

Daniel Mayer

POHLEDY DO MINULOSTI ELEKTROTECHNIKY



Pohledy do minulosti elektrotechniky


OBJEVY

MYŠLENKY

VYNÁLEZY

OSOBNOSTI

Daniel Mayer

 nakladatelství
České Budějovice, 2004

Pohledy do minulosti elektrotechniky

© Prof. Ing. Daniel Mayer, DrSc., 2004–2025

První vydání knižní verze 2004

První vydání elektronické verze 2025

Vydalo nakladatelství KOPP,

Šumavská 3, 370 01 České Budějovice,

tel.: 386 460 474, 773 780 628

e-mail: knihy@kopp.cz;

Internet: www.kopp.cz

ISBN 80-7232-219-2 (print)

ISBN 978-80-7232-642-6 (pdf)

Všechna práva vyhrazena.

Žádná část této knihy nesmí být reprodukována, skladována ve vyhledávacím systému nebo předávána v jakékoli formě nebo jakýmkoli prostředkem elektronickým, mechanickým, fotokopírováním, nahráváním nebo jinak bez předchozího svolení vydavatele.

Následující text vznikl za přispění editora, grafika, sazeče, korektora a mnoha dalších. Všichni vám společně s autorem děkujeme za zakoupení této knihy.

Pokud jste se k textu dostali bez zaplacení a kniha se vám líbila, podpořte prosím vznik publikace zakoupením jedné kopie na

www.kopp.cz

Tuto knížku připisuji své ženě Marii

Pohledy do minulosti elektrotechniky

Děkuji svým přátelům za mnohé podněty a za jejich zájem, který projevovali o mou práci. Dále děkuji pracovníkům knihovny a archivu Národního technického muzea v Praze za laskavé poskytnutí některých podkladů. V neposlední řadě děkuji panu Ing. Pavlu Koppovi, řediteli nakladatelství, za výbornou spolupráci.

Plzeň, leden 2004

Daniel Mayer

Obsah

KAPITOLA 1	13
NĚKOLIK SLOV ÚVODEM	13
Jak chápat a proč studovat dějiny elektrotechniky	13
Naše myšlení je poplatné minulosti	14
Jak vznikají nové objevy	15
KAPITOLA 2	17
ÚSVIT ELEKTROTECHNIKY	17
2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy	17
První projevy elektřiny a magnetismu	17
První vědecké poznatky	20
Život a dílo Benjamina Franklina	33
Franklinovo zkoumání elektřiny	35
Život Prokopa Diviše	40
Divišův „meteorologický stroj“	42
Pokus o jednotnou teorii elektrických a magnetických jevů	44
První aplikace matematiky	45
2.2. Stejnoseměrné proudy	50
Život Luigi Galvaniho	50
Galvaniho „živočišná elektřina“	51
Život Alessandro Volty	53
„Voltův sloup“	55
Další vývoj galvanických článků	59
Objev termoelektřiny	62
Ohlasy na vynález Voltova sloupu	64
KAPITOLA 3	65
PŘEDKLASICKÁ ELEKTRODYNAMIKA	65
3.1. Souvislost elektřiny a magnetismu	65
Život Hanse Christiana Oersteda	66
Oersted: elektrický proud indukuje magnetismus	66
Oerstedovi pokračovatelé: Biot, Savart, Laplace	70

3.2. Ampèrova elektrodynamika	74
Život André Maria Ampèra.....	74
Ampèrovy objevy v elektromagnetismu.....	76
Ampèrovi pokračovatelé.....	82
3.3 Průmyslová revoluce.....	86
James Watt a jeho parní stroj	86

KAPITOLA 4 91

VZNIK KLASICKÉ ELEKTRODYNAMIKY..... 91

4.1. Michael Faraday – filozof experimentu	92
Život Michaela Faradaye	92
Faradayův objev elektromagnetické indukce	104
Faraday jako ideový tvůrce moderní elektrotechniky	108
Faraday jako zakladatel elektrochemie.....	109
Další Faradayovy objevy	110
4.2. Další průkopníci moderní elektrotechniky.....	112
Wheatstoneovy experimenty	112
Joseph Henry a jeho experimenty s elektromagnety	115
Další zkoumání indukčního zákona.....	118
4.3. Maxwellova teorie elektromagnetického pole	118
Život Jamese Clerka Maxwella	119
Rozbor vzniku Maxwellovy teorie elektromagnetického pole.....	126
Vliv Williama Thomsona na vznik teorie elektromagnet. pole	131
Ukázky Maxwellem používaných modelů, veličin a rovnic	132
Poznámka ke kvaternionovému počtu.....	136
Poznámky k Maxwellově osobnosti	137
4.4. Cesta k objevu elektromagnetických vln	139
Život Heinricha Hertze	140
Heinrich Hertz a elektromagnetické vlny	144
4.5. Dovršení teorie elektromagnetického pole	149
Život Olivera Heavisidea	149
Oliver Heaviside a teoretická elektrotechnika.....	151
Elektronová teorie a Lorentzova síla	156
4.6. Matematické teorie elektrických a magnetických jevů.....	158
Život Georga Greena	159
Matematická teorie elektřiny a magnetismu.....	161
4.7. Výroky významných osobností k teorii elektromagnetického pole .	164

KAPITOLA 5	169
POČÁTKY TEORIE ELEKTRICKÝCH OBVODŮ.....	169
5.1. Georg Simon Ohm – Ohmův zákon.....	169
Život Georga Simona Ohma.....	170
Ohmův zákon.....	172
5.2. Gustav Robert Kirchhoff – Kirchhoffovy zákony.....	174
Život Gustava Roberta Kirchhoffa.....	175
Kirchhoffovy zákony	177
5.3. Teorie dlouhého vedení (W. Thomson, O. Heaviside).....	179
Život Williama Thomsona	180
Dálkové elektrické vedení	183
5.4. Poznámky k dalšímu vývoji teorie obvodů.....	186
Princip superpozice.....	186
Komplexní reprezentace harmonických veličin	186
Heavisideův operátorový počet	188
Théveninova věta.....	188
Metoda smyčkových proudů.....	189
Metoda souměrných složek	189
Teorie čtyřpólů.....	189
Tensorová analýza elektrických obvodů.....	190
5.5. Z počátků české elektrotechnické terminologie.....	191
 KAPITOLA 6	 193
VÝVOJ ELEKTRICKÝCH MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ.....	193
6.1. Elektrostatické měřicí přístroje	193
6.2. Elektromagnetické měřicí přístroje.....	198
6.3. Měřicí přístroje s otočnou cívkou	204
6.4. Elektrodynamické měřicí přístroje.....	205
6.5. Počátky elektrických měřicích metod.....	209
 KAPITOLA 7	 211
DĚJINY SDĚLOVACÍ ELEKTROTECHNIKY	211
7.1. Přenos informace po vedení.....	211
Telegraf akustický, optický, elektrický.....	211
Život Wernera Siemense	222
Zakladatel německého elektrotechnického průmyslu.	224

Duplexní telegraf	227
Život Samuela Morse	229
Morseův telegraf	229
Rozvoj telegrafu	232
Telegraf v Čechách	233
Podmořské telegrafní kabely	234
Telefon	237
Bellův telefon	239
Grayův telefon	244
Uhlíkový mikrofon	245
Rozvoj telefonních sítí	246
Mechanický záznam zvuku: fonograf	249
Magnetický záznam zvuku	254
7.2. Bezdrátový přenos informace	256
Bezdrátová telegrafie	256
A. S. Popov – vynálezce radiotelegrafie	259
Guglielmo Marconi – průkopník radiotelegrafie	261
Popov nebo Marconi?	265
Radiotelegrafie	266
Další průkopníci radiotechniky: N. Tesla a J. Murgaš	269
Radiotelefonie, rozhlas	271
Televize	276
7.3 Revoluce v elektronice – polovodičové prvky	282
Objev tranzistoru	282
Integrované obvody – základ nových informačních technologií	285

KAPITOLA 8 **289**

DĚJINY SILNOPROUDÉ ELEKTROTECHNIKY..... **289**

8.1. Elektrické stroje	289
Vývoj fyzikálních principů stejnosměrných elektrických strojů	290
Střídavé točivé stroje a trojfázová rozvodná soustava – N. Tesla ..	306
Život N. Tesly	307
Teslův vynález asynchronního motoru	313
Přenos elektrické energie	320
8.2. Elektrické osvětlení.....	323
T. A. Edison: žárovka.....	323

Život T. A. Edisona	323
Žárovka	328
Další vynálezy T. A. Edisona	334
Lidský profil T. A. Edisona	337
František Křižík: obloukovka	340
Život Františka Křižíka	342
Plzeňská lampa	348
8.3. Počátky českého elektrotechnického průmyslu	352
Počátky elektrické trakce	355
Lidský profil Františka Křižíka	361
Další rozvoj českého elektrotechnického průmyslu	363
8.4. Výroky významných osobností	374

KAPITOLA 9 377

POČÁTKY ČESKÉ ELEKTROTECHNICKÉ

INŽENÝRSKÉ ŠKOLY 377

9.1. Tradice našeho inženýrského školství	378
Vynikající profesori: Josef Gerstner a Christian Doppler	380
9.2. Výuka na pražské polytechnice v polovině 19. století	389
9.3. Počátky výchovy elektrotechnických inženýrů	392
9.4. Vysoké školy strojního a elektrotechnického inženýrství mezi dvěma světovými válkami	401
9.5. Vědecká škola profesora Šimka	403
9.6. Elektrotechnická inženýrská škola v Brně	404
9.7. Výroky významných osobností	410

Literatura..... 411

Rejstřík..... 419

Jmenný rejstřík 424

*Ve vědě více než v kterémkoliv lidském oboru
je třeba prozkoumat minulost,
abychom pochopili přítomnost
a ovládli budoucnost.*

D. BERNAL

*Když jsem chtěl něco objevit,
nejprve jsem si prostudoval všechno,
co bylo v tomto problému
dosaženo v minulosti.*

T. A. EDISON

*Musíme prověřovat staré ideje,
ač patří minulosti,
neboť je to jediný prostředek
k pochopení důležitosti nových idejí
a hranic jejich správnosti.*

ALBERT EINSTEIN

*Cesty, jimiž lidský rozum dospěl k pravdě,
jsou hodné většího obdivu než dosažený cíl.*

JOHANNES KEPLER

*Žít čestně, myslet světově, jednat mužně,
nespoléhat se na politiku, pracovat přesně,
radovat se z krásy a hájit svobodu.*

prof. VLADIMÍR LIST (v poselství mladé generaci)

Ta věc, s níž se můžeme setkat, je tajemno. Je to základní cit, který stojí u kolébky skutečného umění a skutečné vědy. Ten, kdo to neví a už se ničemu nediví, nad ničím nežasne, je na tom stejně jako mrtvá, sfouknutá svíce.

ALBERT EINSTEIN, *Ideas and Opinions*, New York 1954

KAPITOLA 1

NĚKOLIK SLOV ÚVODEM

Minulost formuje lidské myšlení. Je spjata s vývojem jednotlivých vědních oborů, tedy i s elektrotechnikou. Avšak: Známe tuto minulost? Dovedeme ji správně hodnotit? Zacházíme zodpovědně s jejím odkazem?

