

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA PEDAGOGICKÁ
KATEDRA MATEMATIKY, FYZIKY A TECHNICKÉ VÝCHOVY

DĚJINY A SOUČASNOST POKUSŮ V ELEKTROSTATICE
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tomáš Grešl

Fyzika se zaměřením na vzdělávání – metrologie
(2009-2013)

Vedoucí práce: Mgr. Robert Kunesch

Plzeň, 2013

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě svoji bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Pedagogické fakultě Západočeské univerzity v Plzni

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne

Tomáš Grešl

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří mi pomáhali a podporovali při tvorbě této práce. Zvláště pak vedoucímu této práce, panu Mgr. Robertu Kuneschovi, za jeho rady, konzultace a metodické vedení při vytváření této práce. Ale také za jeho trpělivost se mnou.

Dále bych rád poděkoval panu docentu Havlovi, za vypůjčení potřebné literatury, bez které by tato práce nemohla vzniknout.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš GREŠL**

Osobní číslo: **P09B0097P**

Studijní program: **B1001 Přírodovědná studia**

Studijní obor: **Fyzika se zaměřením na vzdělávání**

Název tématu: **Dějiny a současnost pokusů v elektrostatičce**

Zadávací katedra: **Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Dějiny elektrostatiččcch pokusů.
2. Elektrostatiččccké pokusy.
3. Vysvětlení pokusů.



Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 50**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Halliday, D. Fyzika. Vysokoškolská učebnice obecné fyziky.

Část 3, Elektřina a magnetismus. Brno: VUTIUM, 2000.

Hlavička, A. Pokusy z elektřiny. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1955.

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Robert Kunesch

Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy

Datum zadání bakalářské práce: **21. prosince 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. června 2013**

J. Coufalová

Doc. PaedDr. Jana Coufalová, CSc.
děkanka



Jarmila Honzík

Doc. PaedDr. Jarmila Honzík, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 4. ledna 2013

Obsah

1 Úvod	8
2 Dějiny elektrostatických pokusů.....	9
2.1 Prvopočátky elektrostatiky	9
2.2 Jantar	9
2.3 Třecí elektřina.....	9
2.4 Vodiče a izolanty	11
2.5 Leidenská lahev	12
2.6 Podstata blesku	13
2.7 Podstata elektřiny.....	13
2.8 Živočišná elektřina.....	14
2.9 Elektrodynamika.....	14
2.10 Objev vlastností krystalů	16
2.11 Renesance elektrostatiky	16
3 Elektrostatické pokusy a jejich vysvětlení.....	17
3.1 Veličiny v elektrostatice	17
3.2 Získání elektrického náboje I. - tření.....	18
3.3 Zánik elektrického náboje.....	18
3.4 Vzájemné působení elektrických nábojů	18
3.5 Nejmenší náboj	20
3.6 Přítomnost elektrického náboje	20
3.7 Elektrické siločáry	20
3.8 Elektroskop	22
3.9 Elektrický výboj.....	22
3.9.1 Přeskoková vzdálenost.....	23
3.9.2 Blesk	23
3.9.3 Využití elektrického výboje.....	24
3.10 Rozložení elektrického náboje na předmětech	25
3.11 Antistatická úprava	27
3.12 Uchování elektrického náboje	27
3.12.1 Kondenzátor.....	28
3.13 Získání elektrického náboje II.	30
3.13.1 Třecí elektřina.....	30
3.13.2 Wimshurstova influenční elektřina.....	30
3.13.3 Van de Graafův generátor.....	32
3.13.4 Piezoelektrický a pyroelektrický jev	33

3.14 Intenzita elektrického pole.....	33
4 Závěr.....	36

1 Úvod

Kdy se poprvé lidé začali zabývat elektrostatikou? Jak lze zelektrizovat těleso? Jaké pokusy jsou s elektrostatikou spojeny?

Ve své bakalářské práci bych chtěl na tyto otázky najít odpovědi. Chci se zaměřit na vývoj elektrostatiky, kdo jako první přišel na zákony elektrostatiky a popsat kdy dochází k zelektrizování těles a jak k tomu vůbec dochází.

K výběru tohoto tématu mojí bakalářské práce mne nejspíše vedlo, že jsem absolvoval střední elektrotechnickou školu a tudíž toto téma mi je blízké. A chtěl jsem si prohloubit znalosti v tomto oboru.

Cílem mé bakalářské práce je zjistit, za jakých okolností probíhal vývoj elektrostatiky, kým a objasnit pokusy, které s elektrostatikou souvisí. Dále bych zde chtěl popsat aplikace elektrostatiky v běžnějším životě.

