhového zrychlení matematickým kyvadlem (obr. 9.2)

Matematické kyvadlo je zjednodušený model fyzického kyvadla. Je to hmotný bod upevněný na konci přímého vlákna délky L , jehož hmotnost je zanedbatelná a jehož druhý konec je zavěšen v pevném bodě. Toto kyvadlo se otáčí kolem vodorovné osy procházející závěsem působením vlastní tíhy a přitom na ně nepůsobí žádné disipativní síly.[3]



obr. 9.2

Použité přístroje a pomůcky

- Závažičko, nit, stopky, dřevěné měřítko dělené na milimetry, nůžky.

Teorie

Tíhové zrychlení je zrychlení, které uděluje tíhová síla hmotnému bodu o určité hmotnosti v daném místě na povrchu Země. Směr vektoru tíhové síly určuje svislý směr.

Velikost normálního tíhového zrychlení je $9,80661 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Obecně závisí tíhové zrychlení také na zeměpisné šířce a ne všude nabývá normální hodnoty (např. oba zemské póly).

Tíhové zrychlení můžeme měřit z volného pádu, z doby kyvu matematického kyvadla a z doby kyvu reverzního kyvadla.

Matematickým kyvadlem rozumíme hmotný bod zavěšený na vlákně, zanedbatelné hmotnosti. My jsme ho realizovali stojánkem s nití, na které bylo zavěšena kovová kulička.

Pro dobu kmitu matematického kyvadla platí vztah:

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

kde l je délka závěsu, g je tíhové zrychlení

Déla závěsu l od uchycení po těžiště tělesa se obtížně zjišťuje přímým měřením, proto určíme doby

kmitu pro dvě délky závěsu. Platí proto vztahy:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l_1}{g}} \quad T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{l_2}{g}}$$

Kvůli přesnosti jsme měřili dobu deseti kmitů a celkem desetkrát pro každou vzdálenost závěsu.

Výsledek měření

Podle výše uvedené teorie jsme sestavili matematické kyvadlo a umístili vážené těleso. Změřili desetkrát dobu kyvu pro jednu i druhou délku závěsu. Naměřené hodnoty jsme zapisovali do následující tabulky hodnot.

Tabulka 3 - naměřené hodnoty k určení tíhového zrychlení

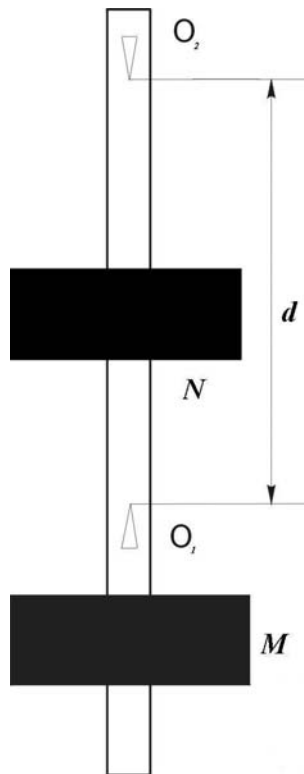
č.m.	T_1 [s]	l_1 [mm]	T_2 [s]	l_2 [mm]	d [mm]	g [m.s^{-2}]	g [m.s^{-2}]	$\checkmark g$ [m.s^{-2}]
1	1,02	217	1,29	367	150	9,49	10,11	0,001
2	1,04	217	1,30	367	150	9,73	xxxxx	xxxxx
3	1,06	217	1,28	367	150	11,51	xxxxx	xxxxx
4	1,02	217	1,26	367	150	10,82	xxxxx	xxxxx
5	1,00	217	1,27	367	150	9,66	xxxxx	xxxxx
6	1,02	217	1,28	367	150	9,91	xxxxx	xxxxx
7	1,04	217	1,26	367	150	11,71	xxxxx	xxxxx
8	1,02	217	1,30	367	150	9,12	xxxxx	xxxxx
9	1,00	217	1,28	367	150	9,28	xxxxx	xxxxx
10	1,02	217	1,28	367	150	9,91	xxxxx	xxxxx

$$g = (10,11 \pm 0,001) [\text{m.s}^{-2}]$$

9.3 Měření tíhového zrychlení reverzním kyvadlem (obr.9.3)

Pomůcky:

reverzní kyvadlo, stopky, milimetrové měřítko, metr.



obr. 9.3

Teorie:

Převratné (reverzní) kyvadlo je tyč asi 105 cm dlouhá s dvěma břity O_1 , O_2 obrácenými ostřím k sobě. Po tyči se dají posouvat dvě závaží M a N ve tvaru čoček nebo válců. Závaží lze uvést do takové polohy, že doba kyvu kyvadla kývajícího kolem osy O_1 je stejná jako doba kyvu kolem osy O_2 . V tomto případě je vzdálenost $O_1 O_2 = d$ redukovaná délka kyvadla. Je-li t příslušná doba kyvu, je

$$t = \pi \sqrt{\frac{d}{g}}$$

takže

$$g = \pi^2 \frac{d}{t^2}$$

Chybu měření spočítáme pomocí vztahu:

$$v = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n - 1)}}$$

Pokusné hledání polohy čoček by bylo zdlouhavé, a proto vhodnou polohu hledáme graficky. Čočku N umístíme asi doprostřed mezi obě osy a dále její polohu neměníme. Jestliže pak posunujeme čočku M od konce tyče směrem k O_1 , pak doba kyvu T kyvadla kývajícího kolem osy O_1 klesá rychleji než doba kyvu t kyvadla kývajícího kolem osy O_2 . Najdeme správnou polohu $t = T = \tau$ [3]