V průběhu uplynulých 150ti let prošla elektrotechnika mohutným dynamickým rozvojem. Ten byl umožněn jen díky intenzivnímu *odhalování přírodních zákonů* a jejich *aplikacím* při řešení elektrotechnických projektů. Nejruznější vědecké a technické objevy učinily náš život pohodlnějším a příjemnějším. Vědění a objevování mohou učinit náš život šťastnějším.

Jak chápat a proč studovat dějiny elektrotechniky

Některé věci lze lépe posuzovat z dálky než z blízka. V obrazárnách dodržuje tuto zásadu skoro každý. Nehledí na jednotlivé tahy štětce, ale na celkový dojem. S tímto odstupem budeme sledovat, jak vznikaly i jak zanikaly vědecké názory, hypotézy a teorie o podstatě elektromagnetických jevů a jak byly uplatňovány ve společenské praxi. Dějiny elektrotechniky lze v časovém nahledu přirovnat k říčnímu toku. Začíná drobným, nenápadným praménkem, mohutní četnými přítoky a jeho cesta není přímočará, klikatí se četnými meandry a slepými rameny.

1. Několik slov úvodem

Znalost pramenů soudobé elektrotechniky i peripetií jejího vývoje by měla být neoddelitelnou součástí vzdělání technické inteligence. Je smutné, jak málo stop zanechali pionýři elektrotechniky v mozkové kůře i poměrně vzdělaných lidí a zvláště mládeže. Historie elektrotechniky může být nástrojem, který umožňuje činit prognózy o vývoji a tím správně směřovat výzkum a nalézat vhodnou orientaci při vytyčování nových projektů. Kdo pochopí minulost, může se lépe orientovat v nynějším složitém světě, plném rozporů, ale i vzájemných souvislostí. Pohledy do minulosti elektrotechniky by neměly být pouhou rekonstrukcí konkrétních událostí, neměly by být pouhým faktografickým popisem významných objevů a ovšem ani pouhým připomenutím veselých či smutných příběhů ze života objevitelů. Na pozadí historie elektrotechniky nahlédneme do *vnitřních zákonitostí* jejího vývoje a pokusíme se o nástin *filosofie myšlení* v elektrotechnických vědách. Pokusíme se načrtnout dobovou atmosféru, v níž vznikala elektrotechnika, neopomeneme pohled na *společenské podmínky* a všimneme si *ekonomických akceleračních a retardačních vlivů*, které určují dynamiku vývoje.

Posouvat hranice lidského poznání, odhalovat nové přírodní zákony a hledat způsoby jejich využívání je tvrdou, náročnou a vyčerpávající činností. Je však zároveň velkým fascinujícím dobrodružstvím. Posláním této knížky je nejen prohloubit znalosti čtenářů o některá zajímavá fakta z historie elektrotechniky, ale též iniciovat jejich objevitelské aktivity a vzbudit jejich zájem a entuziasmus pro odkrývání netradičních cest vedoucích k novým poznatkům. Ukázat, že v dosahování těchto velkých cílů mnozí našli smysl a náplň svého života.

Vydejme se tedy po stopách našich předchůdců, kteří svým úsilím v oblasti elektrotechniky ovlivnili celou dnešní civilizaci.

Naše myšlení je poplatné minulosti

Stále se zrychlující životní tempo a naléhavost soudobých úkolů nás plně zaměstnává aktuálními problémy a potlačuje v našem vědomí pocit *kontinuity s minulostí*. Avšak minulost ovlivňuje naše myšlení zpravidla mnohem hlouběji, než si uvědomujeme. Po našich předcích jsme zdědili nejen náš vnější fyzický svět v němž žijeme, ale též *svět psychický* a *způsoby našeho vnímání a myšlení*. Stejně jako se v každodenním životě pohybujeme po ulicích a žijeme ve stavbách, které mají svůj původ mnohdy až ve středověku,

1. Několik slov úvodem

tak také při své práci používáme pojmy, představy a myšlenková schémata, které vznikaly často v dosti vzdálené minulosti. Při řešení technických problémů se naše povědomí zpravidla vytrvale omezuje na jisté myšlenkové okruhy, které jsou dědictvím předchozího vývoje. Je třeba si uvědomit působení těchto mechanismů, neboť tradiční myšlení při řešení technických problémů může být velkou bariérou při hledání originálních a efektivních koncepcí. Jen málo jedincům se podaří vymanit se z používání tradičních metod, jen nemnohým se podaří zůstat vnitřně nezávislým a nalézat nové, nekonformní způsoby řešení.

Jak vznikají nové objevy

Cesty k novým objevům, novým konstrukcím a novým technologiím byly vybudovány z nesčetných příspěvků více či méně anonymních pracovníků. Nové objevy však nevznikají pouhým spojitým navrhováním dílčích poznatků. Teprve když poznání dosáhlo jistou úroveň, teprve pak vstoupí na scénu *tvůrčí osobnost*, která ovšem musí být vybavena nezbytnou mírou talentu, vzdělání a dalších individuálních kvalit, a uvede svůj objev. Isaac Newton to vyjádřil výstižně, když komentoval svojí teorii kosmické mechaniky slovy: „*Viděl jsem dále než ostatní, protože jsem stál na ramenou obrů*“. (Pozoruhodné je, že toto tvrzení se samo potvrzuje, protože Newton jej též převzal od svých předchůdců.) Newton si uvědomoval, že čím více věda poznává, tím více se rozšiřují i obzory nepoznaného. Přirovnával se k malému chlapci, který si jen hraje s pěknými obálkami a mušličkami na břehu nekonečného oceánu poznání.

Velké objevy a vynálezy jsou motivovány potřebami společnosti. Téměř vždy vznikají po dlouhém a tvrdém zápase a s tímto zápasem bývají spojeny fascinující osobní osudy. Vznik nového díla je vždy svázán s minulostí. Je vždy více či méně adekvátním obrazem své doby a jeho velikost nemůže přesáhnout možnosti, které jsou determinovány vědecko-ekonomickou úrovní společnosti. Není tedy zvláštní „náhodou“, že mnohé významné objevy a vynálezy učinili různí badatelé, nezávisle na sobě, a to téměř ve stejné době. S konkrétními případy se seznámíme v následujících kapitolách. A naopak, mnohé objevy byly dlouho považovány za bezvýznamnou fyzikální hříčku, a až když společenské vědomí dosáhlo vyšší úroveň, staly se

1. Několik slov úvodem

základem vynálezu, který zasáhl do celé naší civilizace. Příkladem může být objev elektromagnetických vln a jejich využití pro přenos informací.

Jisté *nahodilosti* se ovšem v procesu poznávání a objevování mohou uplatnit. Dějiny vědeckých objevů a technických vynálezů jsou často doprovázeny legendami, v nichž nahodilé jevy sehrály rozhodující úlohu. Příkladem může být historka o tom, že jablko, které spadlo na hlavu Isaaca Newtona, jej posléze přivedlo k objevu zákona gravitace. To by ovšem byl jen velmi povrchní pohled na mechanismus vzniku objevů. Náhoda může nahrát příležitost jedinci *připravenému* učinit významný objev. Proces poznávání probíhá často *intuitivně*: objevitel jako by prostě „uhádl“ správné řešení. Intuice však není projevem jakési mystické poznávací schopnosti objevitele, nýbrž je formou zvratu dříve nashromážděných poznatků a zkušeností v novou kvalitu.

V této knize se budeme zabývat pouze *prvními fázemi* vývoje elektrotechniky. V tomto období sehrály dominantní roli *osobnosti*, které ovlivnily vývoj a dávaly mu nové impulsy a myšlenky. Hybnou silou vývoje byla geniální schopnost objevitele, která mu umožnila povšimnout si a správně zhodnotit jevy a souvislosti, které unikaly jeho předchůdcům i současníkům. V průběhu 20. století došlo k dramatickému zrychlení vývoje elektrotechniky. Nacházíme se v nové „průmyslové revoluci“, v níž čip a počítač mění svět radikálněji než parní stroj a dynamo. Novými prvky vývoje techniky jsou informační a telekomunikační technologie.

Stává se téměř pravidlem, že u velkých výzkumných projektů se uplatňují poznatky nejen z různých oblastí elektrotechniky, ale nezřídka i z dalších vědních oborů. Při realizaci komplexních projektů ustupuje jedinec do pozadí, a jejich řešení přebírají *pracovní týmy* specialistů. Jednou z hlavních podmínek jejich úspěšnosti je, vedle dobrého materiálního zajištění, dokonalá *organizace jejich spolupráce*. Na velkých vynálezech současné doby – připomeňme například počítače, videokameru, digitální fotopřístroj, mobilní telefon a mnohé další – se podílel velký počet tvůrčích pracovníků, do značné míry anonymních. Širší veřejnost zpravidla ani nezná jejich jména. Pojednání o novodobých dějinách elektrotechniky snad bude naplní další knížky, která je v současné době připravována.

Omyl, který vzbudí rozruch, je cennější než pravda vedoucí do slepé uličky.

ALESSANDRO VOLTA o Galvaniho objevu

KAPITOLA 2

ÚSVIT ELEKTROTECHNIKY

Počátky vývoje elektrotechniky byly především hromaděním poznatků získávaných výhradně experimentálně. Pojmový a matematický aparát k popisu elektrických a magnetických jevů se v tomto období utvářel jen velmi zvolna. Technika experimentů byla poplatná své době; jedinými měřicími přístroji byly magnetka a elektroskop. Vážnou překážkou bylo mnohdy iracionální myšlení, ovlivněné náboženskými představami. Objevitelé jen zvolna nalézali vhodné metodické postupy, učili se hledat přístupové cesty, získávali zkušenosti jak zpracovávat a hodnotit získané poznatky.

2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy

První projevy elektřiny a magnetismu

Některé elektrické a magnetické jevy byly známy už ve starověku. Patrně první písemnou zprávu o nich přináší řecký filozof, matematik a fyzik THALÉS Z MILÉTU (asi 624–asi 547 př.n.l.), který popsal přitahování drobných tělísek (např. popela, prachu, peříček) jantarem (tj. fosilní pryskyřice ze stromů), po jeho předchozím tření. SENECA a LUCRETIUS CARUS (1. stol. př.n.l.) se zmiňují o tom, že železná ruda může též přitahovat další částičky této rudy a že toto působení prochází skrze tělesa. Tyto poznatky jsou patrně ještě mnohem starší a jmenovaní filozofové je převzali od svých předchůdců. Magnetické projevy byly v té době známy v Číně, kde nalezly

2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy

své první praktické využití v podobě kompasu. První zmínka o kompasu v Evropě je až z r. 1187. Prudký rozvoj námořní dopravy v 15. a 16. stol., vyvolaný zeměpisnými objevy, pak vedl ke zdokonalování kompasu a k jeho využívání při navigaci. V té době byla též objevena magnetická deklinace a inklinace.

Slovo *elektřina* pochází od slova *jantar* (řecky *ílektron* – *ήλεκτρον*) a slovo *magnetismus* (od názvu *Magnézia*, které je ve středním Řecku, v jehož okolí se nacházela železná ruda, tzv. *magnesiový kámen* (řecky *magnítis líthos* – *μαγνητική λιθοζ*).

Elektrické a magnetické jevy se vysvětlovaly antropomorfně, tj. přenášením lidských vlastností na přírodu (např. přitažlivá síla permanentního magnetu se považovala za projev „duše magnetu“, vytvářela se představa o „oživené hmotě“ a pod.), případně různými, často až fantastickými hypotézami. Jednou z nich byla hypotéza, že zemský magnetismus vyvolávají domnělé ohromné „magnetické hory“ na zemských magnetických pólech, nebo že „magnetická síla“ vychází z Polárky.