2 Dějiny elektrostatických pokusů

2.1 Prvopočátky elektrostatiky

Možná se nám to bude jevit poněkud podivné, ale již ve starověkém Řecku znali určité jevy z elektrostatiky. Ale nejdříve se podíváme ještě dále do historie. Jsem si zcela jist, že elektrostatické jevy se projevovaly od stvoření světa. Ale kdy si jich člověk začal poprvé všímat, už nezjistíme. Moje osobní domněnky mne vedou k přesvědčení, že jakýkoliv elektrostatický projev byl považován za zcela záhodný, ne-li dokonce nadlidský. Pokud byl někdo tak chytrý, aby si uvědomil, jak takový „pokus“ probíhal a dovedl ho zopakovat, mohl být považován za velice váženého. Je to bohužel lidský osud, že jakmile něčemu nerozumíme a neumíme to běžně vysvětlit, tak méně chápavá část populace to považuje za zázrak nebo potvrzení božské existence.

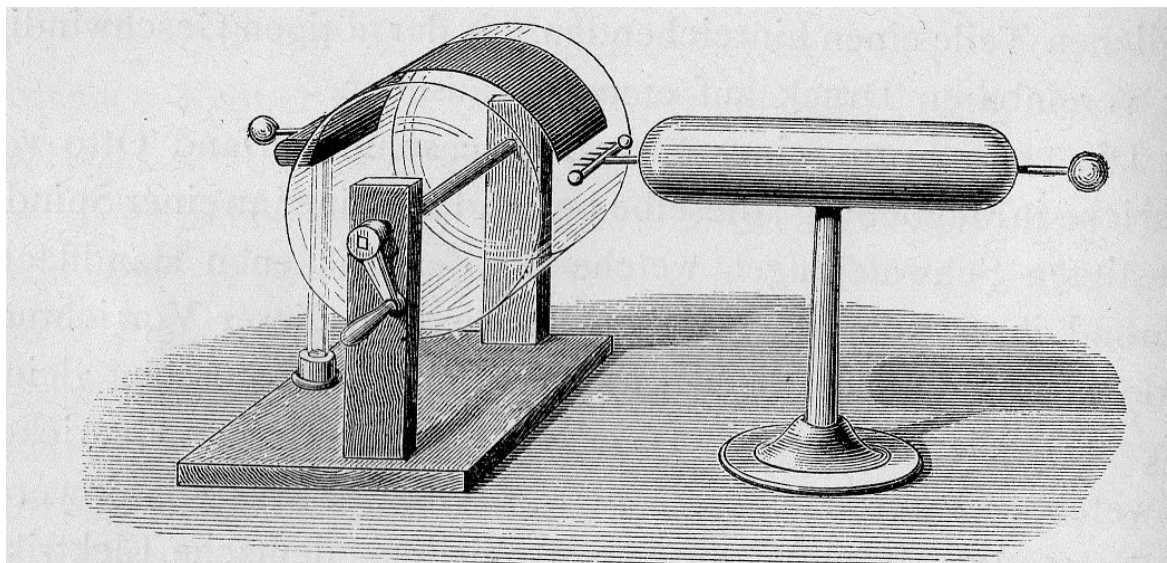
2.2 Jantar

Zpět do starověkého Řecka, tam si poprvé uvědomil jistý Thalés z Milétu podstatu jednoho pokusu. Bylo to zhruba v 6 stol. př. n. l. V té době se ještě nerozlišovaly jednotlivé vědní obory, a tak Thalés zasahoval od filozofie až k matematice, kromě jeho jiných prací dokázal popsat chování jantaru. Jantar je medově zbarvená zmineralizovaná pryskyřice, která kromě jiných vlastností dokáže naakumulovat (nashromáždit) elektrický náboj. Toho docílíme tím způsobem, že třeme jantar o vlněnou látku. V té době ani z daleka netušili příčinu tohoto jevu a popisovali ho jako duši jantaru. Již v té době využili dalších vlastností elektrostatiky, a to že pokud se nabil jantar jedním nábojem, vlněná látka se nabíjí opačným a navzájem se přitahují. Toho využili pro třízení vlny. Mimochodem není náhoda, že právě jantar má v latině název electro. Od těch dob se nijak nezkoumala podstata tohoto jevu, ale jevil se jako spíše takové varietní vtípkování, když se někdo dotkl a byl zasažen elektrickým nábojem.