Tabulka 4 - naměřené hodnoty k určení tíhového zrychlení

	d [cm]	t_1 (10kyvů)	t_2 (10kyvů)	T_1 [s]	T_2 [s]	g_1 [m.s ⁻²]	g_2 [m.s ⁻²]
1	105,28	18,70	21,20	1,978	2,029	9,90	9,91
2	105,32	20,30	19,10	1,991	2,033	9,78	9,88
3	105,40	19,30	18,40	1,982	2,027	9,85	9,95
4	105,23	18,90	16,70	1,985	2,048	9,83	9,73
5	105,36	19,40	15,80	1,979	2,035	9,89	9,85
Σ	526,59	96,60	91,20	9,92	10,17	49,24	49,31
\bar{R}	111,10	19,83	20,35	1,98	2,03	9,85	9,86
$\bar{\vartheta}$	0,13	0,05	0,06	0,05	0,06	0,10	0,12

$$g = (9,87 \pm 0,10) \text{ [m.s}^{-2}\text{]}$$

10 Závěr

Tato bakalářská práce je rozdělena na dvě části.

První část bakalářské práce lehce vysvětluje význam konstanty a šířeji se zabývá historií fyziky, jejími vědci, kteří se nejvíce podíleli na rozvoji této vědy.

Druhá a hlavní část této práce je zaměřená se na vybrané konstanty, jejich vznik, měření v praxi, vývoj v čase a tím samozřejmě přesnějším měřením na desetinná místa.

11 Seznam obrázků

Obrázek 1.1 Aristotelés.....	11
Obrázek 1.2 Archimédés	12
Obrázek 1.3 Galileo Galilei	12
Obrázek 1.4 Isaac Newton	13
Obrázek 1.5 Leonhard Paul Euler.....	13
Obrázek 1.6 William Rowan Hamilton	14
Obrázek 1.7 Pierre Simon de Laplace.....	14
Obrázek 1.8 Joseph-Louis Lagrange.....	15
Obrázek 1.9 Charles-Augustin de Coulomb	15
Obrázek 1.10 Alessandro Volta	16
Obrázek 1.11 André Marie Ampère	17
Obrázek 1.12 Michael Faraday.....	18
Obrázek 1.13 James Clerk Maxwell	19
Obrázek 1.14 Heinrich Rudolf Hertz	20
Obrázek 1.15 Wilhelm Conrad Röntgen.....	21
Obrázek 1.16 Antoine Henri Becquerel.....	21
Obrázek 1.17 Joseph John Thomson.....	22
Obrázek 1.18 - 19 Piere a Marie Curie-Skłodovská.....	23
Obrázek 1.20 Albert Einstein.....	24
Obrázek 1.21 Niels Henrick David Bohr.....	24
Obrázek 1.22 Werner Heisenberg.....	25
Obrázek 1.23 Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger.....	26
Obrázek 1.24 Paul Adrien Maurice Dirac.....	26
Obrázek 1.25 John von Neumann.....	27
Obrázek 1.26 Richard Phillips Feynman.....	28
Obrázek 1.27 Julian Seymour Schwinger.....	29
Obrázek 3.1 Fizeauv experiment.....	34
Obrázek 3.2 Michelson-Morleyovův experiment.....	35
Obrázek 4.1 Ludwig Boltzmann.....	36
Obrázek 5.1 Amedeo Avogadro.....	38
Obrázek 5.2 Johann Josef Loschmidt.....	39
Obrázek 6.1 Výkonové váhy.....	40
Obrázek 6.2 Hallův jev.....	41
Obrázek 6.3 Max Karl Ernst Ludwig Planck.....	41
Obrázek 7.1 Clement-Desormesova metoda.....	43
Obrázek 7.2 Siméon Denis Poisson.....	45
Obrázek 8.1 Padající jablko.....	46

Obrázek 8.2 Schéma Cavendischova experimentu.....	47
Obrázek 8.3 Odklon od svislice.....	48
Obrázek 8.4 Jollyho experiment.....	49
Obrázek 8.5 Henry Cavendish.....	50
Obrázek 8.6 George Bidell Airy.....	51
Obrázek 8.7 Charles Hutton.....	51
Obrázek 8.8 Nevil Maskelyne.....	52
Obrázek 9.1 Etalon na měření tíhového zrychlení.....	54
Obrázek 9.2 Matematické kyvadlo.....	55
Obrázek 9.3 Reverzní kyvadlo.....	57

12 Seznam tabulek

Tabulka 1: Fyzikální konstanty.....	29
Tabulka 2: naměřené hodnoty k určení Poissonovy konstanty	44
Tabulka 3: naměřené hodnoty k určení tíhového zrychlení.....	56
Tabulka 4: naměřené hodnoty k určení tíhového zrychlení.....	58

13 Seznam použité literatury

- [1] Šindelář, V., Smrž, L.,: Nová soustava jednotek. SPN 1989.
- [2] Augusta, P., Klůna, J.,: Tajemství přesnosti. Albatros 1983.
- [3] Stach, V., Špulák F.,: Fyzikální praktikum I, skriptum. PF ČB 2002

14 Seznam použitých internetových stránek

- [4] www.aldebaran.cz
- [5] www.vikipedie.cz
- [6] www.cmi.cz
- [7] www.converter.cz