Jedním z prvních elektrických jevů, s nímž se člověk setkal, byl blesk.



Obr. 2.1. Babylónský bůh bouřky Adad.

Ten byl zpravidla vysvětlován nábožensky, jako projev boha – hromovládce; v řecké mytologii jím byl *Zeus*, v římské *Jupiter*, ve slovanské *Perun*, obr. 2.1. Pokus o fyzikální vysvětlení nalézáme u filozofů starého Řecka: blesk vznikne zapálením hořlavých plynů, které jsou přítomny ve vzduchu (ARISTOTELES, 4.stol.př.n.l.), nebo že blesk je důsledkem třením mraků o sebe (EPIKUROSOV, 4.–3.stol.př.n.l.). Tyto pokusy o vysvětlení podstaty elektrických a magnetických jevů byly ve své podstatě iracionální a pro poznání přírodních zákonů neměly valný význam. Naproti tomu se uvádí, že egyptský faraón Ramsesse 3. (1198–1168 př.n.l.) nechal na chrámu v Karnaku postavit stožáry s pozlacenými hroty, které měly funkci prvních bleskosvodů.



Obr. 2.2. Frontispice knihy Pierra Peregrina „Dopis o magnetu“.

2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy

Prvním významným souborným pojednáním o magnetismu byl spis, který napsal francouzský důstojník PETER PEREGRINUS v r. 1267. Byl napsán formou dopisů a nazýval se „*Epistolae de magnetē*“ (*Dopis o magnetu*). Pergrinius jej napsal, když se s francouzskou armádou Karla z Anjou zúčastnil obléhání město Lucerna v jižní Itálii. Peregrinus se v té době zabýval myšlenkou sestrojení perpetuum mobile, k čemuž chtěl použít magnetovec. (Svémi úvahami se snad trochu přiblížil myšlence elektromotoru.) Za tím účelem studoval vše, co bylo v té době známo o magnetismu a tyto poznatky vložil do svého *Dopisu*. Kniha byla zprvu ručně opisována a po vynálezu knihtisku byla vydána v Augsburgu v r. 1558. Titulní strana tohoto díla je zdobenou dřevorytinou, ručně kolorovanou a je zobrazena na obr. 2.2. Ve středověku byla knihou velmi uznávanou a zřejmě inspirovala Williama Gilberta, který byl první, jenž soustavně a vědecky zkoumal magnetické a elektrické jevy.

První vědecké poznatky

WILLIAM GILBERT (1544–1603) se narodil v Colchestru v hrabství Essex (Anglie) a vystudoval lékařství na John's College univerzity v Cambridge. Poté cestoval po Evropě a po svém návratu se stal londýnským lékařem. Byl zřejmě úspěšným lékařem, neboť v r. 1600 byl zvolen prezidentem Královské lékařské společnosti a v r. 1601 byl jmenován osobním lékařem anglické královny Alžběty I. Kromě své lékařské praxe se intenzivně zabýval chemií, astronomií, metalurgií a zejména zemským magnetismem a elektrostatickými jevy a díky těmto svým zájmům vstoupil do dějin přírodních věd. Gilbert zemřel při morové epidemii.

Gilbert prováděl své studie magnetických a elektrických jevů na přelomu 16. a 17. století. Postupoval čistě *experimentálně* a nepouštěl se do filozofických spekulací. Gilbert provedl přes 600 systematických pokusů a dosáhl především těchto poznatků:

- Permanentní magnet je vždy *magnetickým dipólem*, tj. má vždy dva póly, severní a jižní, ať ho jakkoliv rozdělujeme.

- Stejnomené póly magnetu se odpuzují, opačné se přitahují. (Obě zmíněné vlastnosti uváděl již Peregrinus.)



Obr. 2.3. William Gilbert.

- Permanentním magnetem lze zmagnetovat další železná tělesa (tj. existuje *magnetická indukce*).
- Železo vložené před permanentní magnet zeslabuje jeho působení (tj. existuje *magnetické stínění*).
- Ohřevem do červeného žáru mizí permanentní magnetismus.
- V okolí pólů permanentních magnetů Gilbert tušil existenci magnetického pole, pro které zavedl název *magnetické efluvium* (*magnetický výtok*, z latinského *effluvio*).

Gilbert celkem uspokojivě vysvětlil zemský magnetismus (geomagnetismus). Jeho úvahy byly založeny na pokusu s modelem. Z magnetitu zhotovil velkou kouli – nazýval ji „*terrela*“ (*malá Země*) – a volně zavěšenými

2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy

magnetkami zjišťoval magnetické pole v jejím okolí. Výsledky srovnával s magnetickým polem Země („*terra*“). Přesto, že měl k dispozici jen poměrně malý počet měření směru zemského pole, učinil naprosto správný závěr: magnetické pole Země je svým prostorovým uspořádáním analogické poli modelu (tj. koule z magnetitu), a tedy *Země sama je velký magnet*. Magnetické póly přitom považoval za shodné s póly zeměpisnými.

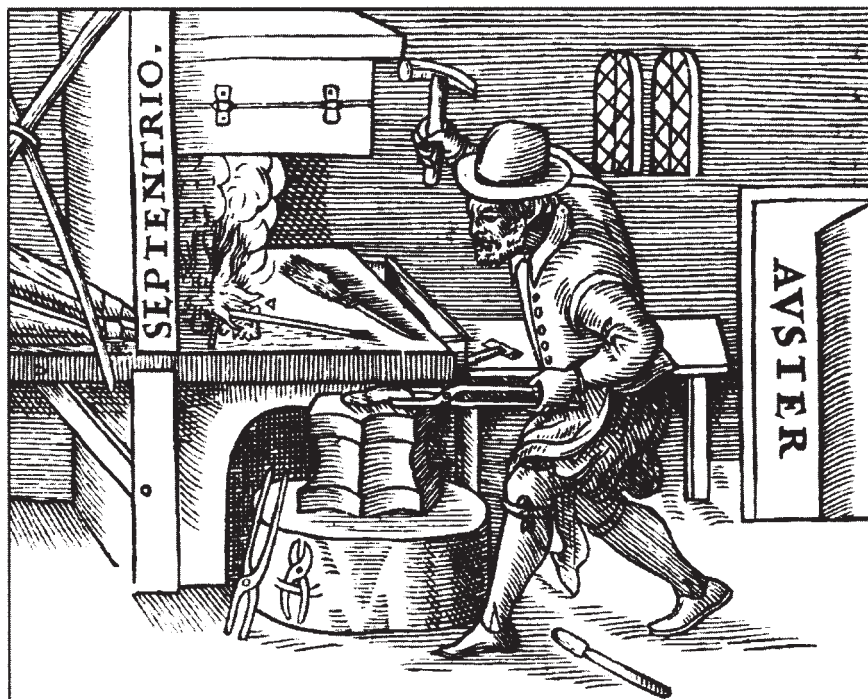
K hlubšímu poznání geomagnetického pole později přispěli známý astronom E. Halley (1656–1742) a zejména slavný matematik a fyzik C. F. Gauss (1777–1855).

Gilbert shrnul své výzkumy v latinsky psané knize „*De magnete*“ (*O magnetu*). Tato kniha vyšla v Londýně v r. 1600. Byla *prvním* vědeckým pojednáním o elektrických a magnetických jevech. Ve své době byla velmi proslulou a stala se východiskem pro řadu Gilbertových pokračovatelů.

Gilbert se též zbýval elektrickými jevy, a dospěl k těmto výsledkům:

- Zjistil, že třením může být uveden do stavu, v němž přitahuje lehká tělíška, nejen jantar, ale též jiné látky, jako je síra, sklo a další – našel jich přes dvacet.
- Elektrinu považoval za jakousi nevažitelnou kapalinu, „*fluidum electricum*“ a elektrický náboj chápal jako určité množství této kapaliny.
- Pro okolí zelektrovaných těles zavedl Gilbert pojem *elektrické effluviium* (elektrický výron).
- Pro určování elektrického fluida sestrojil první měřicí přístroj – tzv. *elektrické versorium*. Toto měřidlo bylo obdobou kompasu, ale místo zmagnetované stříelky bylo otočně uloženo lehké stébélko obr. 2.5. Elektrické versorium bylo předchůdcem pozdějšího elektroskopu.

Gilbertem zavedené pojmy „elektrické efluvium“ a „magnetické efluvium“ nás opravňují k domněnce, že Gilbert přisuzoval „okolí“ elektrického a magnetického objektu hmotnou povahu. Tato myšlenka, již po více než 200 letech rozvedl M. Faraday, a která posléze vyústila v zavedení pojmu „elektromagnetické pole“, svědčí o pozoruhodné Gilbertově intuici.

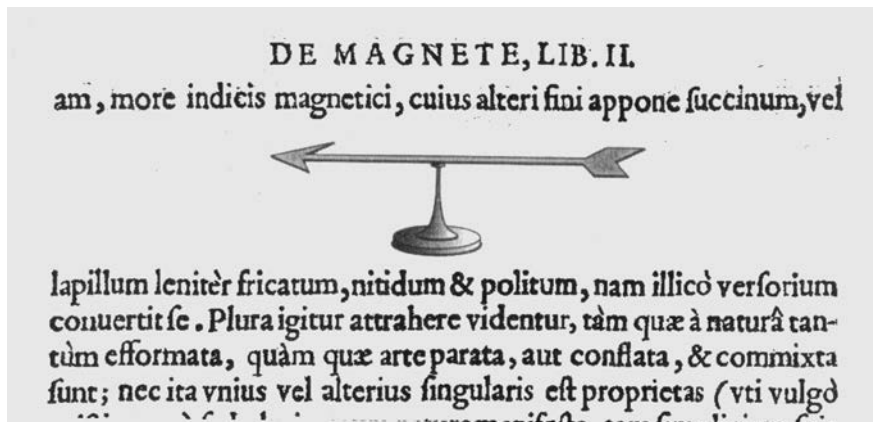


Obr. 2.4. Vyobrazení z Gilbertovy knihy „De magnetē“.

Z Gilbertových představ o zemském magnetismu vycházel význačný německý astronom a matematik

JOHANNES KEPLER (1571–1630). V letech 1600 až 1612 žil v Praze, zprvu jako asistent astronoma Tycho Brahe, po jeho smrti (r. 1601) byl jmenován dvorním matematikem císaře Rudolfa II. Po smrti Rudolfa II odešel do Lince. Brahe naměřil velké množství přesných údajů o pohybu planet a dal za úkol Keplerovi stanovit dráhu planety Mars. Kepler několik let intenzívně zkoumal zákonitosti pohybu všech tehdy známých planet kolem Slunce a své poznatky matematicky vyjádřil vztahy, které se dnes nazývají třemi *Keplerovými zákony*. Ty tvoří základ moderní astronomie. Své první

2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy



Obr. 2.5. Reprodukce z Gilbertovy knihy „De magnete“, pojednávající o elektrickém versorium.

dva zákony Kepler publikoval r. 1609 v Praze, v knize „*Astronomia nova*“ (*Nová astronomie*), třetí zákon r. 1619 v Linci, ve spise „*Harmonices mundi*“ (*Harmonie světa*). Keplerovy zákony se později (r. 1686) staly východiskem Isaacu Newtonovi při formulaci jeho gravitačního zákona.