2.3 Třecí elektřina

Bohužel jen s tímto objevem se na určitou dobu pozastavil rozvoj celé elektrostatiky. Nastal úpadek vědy a techniky a na dlouhá staletí přestal jakýkoliv vývoj v elektrostatice. Nebo alespoň o něm není žádná zmínka v žádných pramenech. Další výraznou kapitolu otevřela až Královská vědecká společnost v době, kdy jí vedl sir Issac Newton. On sám má s elektrostatikou jen hodně málo společného, ale v té době dosadil do této vědecké instituce spoustu svých lidí. Jedním z nich byl i Francis Hauksbee (1660–1713), který

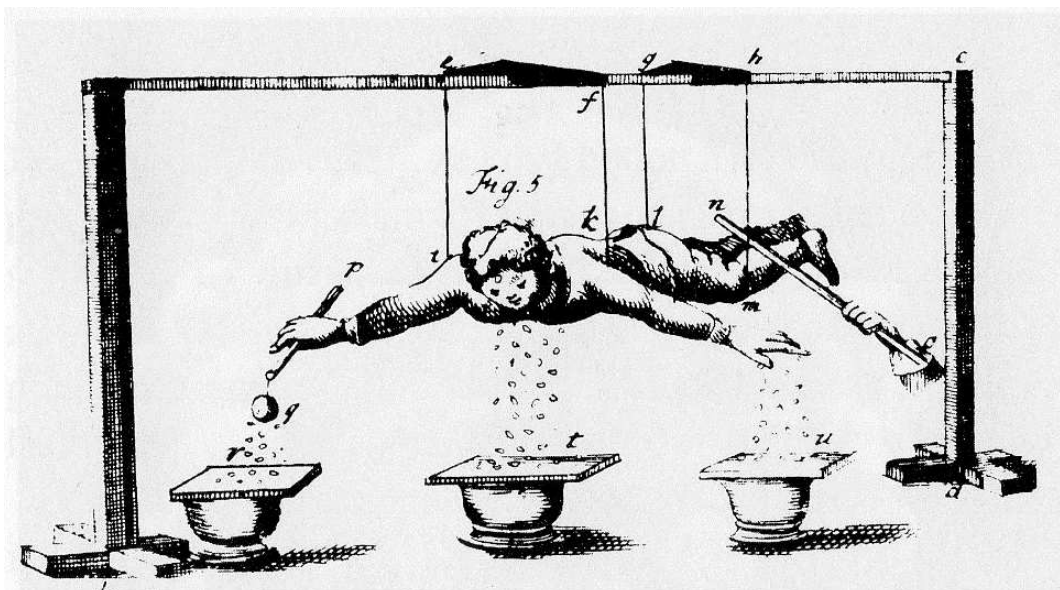
získal pozici experimentátora. V té době bylo zvykem každotýdenní setkání a při této příležitosti se i demonstrovaly různé experimenty. Hauksbee hledal inspiraci, až narazil na poměrně zajímavý pokus, který praktikoval vědce jménem Otto von Guericke (1602–1686). Bohužel se nepodařilo dohledat, jestli právě tento vědec byl tvůrcem myšlenky, která vedla k tomuto experimentu. Pan Otto von Guericke měl vyhotovenou kouli ze síry, kterou mechanicky poháněl, aby rotovala a při tření ruky o tuto kouli si všiml zajímavých úkazů, doslova popsanych jako odpudivé síly. Pak také nechal přibližovat se peříčko, které po doteku koule zase spadlo. Dále se snažil vylepšovat pokus a nechával si zhotovit koule z různých materiálů, až dospěl ke skleněné kouli. A právě Hauksbee si nechal podle této inspirace vyhotovit dutý skleněný válec, ve kterém pomocí, v té době nového vynálezu, vzduchové pumpy, nechal odčerpávat vzduch. Když se připravoval na předvedení pokusu, a bylo to zcela určitě v nějaké zatemnělé místnosti, všiml si, že když se dotýká rukou, pod rukou se objevuje jakási záře. Světlo bylo přesně okolo jeho ruky a na protější straně. To bylo zřejmě poprvé, kdy někdo viděl uměle vytvořený elektrostatický výboj. Při příležitosti setkání Královské vědecké společnosti tento experiment demonstroval a údajně všichni byli v úžasu z namodralého světla, které nikdo neuměl popsat a nevěděl, ani jak vzniklo. Samotný Hauksbee dále tento pokus nerozváděl, ani jej nevysvětlil, jen dále pracoval na stejné pozici, připravoval další pokusy a potvrzoval Newtonovy teorie, ale spustil obrovský zájem o elektrostatiku a její další zkoumání. Pro ilustraci a lepší představu, jak asi vypadal, je na následujícím obrázku (Obrázek 1.) zobrazen Hauksbeeho přístroj s menšími úpravami. Snad i proto se objevila veliká řada vědců, která se elektrostatikou zabývala. Mimo jiné také inspiroval spoustu pouličních umělců, kteří předváděli tyto pokusy pro pobavení publika a kteří si říkali elektrikáři. Ti praktikovali různé experimenty, jako například nabití skleněné tyče a přitahování peří, nebo dávali pomocí repliky Hauksbeeho přístroje malé elektrické rány. Za jedno z vrcholných čísel bylo považováno zapálení kovové nádoby obsahující koňak. V té době byl také znám pokus s názvem Elektrické blahořečení, který spočíval v tom, že osoba v křesle měla těsně nad hlavou kovovou korunu, a pokud skrze ni procházel výboj, rozzářila se.



Obrázek 1.

2.4 Vodiče a izolanty

Dostali jsme se do první poloviny 18. stol. a ke jménu Stephen Gray (1666–1736). Živil se jako barvíř hedvábí a právě tam se setkal s elektrostatickými výboji, které ho fascinovaly a nedaly klid jeho zkoumavé mysli. Shodou okolností jeho živobytí nedopadlo nejlépe, ale dostal možnost pracovat v Charterhouse, kde měl možnost provádět i experimenty. A právě tam zkoušel různé známé pokusy, možná známější, než on sám. Vyrobil jakýsi systém pro zavěšení živého člověka právě z hedvábných vláken tak, aby se osoba nedotýkala země. Dotyčnou osobu nabíjel pomocí obdoby Hauksbeeho přístroje. Když nabitá osoba natáhla ruku nad hromádku zlatých šupinek, šupinky se začali hýbat. Zdálo se, jako by se přilepovaly na ruku, a když se dotkly, zase odpadávaly. I když obrázek tohoto pokusu je poměrně slavný, viz (Obrázek 2.), tak pan Gray si u něj uvědomil zásadnější věc. Bylo to právě hedvábí, které musel použít, aby se náboj udržel na osobě. Jako by jinak náboj odtekl pryč. Byla to převratná myšlenka a Gray začal rozlišovat látky podle toho, jestli mají vlastnost odvést náboj, na vodiče a izolátory. Mezi izolátory zařadil hedvábí, sklo, vlasy a pryskyřici a naopak mezi vodiče zařadil lidské tělo a kovy. A mimochodem obdobné, ale zdokonalené rozdělení látek, se používá do dnešní doby.



Obrázek 2.

2.5 Leidenská lahev

Jeden z nejtěžších úkolů bylo dlouhodobé uchování náboje. Do této doby se například z předchozího pokusu přenesla elektřina na osobu, ale po nějaké chvíli se jakoby rozplynula. Převrat nastal v Holandsku, a to konkrétně na Leidenské univerzitě, kde jeden profesor objevil jednu z údajně nejpřevratnějších přístrojů 18. století. Vědec, který jej objevil, se jmenoval Pieter van Musschenbroek (1692–1761) a tento objev byl trochu poskvrněn způsobem, jakým byl odhalen. Profesor se snažil o uchování náboje a jeho myšlenky se ubíraly tímto směrem (je to jen domněnka autora), pokud si představíme, že elektřina teče jako například voda, pak by bylo možné ji uchovat podobně jako vodu. Proto vzal sklenici a nalil do ní z části vodu, do vody ponořil vodivý drát, připojený na Hauksbeeho stroj na výrobu elektřiny. Samotnou sklenici postavil na izolátor, aby mohla lépe udržet náboj. Bohužel tato aparatura nebyla schopna udržet náboj, dokud jednou neudělal chybu. Jednou se mu stalo, že zapomněl postavit sklenici a držel ji stále v ruce i při nabíjení. Po chvíli se druhou rukou dotkl vodivého drátu a nashromážděný náboj se přes něj vybil. Sám Musschenbroek napsal: *„Je to nový a strašlivý pokus, který vám nedoporučuji opakovat. Jakož ani já, jež ho provedl a přežil, díky boží bdělosti, bych ho nezopakoval ani za francouzskou korunu.“* Samotná sklenice udržela elektrický náboj klidně celé dny a nashromážděný elektrický náboj měl neuvěřitelnou velikost. Na počest města, kde se uskutečnil tento pokus, byla tato sklenice nazvána Leidenská láhev. Bohužel v polovině 18. století ještě žádný vědec nedokázal vysvětlit, jak přesně tato láhev pracuje,

ale dnes se stejného principu využívá u elektronické součástky zvané kondenzátor. A tuto součástku máme téměř ve všech přístrojích.