Experimentální poznatky o elektrických a magnetických jevech se rozšiřovaly jen velmi zvolna. Významné byly tyto objevy:

- **Výroba elektřiny byla zmechanizována: byl sestrojen rotační elektrostatický generátor, který se nazýval „třecí elektrika“.** První třecí elektriku sestrojil Otto von Guericke v r. 1660. Experimentátor, odizolovaný od země, se suchou rukou dotýkal povrchu otáčející se sírové koule, čímž se na jeho těle hromadil elektrický náboj (obr. 2.7).

OTTO von GUERICKE (1602–1686) se narodil v Magdeburku v patricijské rodině a byl jí předurčen k vyšším státním funkcím. Studoval práva a historii na univerzitě v Lipsku a poté v holandském Leidenu, kde se věnoval matematice, mechanice a fortifikačnímu inženýrství. Po ukončení studií se stal městským úředníkem. Guerickeův život ovlivnila třicetiletá válka. Protestantský Magdeburk byl v r. 1631 švédskými vojsky maršála Tillyho



Obr. 2.6 Otto von Guericke.

2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy



Obr. 2.7. Třecí elektrika, kterou sestrojil Otto von Guericke.

doby, vypálen a téměř srovnán se zemí. Guericke se zasloužil o jeho novou výstavbu a řadu let byl jeho starostou.

Až asi v r. 1654 se Guericke začal zabývat vakuem. Zkonstruoval vakuovou vývěvu, sestrojil barometr (s vodním sloupcem vysokým 10 m) a ukázal na souvislost mezi barometrickým tlakem a počasím. (Prvním, jenž vytvořil vakuum však nebyl Guericke, ale jeho současník, florentinský profesor matematiky Evangelista Torricelli (1608–1647).) Do širokého povědomí veřejnosti se magdeburský purkmistr dostal díky efektnímu experimentu, který předváděl kolem r. 1657 s tzv. *magdeburskými polokoulemi*: dvě duté měděné polokoule (o průměru asi 60 cm, z plechu o tloušťce asi 2 mm) přiklopil k sobě, utěsnil a z dutiny vyčerpал vzduch. Polokoule se pak nepodařilo rozdělit ani osmi párům koní. Jakmile zrušil vakuum, obě

polokoule od sebe odpadly. Guerickovy pokusy byly přijímány s rozpaky, neboť pojem vakua se vymykal středověkému náboženskému názoru, podle něhož „prázdnou nemůže existovat, protože by odporovalo boží dokonalosti“. V Praze předvedl pokus s magdeburskými polokoulemi profesor lékařské fakulty Jan Antonín Scrinzi až téměř o 100 let později. Stal se to na nádvoří břevnovského kláštera, při návštěvě císařského páru Marie Terezie a Františka Lotrinského v Praze v r. 1754.



Obr. 2.8. Pokus Otto von Guericke, jímž předváděl, že „zelektrovaná“ sírová koule odpuzuje lehká těliska. Nabitá sírová koule tělisko nejprve přitáhne, přechází mu část svého náboje a pak jej jako stejně nabitě odpuzuje.

2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy

Později obrátil Guericke svůj zájem na zkoumání elektrostatických jevů: sestrojil „třecí elektriku“ (obr. 2.7) a zkoumal silové působení elektrického náboje na lehká tělíska (obr. 2.8). Těmito pokusy se přiblížil k jevu elektrostatické indukce. Své poznatky popsal v obsáhlé knize „*Experimenta nova*“, kterou vydal v r. 1672.

■ **Síla působící na elektricky nabitá tělesa je stejná ve vzduchu i ve vakuu.** Tento poznatek učinil irský fyzik

ROBERT BOYLE (1627–1691). Zopakoval Guericckovy pokusy a kromě uvedeného poznatku z nich vyvodil, že síla mezi dvěma zelektrovanými tělesy je vzájemná. Kromě toho rozšířil seznam látek, které lze zelektrovat třením, o další materiály (např. safír, křišťál, smaragd, ametyst aj.). Boyle napsal pojednání o třecí elektrice „*Mechanical Production of Electricity*“ (r. 1657).

■ **Látky lze rozdělit na vodiče a izolanty.** Bylo prozkoumáno působení elektriny na vodiče a na izolanty. V dnešní terminologii: je-li v elektrickém poli vodič, dochází v něm k *elektrostatické indukci* (tj. ke vzniku volných povrchových nábojů) a u izolantu dochází k *elektrostatické polarizaci* (tj. ke vzniku vázaných povrchových nábojů). K těmto poznatkům dospěl Angličan

STEPHEN GRAY (1666–1736). Pracoval jako řemeslník – barvíř a když byl v důchodu, zajímal se o nové fyzikální objevy. Prováděl pokusy s přenosem elektriny na větší vzdálenosti, například na vzdálenost 765 stop (tj. asi 230 m). V r. 1729 zjistil, že hedvábným vláknem nelze přenášet elektrický náboj, ale mosazným drátem se šířila elektrina okamžitě. Ukázal též, že na izolovaném tělese lze udržet elektrický náboj až několik měsíců. Grayovy poznatky byly oceněny v r. 1731 jeho zvolením za člena Královské společnosti.

V Čechách prováděl v r. 1746 experimenty s vedením elektriny pražský jezuita JOSEPH STEPLING (1716–1778). V chodbách pražského Klementina

První vědecké poznatky

natáhl řetězy a přenášel jimi elektrinu na vzdálenost až osmi set metrů. Tyto experimenty předváděl též veřejnosti.

■ **Třením různých izolantů byly zjištěny dva druhy elektřiny.** Podle druhu izolantů, na nichž byla elektřina takto zjištěna, se nazývala buďto *elektřina sklová*, anebo *elektřina pryskyřicová (jantarová)*. Vznikla tak hypotéza, že existují dva druhy látek, které jsou zdrojem dvojí elektřiny. Zatímco se Gilbert domníval, že elektrické síly jsou jen přitažlivé, pokusy s výhyčkami zavěšených kovových proužků, prováděnými v r. 1733, vedly k představě dvou různých fluid: fluida, která se odpuzují a fluida, která se přitahují – tzv. *dualistická hypotéza*. K těmto poznatkům dospěl

CHARLES DUFAY (1698–1739), který navázal na pokusy Grayovy, avšak prováděl je mnohem pečlivěji. Narodil se v Paříži, byl francouzským důstojníkem a později ředitelem botanické zahrady v Paříži. Později zjistil, že jeho dualistická hypotéza je mylná. Dufay byl jedním z prvních, jenž vyslovil domněnku, že blesk má elektrickou povahu. Dufay experimentoval i v jiných oblastech fyziky, zejména v mechanice, optice a termice.

■ **Byl sestrojen kondenzátor** – nazýval se *leydenská láhev*, obr. 2.9. Byla to skleněná láhev, jednou elektrodou byla cínová folie (staniol), jíž byla láhev asi do 2/3 výšky obalena a druhou elektrodou byla folie vložená do lahve a spojená s přívodem, který byl vyveden hrdlem lahve. Zpočátku se používala láhev naplněná vodou, která sloužila jako vnitřní elektroda. Objev leydenské lahve byl inspirován tehdejšími názorem na podstatu elektřiny: předpokládalo se, že elektřina je jakási nehmotná substance, „nevažitelná“ kapalina, tzv. *fluidum*. Bylo tedy logické shromažďovat ji ve vhodné nádobě.



Obr. 2.9. Leydenská láhev.

2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy

Kondenzátor objevili v r. 1745 nezávisle na sobě německý kněz z Pomořan, EWALD GEORG KLEIST (asi 1700–1748) a Holanďan PIETER van MUSSCHENBROEK (1692–1761). Musschenbroek působil jako profesor experimentální fyziky na univerzitě v Leydenu, odtud název.

Leydenská láhev nesměla chybět v žádné laboratoři, kde se prováděly pokusy s elektřinou. Umožňovala akumulovat větší elektrický náboj a provádět s ním pokusy. Možnost získávat větší náboj vedla k postupnému zdokonalování konstrukcí třecích elektrik. Sírová koule byla nahrazena skleněným válcem nebo kotoučem (později se též používal ebonitový kotouč), jehož povrchu se dotýkala suchá plst'. Vzniklý náboj z povrchu kotouče se odsával vhodně upravenými hrotovými elektrodami a hromadil se v leydenských láhvích.

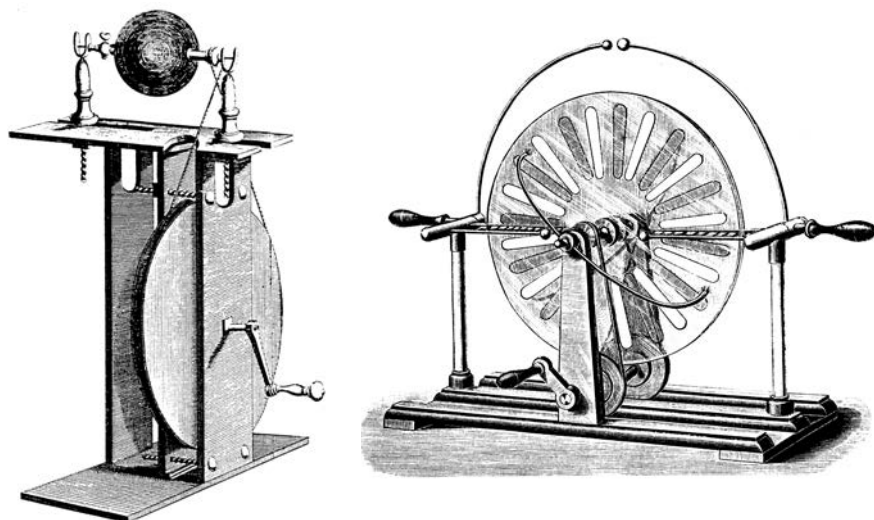


Obr. 2.10. Peter van Musschenbroek.

Existuje řada různých konstrukčních úprav a různých důmyslných zapojení, jimiž se docílovalo poměrně vysokého napětí (řádově desítek i stovek kV) a silných elektrostatických výbojů. Například třecí elektrika podle J. Cuthbertsona (r. 1785) dávala za sekundu až 5 jisker o délce až 60 cm. Tyto elektrostatické generátory byly nezbytnou součástí školních fyzikálních kabinetů ještě počátkem 20. století. Na obr. 2.11 je vlevo ukázka starší třecí elektriky, vpravo je poněkud „modernější“ konstrukce třecí elektriky – nazývala se *influenční elektrika*. Dokonalou influenční elektriku s dvojicí protiběžných kotoučů sestrojil v r. 1883 britský inženýr James Wimshurst.

- **Byl zdokonalen Gilbertův elektrooskop.**

Dufay přivedl elektrický náboj ke dvěma proužkům z tenké zlaté fólie. Náboje na proužcích se odpuzují a tedy proužky se rozestoupily a to tím více, čím byl náboj větší. Podle odklonu proužků lze určit stupeň zelektronání tělesa. Pro ochranu před vzdušnými proudy byly oba proužky uzavřeny ve skleněné baňce. Tyto jednoduché přístroje jsou dosti citlivé (viz 6. kapitolu). Nazývají se *elektroskopy*, resp. *elektrometry*, podle toho,



Obr. 2.11. Zdokonalené třecí elektriky.

2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy

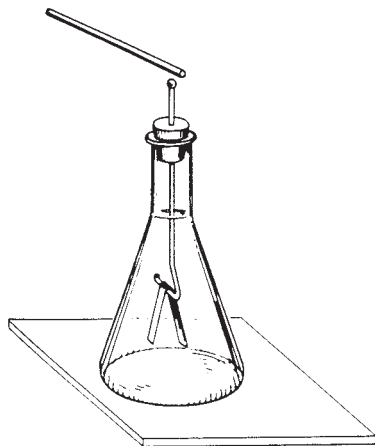
jestli jimi pouze indikujeme přítomnost elektrického náboje, anebo jestliže jej měříme (obr. 2.12, obr. 2.13).

Elektrostatické výboje byly po dlouhou dobu předmětem laboratorních pokusů. Prováděly se například pokusy s přenosem elektrického náboje vodičem na vzdálenost až několik mil, byla též zkoumána rychlost jeho šíření a byla vyslovena domněnka, že je nekonečně velká. Byly činěny pokusy využít elektrické výboje k léčebným účelům, avšak bez valného úspěchu. Mnohem častěji však

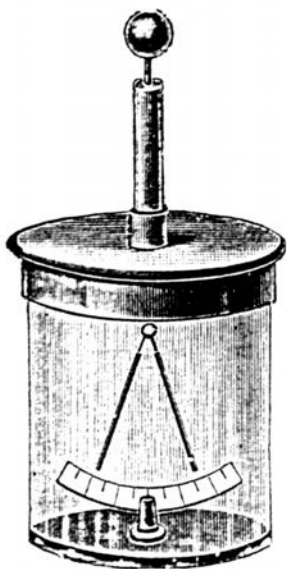
nešlo o solidní vědecký výzkum,

ale o předvádění efektních a záhadných jevů („*elektrický oheň*“), určených pro pobavení diváků na různých fórech – od královských dvorů až po pouťové atrakce. Tato představení však přece jen měla význam: vzbudila velký zájem o elektřinu.

Poznatky o elektrostatických jevech se postupně hromadily a tím vznikla možnost vytvářet *hypotézy* a *teorie*, které měly vysvětlovat jejich fyzikální podstatu. Jedním prvních tvůrců těchto teorií byl Američan Benjamin Franklin. Byl to člověk, který díky svým pozoruhodným osobním kvalitám hluboce zasáhl nejen do dějin elektrotechniky a některých dalších technických oborů, ale byl též významným diplomatem, který se zasloužil o založení USA.



Obr. 2.12. Elektroskop.



Obr. 2.13. Elektrometr (kolem r. 1790).

Život a dílo Benjamina Franklina

BENJAMIN FRANKLIN (1706–1790) se narodil v Bostonu (stát Massachusetts) v USA jako patnácté ze sedmnácti dětí Josiaha Franklina, který se v r. 1683 vystěhoval z Anglie do Ameriky; byl mydlářem a výrobcem svíček. Benjamin pracoval zprvu u svého otce, později se vyučil tiskařem, v letech 1724–26 pobýval v Londýně, aby se seznámil s moderní tiskařskou technikou a v r. 1728 si otevřel vlastní tiskárnu, která dobře prosperovala a hmotně jej zajišťovala.

Pro charakterizování Franklinovy osobnosti si dříve než pojednáme o jeho objevech v oblasti elektřiny uvedme alespoň stručný přehled jeho neobyčejně bohaté a významné veřejné a osvětové činnosti. Franklin byl vydavatelem Pensylvánských novin (*The Pennsylvania Gazette*), zřídil veřejnou knihovnu, první svého druhu v Americe a v r. 1742 založil Pensylvánskou akademii, z níž v r. 1751 vznikla Pensylvánská univerzita. V r. 1743 založil ve Filadelfii Filozofickou společnost a byl zvolen jejím doživotním prezidentem. Byl též oblíbeným autorem četných populárních publikací, některé z nich byly překládány i do češtiny.

Doba, v níž žil Benjamin Franklin, byla politicky neobyčejně bouřlivá a Franklin se intenzivně věnoval i politické činnosti. Stal se světově proslulým a váženým státníkem, který dal základ moderní americké kultuře a demokracii. Byl zvolen členem Konfederace sjednocených kolonií a pověřen organizací americké pošty a přípravou ministerstva zahraničí (*State Department*). Jelikož býval tiskařem, byl pověřen vydáváním peněz. Jako člen Pensylvánského parlamentu vystupoval v boji za nezávislost kolonií na anglické nadvládě a významně se podílel na Prohlášení nezávislosti amerických osad (*Declaration of Independence*), přijatého 4. července 1776. Tím stanul u zrodu Spojených států amerických. V r. 1785 byl zvolen prezidentem Pensylvánie a členem Ústavního kongresu, podílel se na vypracování Ústavy Spojených států amerických (vyhlášené r. 1789), byl též zvolen předsedou Ligy na podporu zrušení otroctví. Řadu let byl americkým velvyslancem ve Francii.

Franklin se úspěšně zabýval řešením mnohých technických a fyzikálních problémů. Jako malou ukázkou z velmi široké a různorodé oblasti jeho zájmů

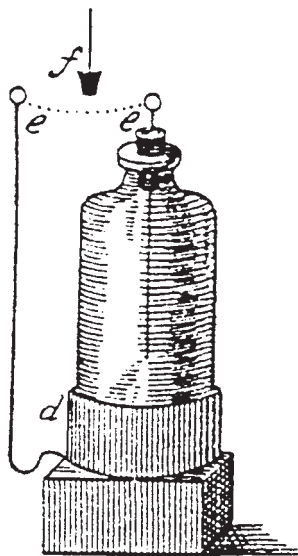
2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy

uvedme, že vynalezl bifokální brýle, sestrojil kamna s velkou výhřevností, jež bezpečně zamezovala vzniku požáru (říkalo se jim „Franklinova kamna“), navrhl metodu měření vzdáleností (pomocí počítadla otáček spojeného s kolem pohybujícího se vozu), zmapoval Golfský proud a prováděl též výzkumy v meteorologii, kde navrhl různé teorie vysvětlující změny počasí, vznik zemětřesení apod. Při svém pobytu v Londýně zkonstruoval nový hudební nástroj, tzv. „skleněnou harmoniku“, který byl ve své době oblíben zejména v Rakousku a Francii. Franklin též zkoumal různé fyzikální jevy; např. z hlediska obecné teorie vlnění hledal analogie mezi světlem a zvukem. Nás však bude především zajímat

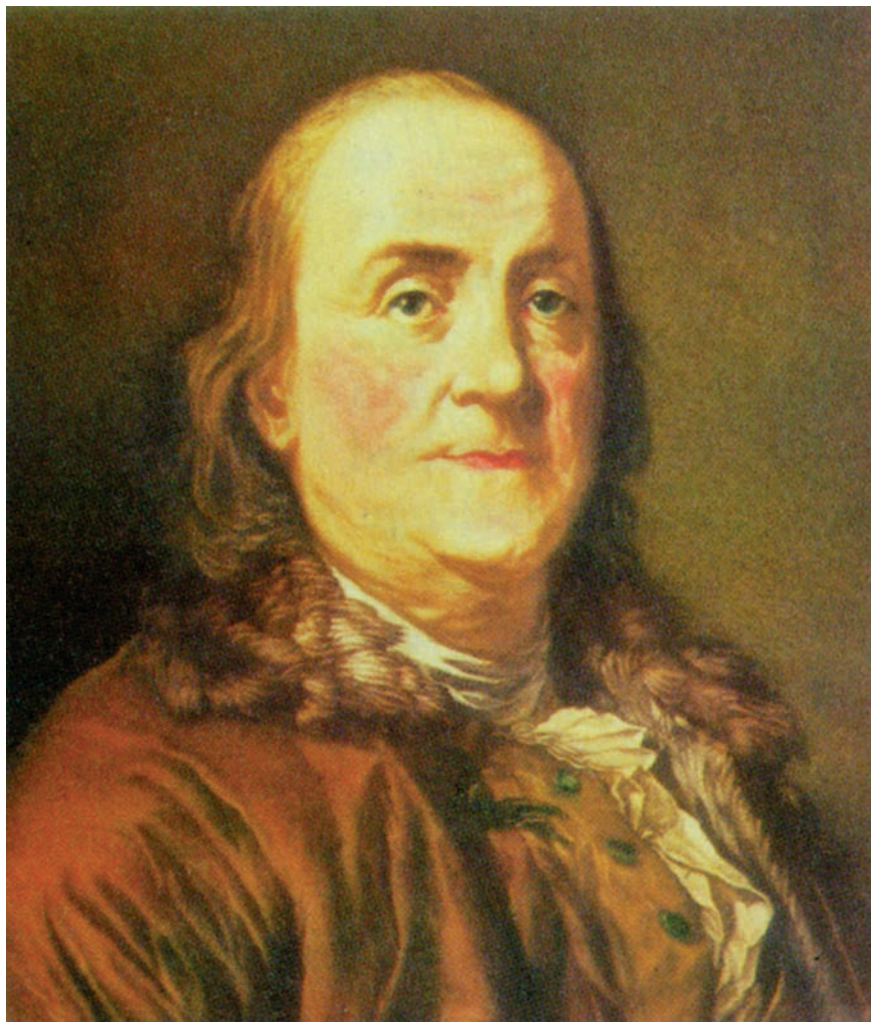
Franklinovo zkoumání elektřiny

O elektrické jevy se začal zajímat až když mu bylo 40 let a již v krátké době dosáhl významných poznatků. Zatímco se dříve mělo za to, že existují dva druhy elektřiny – tzv. *dualistická hypotéza*, již navrhl Dufay – Franklin předpokládal, že v každém elektricky neutrálním tělese je obsaženo určité množství fluida. Při jeho přebytku je těleso nabito kladně, při jeho nedostatku záporně – tzv. *unitární hypotéza* (r. 1750). Tím bylo objasněno, jak se dva opačné náboje mohou navzájem neutralizovat. Franklin používal pro fluidum označení (dnes běžně používané pro elektrické náboje): „kladný“ a „záporný“. Jeho představa se zřejmě přiblížila dnešním názorům (jestliže „fluidum“ nahradíme „volnými elektrony nebo ionty“ a znaménko – zaměníme za +).

Franklinova myšlenka unitární teorie není tak docela původní. Franklin jen přesněji formuloval a svými experimenty potvrdil názor, který vyslovil již před ním Angličan Sir William Wattson, ve své knize „*Nature and Properties of Electricity*“ (*Povaha a vlastnosti elektřiny*).



Obr. 2.14. Franklinův experiment.

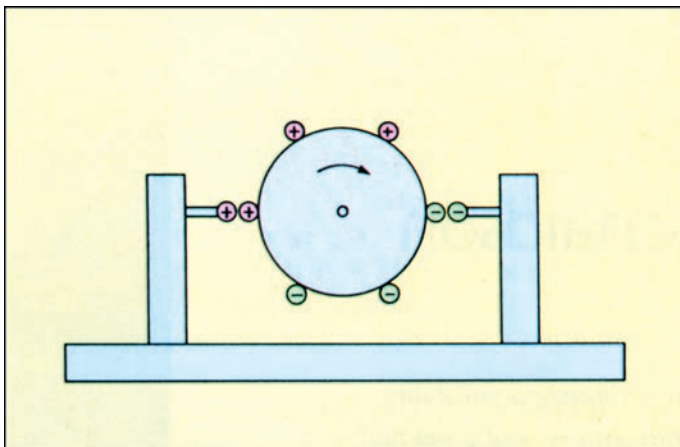


Obr. 2.15. Benjamin Franklin.