2.6 Podstata blesku

Jedním z dalších objevitelů na poli elektrostatiky byl Benjamin Franklin (1706–1790). Nejen, že se tento muž proslavil jako politik ve vznikajících Spojených státech, ale proslavil taky jako vědec. On sám neměl rád pověry a mlžení okolo vědeckých pokusů, proto se snažil všechno vysvětlit tak, aby tomu každý rozuměl. Proto se pokoušel vysvětlit jednu z největších záhad – blesk. Rozhodl se pro poměrně nebezpečný pokus. Chtěl navést draka do středu bouře, aby po úderu blesku do draka, dokázal, že blesk je tvořen elektřinou. Sám tento pokus nikdy naštěstí neprovedl. Naštěstí ani nikdo jiný neměl odvalu pro tento pokus, ale obdobný pokus byl uskutečněn ve francouzské vesnici Marly la Ville. Zde dva vědci Georges-Louis Leclerc, zvaný Comte de Buffon (1707–1788) a jeho asistent připravili aparaturu, kterou by měl jít zachytit blesk. Připravili 12 metrů dlouhou kovovou tyč, kterou vztyčili a zajistili pomocí dřevěné trojnohy a spodní konec této tyče dali do láhve od vína, čímž simulovali Leidenskou láhev. Pak už stačilo jen počkat na blesk, který podle Franklinových předpokladů, bude tyč přitahovat. Zdařilo se. 23. května 1752 přesně v 12:20 místního času udeřil blesk přímo do připravené tyče. V momentě, kdy asistent doběhl k láhvi a přiblížil ruku k tyči, přeskočil silný jiskrový výboj a popálil mu celou ruku. Od tohoto incidentu byla známá podstata blesku a potvrdil se předpoklad, že je tvořen stejnou elektřinou, jakou dokáže vyrobit člověk, jen několika násobně silnější. V té době to vedlo k převratným důsledkům. Lidé zjistili, že bůh neovládá blesky a že člověk je dokáže jistým způsobem vytvořit.

2.7 Podstata elektřiny

U Benjaminu Franklina ještě chvíli setrváme, jeho racionální mysl totiž stále trápila Leidenská láhev. Chtěl popsat její proměnné vlastnosti, a pak odvodit jak vůbec pracuje. Mimo jiné byl i účetní, a proto se dobře orientoval v matematice a všiml si, že může být předmět nabit kladně nebo záporně. Také předpokládal, že každý nabitý předmět, i lidské tělo, má kolem sebe jakési pole či jakousi atmosféru. Přišel tedy s teorií, že pokud je toto pole silné, je tam přebytek náboje a pokud slabé, tak nedostatek. Tyto přebytky a nedostatky se snaží vyrovnat jako v jiných přírodních jevech. Přesně podle jeho slov „*elektřina je jen pozitivní náboj plynoucí vyrovnat záporný náboj*“. A právě pomocí této myšlenky vysvětloval Leidenskou láhev. Do lahve se měl hromadit jeden náboj, a když ji

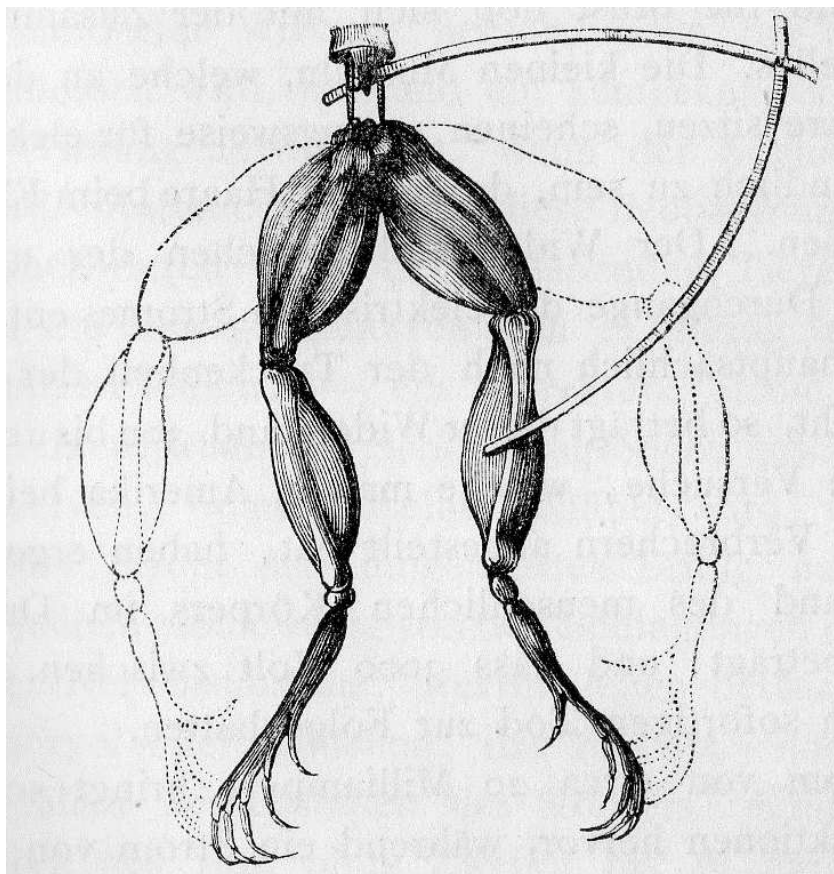
někdo držel v ruce, na ruce se hromadil druhý náboj, který se snažil ten uvnitř vyrovnat. To bohužel nebylo možné přes sklo, které ruku a vodu oddělovalo. Pak se stačilo jen dotknout vodivého přírodního drátu a náboje se vyrovnali.