2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy

Na obr. 2.15 je jeden ze zajímavých Franklinových experimentů z r. 1747, jímž se převádí elektřina na mechanický pohyb. Kousek korku je zavěšen na hedvábné niti mezi dvěma kulovými elektrodami, k nimž je připojena nabitá leydenská láhev. Vychýlíme-li korek tak, aby se dotkl jedné z elektrod, bude se pohybovat mezi oběma elektrodami, neboť bude střídavě odpuzován a zároveň přitahován, a tím bude – podle Franklina – vyrovnávat přebytek a nedostatek fluida, resp. (podle současné představy) bude vyrovnávat kladný a záporný náboj. Snad jen s nadsázkou lze toto zařízení považovat za zárodek *prvního elektromotoru*.

Některé prameny uvádějí (Donaldson, viz seznam literatury), že Franklin též navrhl zařízení, u něhož je kývavý pohyb převeden na pohyb rotační, tedy jakýsi první elektromotor, obr. 2.16. Na otočně uloženém izolačním kotouči jsou připevněny kovové kulové elektrody, jimiž se transportuje elektrický náboj mezi dvěma pevnými kulovými elektrodami, připojenými k leydenské láhvi. Model tohoto motoru, který byl zhotoven v současné době, měl při napětí 50 kV výkon asi 2 W, 500 ot./min., a účinnost jen asi 5 %.



Obr. 2.16. První elektrický motor – B. Franklin, r. 1750.

Benjamin Franklin konstrukčně upravil kondenzátor, který byl do té doby představován Leydenskou lahví a přiblížil jej tak jeho dnešnímu provedení. Sestavil deskový kondenzátor – nazýval se *Franklinova deska*: skleněnou desku opatřil po obou stranách staniolovými elektrodami.

Jako první upozornil na to, že „kondenzátorový jev“ závisí na druhu skla – v dnešní terminologii, že kapacita kondenzátoru závisí na dielektriku.

Benjamin Franklin byl jedním z prvních, jenž vyslovil názor o kvantovém charakteru elektrického náboje. V r. 1749 napsal: „*Elektrická substance se skládá z částecek neobyčejně malých, protože mohou procházet látkami i tak hustými, jako jsou kovy, volně a snadno, bez zjevného odporu ...*“.

Povšimněme si poznatků, jichž Franklin dosáhl při zkoumání atmosférických výbojů. Jak již bylo uvedeno, fyzikální podstatu blesku vysvětloval Aristotelův názor, že při bouři dochází k výbuchu plynů nahromaděných v mracích, přičemž názory na složení těchto plynů se značně různily. Tento názor zastával též francouzský racionalista René Descartes, přičemž hřmění považoval za rachot doprovázející pád mraku z vyšší vrstvy do nižší. V 17. století byl vysloven názor, že fyzikální podstata elektrického výboje u třecí elektřiny a blesku je táž (I. Newton, J. A. Nollet, Dufay). Franklin tento názor přijal a experimentálně jej potvrdil. Porovnával účinky blesku a účinky výbojů z leydenské láhve. Ve svém deníku v r. 1749 píše: „*Elektrické fluidum se shoduje s bleskem v těchto směrech: 1. vyzařuje světlo, 2. má barvu světla, 3. má klikatou dráhu, 4. rychle se pohybuje, 5. lze jej vést kovy, 6. doprovází jej praskot nebo hluk, 7. proniká vodou i ledem, 8. rozkládá látky, jimiž prochází, 9. zabíjí živočichy, 10. taví kovy, 11. zapaluje hořlavé látky, 12. zapáchá po síře.*“

Franklinovi bylo známo, že hustota povrchového náboje závisí na zakřivení povrchu; na hrotech dosahuje vysokých hodnot. Vzniku blesku chtěl tedy čelit tím, že z bouřkového mraku „odsával“ elektřinu pomocí vysoké tyče, na svém konci zahrocené. Franklin neuveřejňoval své poznatky ve vědeckých časopisech, jak je zvykem, ale sděloval je svým přátelům v dopisech. V jednom ze svých dopisů londýnskému obchodníkovi Peteru Collinsovi (1694–1768), který mu dodával pomůcky potřebné k experimentům, píše: „*Taková zahrocená tyč by asi elektrický oheň mraku rozptýlila tiše*“

2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy

a mnohem dříve, než by se mrak přiblížil a vyšlehl z něho blesk a ochránil by nás tak od náhlého a velkého neštěstí.“ Collins vydal Franklinovy dopisy jako knihu pod názvem *Pokusy a pozorování elektřiny, učiněné ve Filadelfii v Americe*. Tento spis měl velký ohlas a byl přeložen do několika jazyků, dokonce i do latiny.



Obr. 2.17. Franklin se svým synem experimentují s atmosférickou elektřinou roku 1752.

Franklinovy myšlenky vyvolaly značný ohlas ve Francii. Na vybídnutí panovníka Ludvíka XV. realizovali r. 1752 přírodovědci G. L. Leclerc de

Buffon, J. F. D'Alibard a De Lor v obci Mary-la-Ville nedaleko Paříže experiment, při němž vztýčili zahrocenou ocelovou tyč vysokou 40 stop (asi 12 m); tyč končila nad zemí (tj. nebyla uzemněna). Pozorovatel, který držel v ruce mosazný drát, se při přechodu bouřkových mraků s tímto vodičem přibližoval k dolnímu konci ocelové tyče a obdržel jiskry dlouhé až 1,5 palce (asi 4 cm).

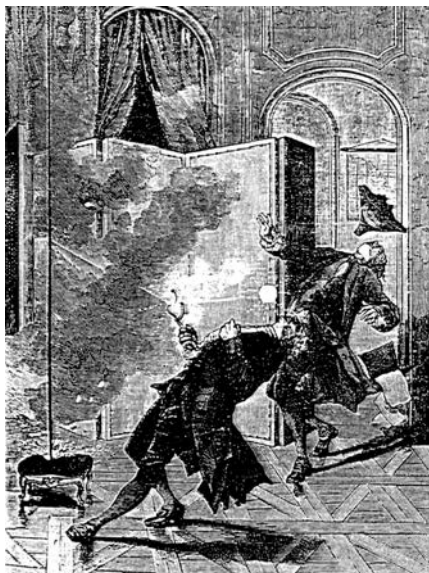
Ještě v tomtéž roce Franklin tento pokus zdokonalil. Spolu se svým synem vypustil papírového draka, z něhož vyčníval kovový drát; drak byl upoután konopným (částečně vodivým) motouzem, který byl zakončen klíčem (obr. 2.17). Když se přiblížil bouřkový mrak, volná vlákna motouzu se „ježila“ (tj. vzájemně se odpuzovala) a mezi klíčem a zápěstím Franklinovy ruky přeskakovaly jiskry. Franklin ukázal, že těmito výboji bylo možno nabíjet leydenskou láhev a že lze jimi zapálit líh, stejně jako elektřinou získanou třením. Zřejmě si neuvědomoval vážné nebezpečí, jimiž se těmito pokusy vystavoval a jen díky velkému odporu konopného lana nedošlo k úrazu.

Obdobný pokus, který prováděl člen petrohradské akademie, profesor GEORG WILHELM RICHMANN (1711–1753), národností byl Estonec, spolu s ruským fyzikem MICHAILEM VASILEVIČEM LOMONOSOVEM (1711–1765), skončil tragicky. V r. 1753, po prostudování Franklinovy knihy, chtěl zkoumat „bouřkovou“ elektřinu: na střechu svého domu upevnil hromosvod a atmosférickou elektřinu přiváděl do své laboratoře. Na obr. 2.18a je dobová kresba připomínající zasažení a usmrcení prof. Richmanna bleskem při experimentování.

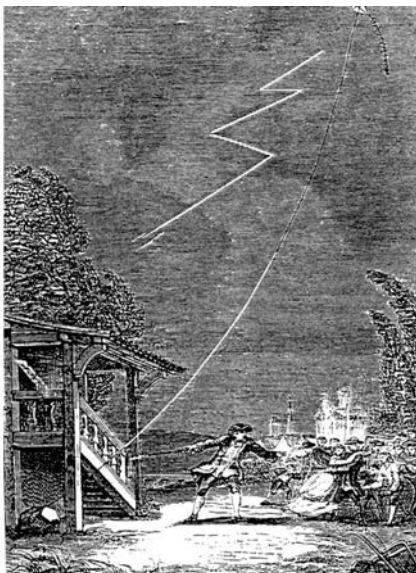
Od dob Gilbertových se považovalo za samozřejmé, že elektrické a magnetické jevy spolu vůbec nesouvisí. Časem se však počaly projevovat náznaky, že mezi oběma jevy jsou jisté souvislosti. Například Franklin při svém pokusu s papírovým drakem pozoroval, že železný klíč, jímž prošel elektrický výboj, byl zmagnetován. Na obr. 2.17 je tento Franklinův experiment zobrazen na dobové rytině. Souvislost elektřiny a magnetismu spolehlivě prokázal až o 70 let později Hans Christian Oersted.

Franklin se zabýval vědeckou činností v letech 1746–1757 a poté se pak již plně věnoval jen politické a společenské práci.

2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy



(a)



(b)

Obr. 2.18. Dobové rytiny znázorňující pokusy s atmosférickou elektřinou:

- (a) ...pokus prof. Richmanna s tragickými následky,
- (b) ... předvádění elektrických výbojů veřejnosti.

D'Alembert charakterizoval Franklinovy zásluhy výrokem: „*Eripuit coelo fulmen sceptrumque tyrannis*“ (*Nebesům vyrval blesk, tyranům vytrhl žezlo*), kterýžto nápis je na Franklinově náhrobku. Franklin získal za svůj život velké množství ocenění a uznání – čestné doktoráty několika univerzit, členství prestižních vědeckých institucí aj. Výrazem úcty Američanů k jeho dílu je jeho portrét na stodolarové bankovce.

Konstrucí bleskosvodu se též úspěšně zabýval náš Prokop Diviš.

Život Prokopa Divíše

PROKOP DIVIŠ, vlastním jménem Václav Divíšek (1698–1765) se narodil v Helvíkovicích u Žamberka. (Jeho rodný domek je dnes upraven

jako památník a u něho je postavena kopie Divišova bleskosvodu.) Diviš vstoupil do premonstrátského kláštera v Louce u Znojma, byl vysvěcen na kněze, na univerzitě v Salzburgu dosáhl doktorátu z teologie a na univerzitě v Olomouci získal doktorát z filozofie. Diviš působil v různých klášterních hodnostech (učitel filozofických předmětů, převor, zástupce opata) a v r. 1736 se stal farářem v Příměticích u Znojma. V jeho nevelké farnosti žilo jen asi 25 rodin a tak mu zbývalo dost času k fyzikálnímu experimentování. Diviš sestrojil obdivuhodný strunný hudební nástroj, který nahrazoval celý orchestr – nazval jej *denisor* (podle *Denis d'or* – zlatý Diviš); tento nástroj se nezachoval. Experimentoval též s používáním elektřiny v léčitelství. Diviš se však proslavil zejména svými experimenty k odvrácení nebezpečí spojeném s úderem blesku.