2.8 Živočišná elektřina

V této kapitole se budeme věnovat trochu záhadnějšímu úkazu, a to živočišné elektřině. V Anglii se s rozvojem námořního obchodu rozvinulo i dovážení a objevování exotických předmětů. Jedním z nich byl elektrický rejnok. Do té doby byl pouze obsahem legend námořníků, kteří tvrdili, že toto podivuhodné zvíře dokáže přemoci i statného muže. Až v Anglii si vědci uvědomili, že zranění od rejnoka se podobají zraněním od Leidenské lahve. A pět svítla myšlenka, že to má něco společného s elektřinou. Jediné co se jim nelíbilo, bylo, že nedává elektrickou jiskru, a proto si nebyli jisti. Tuto problematiku se snažil objasnit Henry Cavendish (1731–1810), zhotovil model Leidenských lahví ve tvaru rejnoka. Zjistil, že tato soustava se chová podobně jako samotný rejnok, ale ještě tu byla otázka výboje, který nebyl vidět. To Cavendishovy trvalo trochu déle. Nakonec přišel na řešení a zároveň určil dvě nové veličiny v elektrostati. Byl to elektrický objem, nám známý jako velikost náboje a intenzita elektřiny, v dnešní době známá jako rozdíl potenciálů či napětí. Samotný rejnok měl dokázat vytvořit veliké napětí, ale celkově malý náboj. To jestli je ale člověkem vytvářená elektřina stejného druhu, jako je ta živočišná, rozdělilo vědce na několik desetiletí.

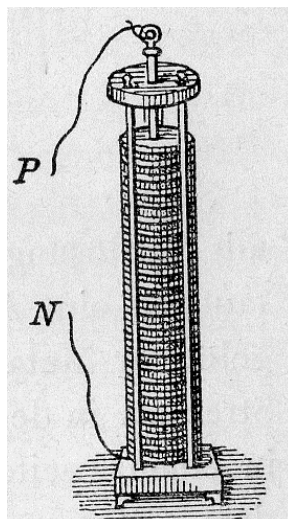
2.9 Elektrodynamika

Další veliký poznatek vycházející z elektrostati byl objev elektrického proudu. Ustálené a trvalé proudění elektřiny objevili Luigi Galvani (1737–1798) a Alessandro Volta (1745–1827). Luigi Galvani byl mimo jiné také lékař, a tak prováděl pokusy s elektřinou i na lidech. Například přiváděl elektrický náboj na ochrnuté části lidského těla a byl celý u vytržení, když se části těla, která se už nikdy neměli pohnout, hýbali. Mimo jiné je také znám jeho pokus, kdy zbytek z žabího těla, tedy konkrétně nohy, nechal hýbat právě přivedením náboje na nervy. Věřil, že každé zvíře má uvnitř sebe jistý druh elektřiny a tento druh mají pouze zvířata. Volta se naopak domníval, že svaly se nepohybují v důsledku vnitřní elektřiny, ale že pohyb je vyvolán vnějším nábojem a svaly fungují jen jako indikátor přítomnosti elektrického napětí. Kvůli tomuto výroku Galvani prohlásil Voltu za kacíře. Galvani prováděl dál pokusy s mrtvými žábami, a zjistil, že nepotřebuje žádný zdroj elektřiny pro rozhýbání svalů, jak je vyobrazeno na obrázku (Obrázek 3.).



Obrázek 3.

Stačilo pouze zavěsit žábu na drát a druhým se dotýkat nervových zakončení. Měl to být určitý druh elektřiny, který dokáže žába vytvářet i po smrti. Svoje poznatky shrnul v knize *De animalium electricitate* (O živočišné elektřině) a jeden výtisk zaslal i Voltovi. Volta nechtěl věřit ničemu podobnému a začal zkoumat, jak k tomu mohlo dojít. Zaujali ho použité kovy v pokusu a obzvlášť jejich pachů v ústech, když se použila určitá kombinace. Usoudil, že to musí být chuť elektřiny a že je vytvořena právě kombinací dvou různých kovů. Byla ale strašně slabá a při prostudování Cavendishových zápisků dostal nápad. Ten totiž sepsal o rejnokovi, že má jakési buňky na těle v určitém pravidelném uspořádání. Volta se rozhodl vytvořit model rejnoka s tím že, místo buněk použije kombinaci kovů, mezi které bude vkládat papír namočený v kyselině. Vynálezu se říkalo, po svém zhotoviteli, Voltův sloup a pro ilustraci jej najdeme na obrázku (Obrázek 4.). Sloup byl schopný vytvářet nepřerušovaný tok proudu (údajně pro přirovnání k proudu v potoce). Během pár týdnů vedl tento objev ke spoustě dalších objevů. Vědci zjistili, že lze rozložit vodu na kyslík a vodík, v roce 1808 Humphrey David postavil obrovskou soustavu baterií složenou z 800 Voltových sloupů a pomocí dvou uhlíkových tyčí osvětlil místnost Královské společnosti.



Obrázek 4.

2.10 Objev vlastností krystalů

Dlouho se v odvětví elektrostatiky nic nedělo, jelikož většina vědců se zabývala objevy v elektrodynamice. Ale přeci jen ještě zbývalo v elektrostatice něco k objevování. Byl to pyroelektrický jev a piezoelektrický jev. Pyroelektrický jev znamená, že zahřátá látka dokáže vytvořit elektrický náboj. Již v roce 1717 Louis Lemery zjistil, že turmalín v popelu přitahuje jeho horké částičky. Po dotyku se tyto částičky odrazí. Turmalín byl poté roku 1747 nazván elektrickým kamenem a 1756 Franz Ulrich Theodor Aepinus zjistil samotnou podstatu pyroelektrického jevu. Antonie César Becquerel pak předpokládal změnu elektrického potenciálu vlivem mechanického tlaku, bohužel se mu tato teorie nepovedla prokázat. Až bratři Curieové tento pokus zopakovali se správnými krystaly úspěšně a rovnou i vysvětlili princip pokusu.

2.11 Renesance elektrostatiky

Vědní obor elektrostatiky byl v úpadku až do doby, kdy přišla na řadu jaderná fyzika. Bylo třeba nějakým způsobem urychlovat částice, což vedlo k opětovnému rozvoji elektrostatiky.

Tímto byly položeny kompletní základy pro elektrostatiku a nadále se rozvíjelo téměř jen praktické využití a přístroje, kde bylo využito principů z elektrostatiky.

Celá tato část byla inspirována a citace byly převzaty ze zdroje [1].

3 Elektrostatické pokusy a jejich vysvětlení

Pro další část této práce, kde budou vysvětleny a matematicky popsány pokusy z elektrostatiky, je třeba nejprve vysvětlit některé důležité veličiny, popisující elektrostatické pole a jeho vliv na okolí. Snad zde budou vysvětleny natolik, že případný čtenář nebude mít potíže s jejich pochopením a následnou aplikací v pokusech.

3.1 Veličiny v elektrostaticce

Základní veličiny na první pohled nebudou zcela souviset s elektrostatikou, ale pro pochopení následných vzorců je třeba si osvěžit i tyto základní veličiny, které v nich budeme používat. Je to čas t a jeho základní jednotkou je sekunda (značka 1 s). Dále nás bude zajímat dráha, nebo jinak nazývaná vzdálenost, kterou můžeme definovat, jako odlehlost dvou různých bodů. Značí se různými písmeny (např. l , s , x , a), to podle praktické potřeby, základní jednotka je jeden metr (značí se 1 m). Veličinu vycházející z předchozí nazýváme plocha, značíme S a jednotka je metr čtvereční (1 m^2). Důležitou veličinu, kterou využijeme, značíme F , jednotkou je jeden newton (1 N) a nazýváme ji síla. Je to vektorová veličina, což nám říká, že má velikost i směr. A teď už k veličinám čistě elektrickým. Náboj značíme Q , jednotkou náboje je coulomb (1 C) a může nám určit, jestli je těleso nabitě kladně nebo záporně, to podle znaménka před velikostí. Ještě nezapomeňme zmínit jednu důležitou vlastnost, a to že elektrický náboj není spojitá veličina, ale diskrétní, což znamená, že roste po přesně daných hodnotách. Veličina zahrnutá i v mezinárodní soustavě jednotek SI je proud I , jednotkou je ampér (1 A). Udává množství prošlého náboje za jednotku času. Elektrický potenciál značíme φ , představa této veličiny je trochu komplikovanější. Můžeme si ji představit, jako práci potřebnou na přenesení náboje v elektrickém poli, ze vztažného bodu, kterému přisoudíme nulový potenciál. Jednotka potenciálu je volt (1 V) a úplně stejnou jednotku máme i pro napětí U , které je definován právě jako rozdíl dvou potenciálů. Intenzitu elektrického pole si představujeme jako vektorovou veličinu, určující vlastnost pole, ve kterém působí na náboj elektrické síly. Značíme ji E , jednotkou má volt na metr (1 V/m), nebo také newton na coulomb (1 N/C), které není tak běžně používaná. Kapacita se nejlépe dá popsat jako vlastnost tělesa uchovat určitou velikost náboje, značí se C , jednotka je farad (1 F). Nebudu zde vypisovat základní vztahy mezi zmíněnými veličinami, jelikož si myslím, že budou evidentní z následujícího textu, kde se jimi také budu snažit zabývat a vysvětlit je.