Jedním z motivů, které přiměly Diviše ke studiu blesků prý byla legenda o založení premonstrátského řádu. Prelát Norbert Xantinský žil rozmařilým a hříšným životem a když v jeho blízkosti udeřil blesk a on jako zázrakem bez zranění vyvázl, založil v údolí Prémontré u Laonu klášter. Asketicky zde strávil zbytek svého života a po své smrti byl prohlášen za svatého. Jeho ostatky byly v r. 1627 uloženy do kláštera premonstrátů na Strahově.

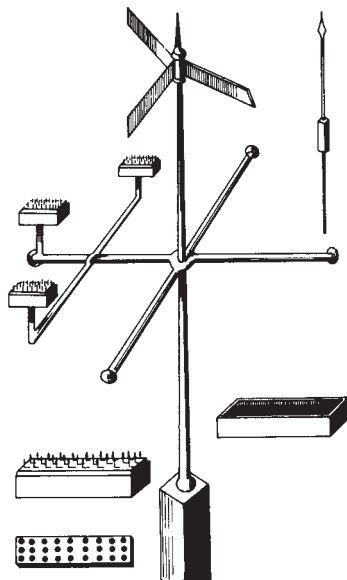


Obr. 2.19. Prokop Diviš.

2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy

Divišův „meteorologický stroj“

K výzkumům atmosférické elektřiny byl Diviš inspirován zprávou o tragické smrti petrohradského profesora Richmanna, uveřejněnou v „*Pražských poštovských novinách*“. Na zahradě přímětické fary si r. 1754 od místního kováře nechal postavit uzemněný hromosvod (bleskosvod), který měl preventivním vysáváním atmosférické elektřiny z mraků a jejím odváděním do země zabránit vzniku bouřek a udržovat pěkné počasí. Divišův přínos spočívá v tom, že dovedl Franklinovy poznatky do konce: prokázal, že má-li bleskosvod spolehlivě chránit před účinky blesku, musí být uzemněn.



Obr. 2.20. Divišův „meteorologický stroj“.

Diviš nazval svůj bleskosvod „*machina meteorologica*“ (*meteorologický stroj*). Na obr. 2.20 je zobrazena jeho dosti složitá ocelová konstrukce. Na železných ramenech byly umístěny kovové krabice se železnými pilinami a na svém povrchu měly velké množství drobných hrotů. Tato konstrukce byla upevněna na dřevěném stožáru vysokém 42 m a třemi řetězy byla spojena se zemí. Divišův projekt nenalezl pochopení u místních občanů.

Sedláci ji nazývali „d'áblův kříž“. V té době panovalo ve znojemské oblasti velké sucho a neúroda. Sedláci se domnívali, že je to způsobeno Divišovým bleskosvodem, a proto ho v r. 1756 zničili.

Diviš popsal své experimenty v knize „*Magia naturalis*“ (*Přírodní kouzelnictví*), kterou pro odpor církevních kruhů mohl vydat až v r. 1765 a to v Německu, v městě v Tübingenu. Jeho kniha vzbudila ve své době velký ohlas.

Katolická církev považovala blesk za božího posla trestajícího lidstvo a nepřipouštěla zasahovat do vůle boží. V té době byla rozšířena pověra, že ochranou proti blesku jsou *hromničky*: při blížící se bouřce byly v oknech zapalovány svíčky svěcené o Hromnicích (tj. 2. února). Bouřková mračna se pak rozháněla vyzváněním kostelními zvony. Některé zvony mají dodnes nápis „*fulgura frango*“ (*rozbijím blesky*). Naproti tomu Diviš hlásal, že proti živlům je nutno se bránit a nesvalovat vše na vůli boží. To nesporně svědčí o jeho osobní odvaze, avšak získal tím mnoho nepřátel, kteří mu ztrpčovali osobní život i vědeckou činnost.

K poznatku, že hromosvod je třeba uzemnit, dospěl též Franklin, ale až 6 let po Divišovi. Franklin si však zároveň uvědomil, že hromosvod bude též svádět blesk do země a jeho funkce bude nejen preventivní („odsávání“ elektřiny z mraků), ale též bude chránit budovy před ničivým účinkem blesku. Proto začal budovat hromosvody na střechách domů. Jeho hromosvod měl už dnešní podobu, byla to pouhá zahrocená ocelová tyč. První takový hromosvod postavil ve Filadelfii v r. 1760. Franklinovu myšlenku rozvinul v r. 1766 Benjamin Wilson, který ukázal, že hromosvod neovlivní počasí, atmosférickým výbojům nelze předcházet, ale lze je svést do země a tím je zbavit jejich ničivé síly.

V Evropě byl první hromosvod postaven v Anglii v r. 1762, poté v Německu v r. 1768 a v Čechách byl postaven první hromosvod v r. 1775 na zámku hraběte Nostice v Měšicích u Brandýsa nad Labem. V Praze byl první hromosvod postaven o rok později, na budově skladiště střelného prachu na Vyšehradě. Prvním *hromosvodníkem* (tj. stavitelem hromosvodů) u nás byl Anton Renner (1745–1828), který instaloval hromosvody na pražském hradu a na řadě dalších významných pražských budov; své výrobky dodával i do zahraničí.

2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy

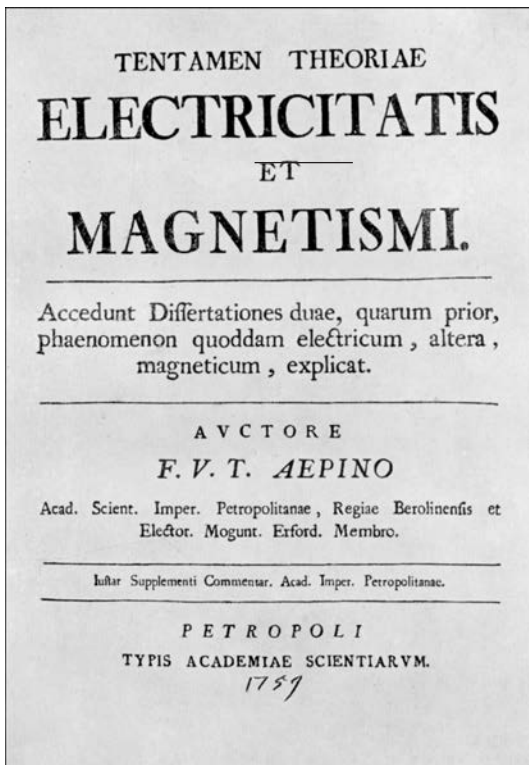
Na otázku, komu přísluší prvenství v objevení hromosvodu, asi nemá smysl hledat jednoznačnou odpověď. Franklin i Diviš pracovali na svém objevu od začátku 50. let 18. století. Franklin začal se svými pokusy o něco dříve, Diviš asi o nich něco věděl, ale Franklin sestrojil uzemněný hromosvod až 6 let po Divišovi. Avšak první hromosvody jsou patrně mnohem staršího data: staří Egypťané dávali na střechy svých chrámů vysoké tyče pobité mědí a na špicích pozlacené, železné tyče používali též Indové (4. stol. př.n.l.) ...

Pokus o jednotnou teorii elektrických a magnetických jevů a další nové poznatky

Prvním, jenž se pokusil o jednotnou teorii elektrických a magnetických jevů, byl Franz Aepinus.

FRANZ ULRICH THEODOR AEPINUS (1724–1802) byl německý fyzik. Narodil se v Rostocku, studoval v Jeně a působil jako profesor fyziky v Berlíně. Ve svých 32 letech odešel do Ruska. Byl zvolen profesorem a řádným členem petrohradské akademie, kde pak pracoval převážnou část svého života (v letech 1757–1798).

Aepinus byl autorem pozoruhodné latinsky psané knihy „*Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi*“ (*Pokus o teorii elektřiny a magnetismu*), obr. 2.21. Tato kniha, která vyšla v r. 1759 v Petrohradě, byla po Gilbertově díle dalším systematickým vědeckým pojednáním. Aepinus v ní formuloval *zákon elektrostatické indukce* (tj. prokázal, že na tělese vzniká elektrický náboj vlivem jiného blízkého elektrického náboje) a *zákon zachování elektrického náboje*. Podobně jako Franklin byl zastáncem unitární fluidové hypotézy. Pokusil se obdobně vysvětlit magnetické jevy, pomocí další nevažitelné substance – *magnetického fluida*. Myšlenku o vzájemném působení elektrického a magnetického fluida se mu sice nepodařilo matematicky rozvinout, ale upozornění na mnohé analogie mezi oběma jevy bylo pro další vývoj inspirativní. Aepinus upozornil, že látky mohou být kromě vodičů a izolátorů (jak zjistil již Stephen Gray) též *částečně vodivé*. Dalším jeho objevem bylo odhalení tzv. *pyroelektrického jevu* u turmalínu, tj. zjistil, že jeho zahřátím vzniknou na protilehlých koncích krystalu elektrické náboje opačného znaménka.



*Obr. 2.21. Titulní list Aepinovy
slavné knihy „Tentamen theoriae ...“*

První aplikace matematiky

Významným mezníkem je nástup matematiky do poznatků o elektrických a magnetických jevech. V roce 1760 oznámil Daniel Bernoulli, že objevil zákon kvadratické interakce mezi zeledrovanými tělesy. Dospěl k tomu na základě měření speciálně zkonstruovaným elektrometrem, avšak podrobnosti o tom neuveřejnil. Přesným kvantitativním měřením, které vedlo k formulaci hledaného zákona, se zabývali dvě významné osobnosti: Henry Cavendish a Charles Coulomb.

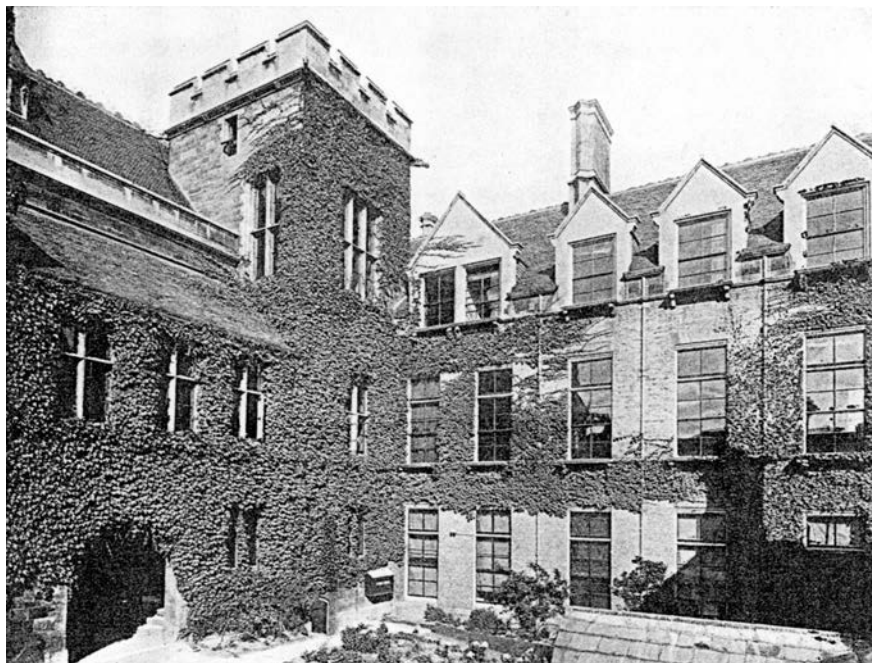
2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy

HENRY CAVENDISH (1731–1810) se narodil ve francouzském městě Nizza a vystudoval na univerzitě v Cambridge. Byl mimořádně zámožným mužem z anglické aristokratické rodiny, byl tedy finančně zajištěn a mohl se celý svůj život nerušeně věnovat soukromému bádání. Žil zcela osamoceně v Clapham Common na předměstí Londýna, s nikým se nestýkal (se svým služebnictvem se dorozumíval pomocí lístků zasouvaných pod dveřmi) a výsledky svého bádání nikdy nezveřejňoval.

James Clerk Maxwell se na konci své kariéry věnoval uspořádání Cavendishovy pozůstalosti. S překvapením tehdy našel v Cavendishových asi 100 let starých záznamech mnoho význačných objevů. Například zjistil, že Cavendish již 13 let před Coulombem objevil zákon pro sílu, jíž na sebe působí bodové elektrické náboje. Zjistil též, že Cavendish formuloval Ohmův zákon dokonce 45 let před Simonem Ohmem. Ukázalo se dále, že Cavendish zavedl pojem kapacity, objevil vliv prostředí na kapacitu (změřil permitivitu různých dielektrik), dokázal, že uvnitř duté vodivé nabitě koule je elektrické pole nulové a že si – řadu let před Faradayem – uvědomoval existenci elektromagnetického pole jako objektivní reality. Cavendish se neomezoval jen na zkoumání elektrických jevů, ale prováděl i astronomické výpočty. Například pomocí torzní váhy ověřil gravitační zákon, změřil gravitační konstantu a stanovil hmotnost a průměrnou hustotu Země. Cavendishův podivínský způsob života, opředený nesčetnými historkami a fantastickými dohady způsobil, že jeho objevy nebyly veřejnosti známy, nepřispěly tedy k rozvoji elektrotechniky a byly až později – ovšem nezávisle na Cavendishovi – znovu odhaleny dalšími badateli.

Na Cambridžské univerzitě byla v r. 1874 založena první výzkumná instituce v Anglii, která byla nazvána *Cavendishova laboratoř*, obr. 2.22. Byla vybudována podle projektu, který osobně vypracoval J. C. Maxwell a ten byl též jejím prvním ředitelem. Výstavbu laboratoře finančně podpořil sedmý vévoda z Devonshire, William Cavendish, který byl potomkem Henriho Cavendishe, částkou 8500 liber. Protože jeho finanční dar nestačil, nesl část nákladů Maxwell. Na počest donátora i jeho slavného předka rozhodlo vedení univerzity, že laboratoř ponese Cavendishovo jméno. Cavendishova laboratoř byla později rozšířena, zmodernizována a dnes je vědeckým pracovištěm s nejvyšší světovou prestiží. Poměrně velkému počtu pracovníků

Cavendishovy laboratoře se dostalo nejvyššího vědeckého uznání – byla jim udělena Nobelova cena.



Obr. 2.22. Cavendishova laboratoř vybudovaná
J. C. Maxwellem r. 1874.

Vyjádření silového působení mezi elektricky nabitými tělesy bylo patrně prvním prokazatelným použitím matematiky v nauce o elektřině. Tento vztah je dnes nazýván *Coulombův zákon*.

CHARLES AUGUSTIN de COULOMB (1736–1806) se narodil ve šlechtické rodině v Angoulem v západní Francii. Po absolvování vojenské školy v Paříži se stal ženijním důstojníkem; byl pověřen prováděním opevnovacích prací na karibském ostrově Martinik (Západní Indie). Onemocněl, v r. 1776 opustil vojenskou službu a vrátil se do Paříže. S příchodem Velké francouzské revoluce se uchýlil na své statky v Blois a věnoval se vědeckým výzkumům. Ke konci svého života (r. 1800) byl Napoleonem povolán na uni-

2.1. Elektrostatické a magnetostatické jevy

verzitu do Paříže. Za pozoruhodné poznatky, jichž dosáhl, byl jmenován členem Pařížské akademie věd.

Coulomb experimentálně dokázal (v letech 1785–89), že *odpudivá síla dvou malých stejně zelektrizovaných kuliček je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti r mezi jejich středy* tj. *Coulombův zákon*:

$$F \approx \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

kde veličiny Q_1 a Q_2 vyjadřují hodnotu zelektrování kuliček (tj. elektrické náboje).

Coulomb dále dokázal, že stejný vztah platí pro *přitažlivou sílu* dvou opačně zelektrovaných kuliček.

K měření této síly si Coulomb zkonstruoval torzní váhu (obr. 2.23), založenou na úměrnosti mezi torzním momentem vlákna a úhlem natočení. Neprováděl statické měření (neboť dříve než by se ustálilo vahadélko zavěšené na vlákne, náboj kuliček na konci vahadélka by se zmenšil) a sílu mezi oběma náboji určil z periody kyvu vahadla. Coulomb si byl vědom, že jeho objev nemá ani tak praktický význam pro výpočet síly, jako spíše pro definování elektrického náboje a jeho jednotky.

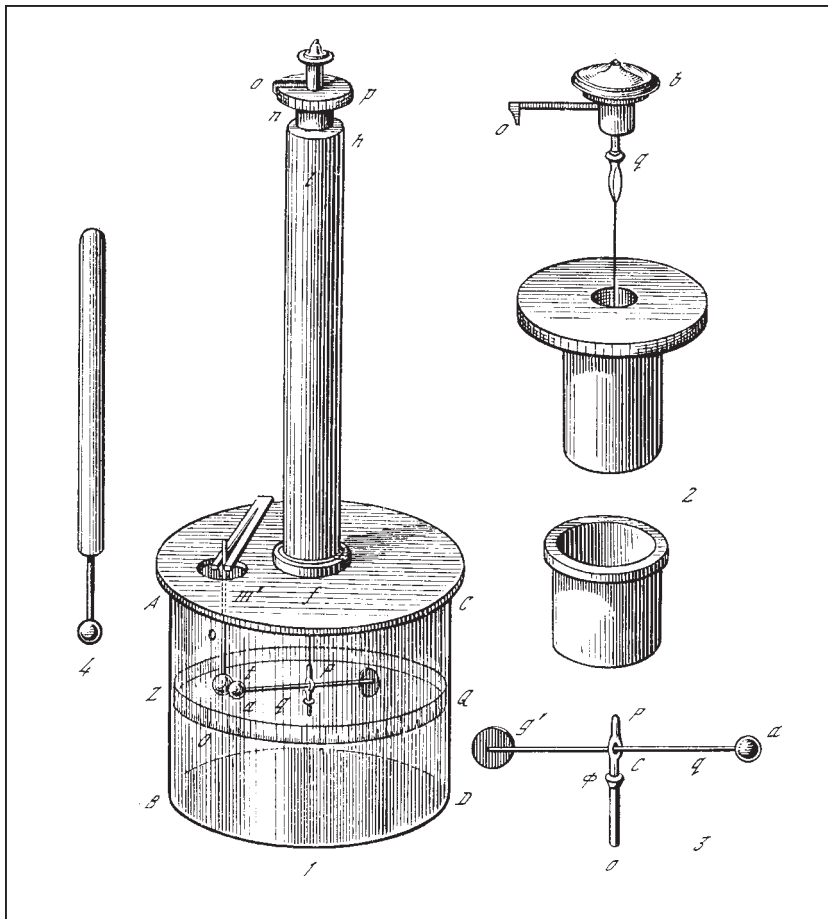
Coulomb považoval dosažený výsledek za analogický k Newtonovu gravitačnímu zákonu – ten byl tehdy znám již více než 100 let. Později Faraday ukázal, že silové působení mezi náboji *není* z fyzikálního hlediska obdobou gravitace. Interakce mezi oběma elektrickými náboji totiž závisí na vlastnostech prostředí (charakterizovaného permitivitou) a dále, na rozdíl od gravitace, existují síly přitažlivé i odpudivé. Až mnohem později byl Coulombův zákon zobecněn na případ pohybujících se nábojů nerelativistickou rychlostí (H. Weber) a posléze i relativistickou rychlostí (O. Heaviside).

Coulomb též ukázal, že obdobný vztah jako pro sílu mezi dvěma bodovými elektrickými náboji platí též pro silové působení mezi póly permanentního magnetu.

Coulomb dosáhl zajímavých poznatků i v jiných oblastech: zjistil, že hustota náboje na povrchu se zvětšuje se zakřivením povrchu. Pro hustotu síly (tj. sílu působící na plošnou jednotku povrchu elektrody) f našel, že je

První aplikace matematiky

úměrná hustotě povrchového náboje σ . Dnes tento poznatek vyjadřujeme vztahem $E = \sigma / \epsilon$, kde ϵ je permitivita prostředí a E je intenzita elektrického pole. William Thomson nazval tuto poučku *Coulombovou větou*.



Obr. 2.23. Torzní váha, na níž byl proměřován tzv. Coulombův zákon.

Pokusy s elektřinou se ovšem zabývalo mnoho fyziků, ale též laiků. Ve zdrcující většině se jednalo o demonstraci známých jevů, které nepřinášely nové poznatky a někdy sloužily jen pro pobavení společnosti. V literatuře

2.2. Stejnoseměrné proudy

z té doby se však setkáváme občas i s poznámkami, které jdou za rámec pouhých reprodukcí a naznačují hlubší souvislosti. Zpravidla však zůstaly nevyužity a byly zapomenuty a pak až za několik desítek let znovu objeveny a rozvinuty. Tak například existuje dopis sekretáře Švédské akademie věd, Wilhelma Margentina, v němž poukazuje na souvislost mezi elektrickými výboji získanými v laboratoři, severní září a působením na magnetku. Za objevitele vztahu mezi elektřinou a magnetismem je však od r. 1820 považován Hans Christian Oersted – pojednáme o něm v následující kapitole.

Za zmínku snad ještě stojí, že v době, kdy poznatky o elektřině byly ještě v samých počátcích, již vyšlo první obsáhlé dílo *Historie a současný stav nauky o elektřině*. Knihu napsal přítel Benjamina Franklina, anglický filozof Joseph Priestley (1733–1804), vyšla v Londýně v roce 1767 a měla 736 (!) stránek. Popisují se v ní např. Franklinovy pokusy s drakem a také, že síly mezi dvěma bodovými náboji jsou nepřímou úměrné druhé mocnině jejich vzdálenosti – asi 20 let před Coulombem.

2.2. Stejnoseměrné proudy

V další etapě vývoje poznatků o elektřině a magnetismu vystupuje na scénu stejnoseměrný proud. Tato etapa je spojena se jmény Italů Luigiho Galvaniho a Alessandro Volty.

Život Luigi Galvaniho

LUIGI GALVANI (1737–1798) byl italský lékař. Narodil se a celý svůj život prožil v Bologni. Studoval teologii na boloňské univerzitě, jež je jedna z nejstarších univerzit v Evropě. Později přešel na medicínu. Byl úspěšným lékařem a od r. 1762 působil na této univerzitě jako profesor lékařství (anatomie a později též gynekologie).

Severní Itálii obsadila r. 1796 Napoleonova vojska. Pro svůj nesouhlas s francouzskou okupací a odmítnutí přísahat na novou ústavu byl Galvani zbaven profesury a byl vyhnán z univerzity. Později, s přihlédnutím k jeho

Vážení čtenáři, právě jste dočetli ukázkou z knihy ***Pohledy do minulosti elektrotechniky***.
Pokud se Vám ukázka líbila, na našem webu si můžete zakoupit celou knihu.