3.2 Získání elektrického náboje I. - tření

To, že látky se skládají z atomů, bylo zřejmé už ve starém Řecku. Atomy se váží do molekul a jako celek obsahují nesmírné množství vázaných, kladně a záporně nabitých částic. Kladně nabitě částice budeme uvolňovat jen těžko, jelikož jsou vázané v jádru, ale elektrony se u určitých látek dokáží odtrhnout od atomu. Je to staré klišé, které se opakuje na každém rohu: „*Třeme-li liščí ohon o ebonitovou tyč...*“. Bohužel je to dosti zavádějící, jelikož vůbec není třeba ebonitu a liščí oháňky. Ve starověku tuto vlastnost zjistili u jantaru, my tyto schopnosti, zelektrizovat materiál, můžeme pozorovat i u jiných druhů materiálů. Příkladem nám může být sklo za pomoci bavlny, vhodný plast za pomoci kůže a podobně. Na povrchu těchto látek se pak objeví vždy opačné náboje. A čím je to způsobené? Elektrony z jedné látky jsou doslova stírány na druhou látku. Je to důležitý poznatek, na který nemůžeme zapomenout, a to že náboj se nikdy nedá vyrobit nebo zničit, jen přenést a je neoddělitelný od hmoty. Ale to si vysvětlíme na jiných pokusech. Velikost přeneseného náboje závisí na spoustě proměnných, ale neexistuje pro ni žádný empirický vztah. Je tedy logické, pokud se elektrony stírají ze skleněné tyče do kůže, že skleněná tyč vlivem toho bude nabita kladně. Přebytek elektronů v kůži naopak zajistí, že kůže získá záporný náboj.

3.3 Zánik elektrického náboje

Další důležitou věcí je, jak elektrický náboj zaniká. Je to poměrně jednoduchý proces, kdy se vodivě spojí dva nesouhlasné náboje a za proudového nárazu se vyrovnají. Další způsob je tzv. uzemnění. Naše Země je také nabitě těleso a právě Zemi jsme si zvolili jako nulový potenciál, tak stačí vodivě spojit náboj se zemí a je hotovo. Elektrony se přesunou ke svým atomům, kde chybějí a elektrické síly se vyrovnají. Důležitou poučkou pro nás musí být, že elektrický náboj neumíme vyrobit ani zničit, jen separovat a odebrat, nebo vyrovnat jiným, opačným nábojem.

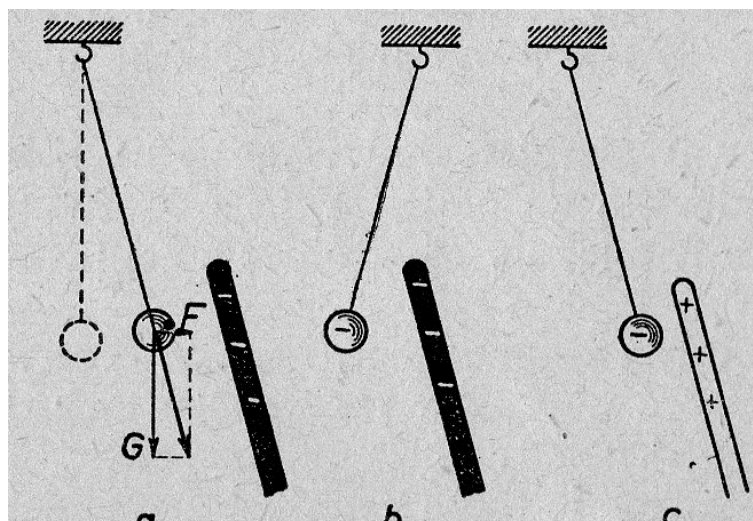
3.4 Vzájemné působení elektrických nábojů

Z těchto poznatků již můžeme separovat elektrické náboje a zkoušet jaký mají na sebe vliv. Na toto zkoumání je navržena spousta aparatur, ale nejvíce osvědčenou metodou jsou, dle mého názoru, aparatury závěsného typu. Dle starých učebnic jsou vyhotoveny pomocí bezové dřevě zformované do kuliček, tato kulička je zavěšena na tenkém a izolujícím závěsu, například hedvábné niti. Když se přiblížíme zelektrizovanou, například

skleněnou, tyčí všimneme si, že kulička má snahu se přitahovat. Ovšem to samé se stane, pokud přiblížíme použitou kůži, která je také zelektrizovaná, ale, dle našeho předchozího předpokladu, opačným nábojem. Jak si to vysvětlit? Kulička zavěšená na závěsu ještě nemá žádný, tedy nulový náboj vůči oběma zelektrizovaným předmětům. Můžeme tedy předpokládat, že pokud přiblížíme kladně nabitý předmět, chová se jako by měla záporný náboj a naopak pokud záporně nabitý, tak se chová jako by měla kladný náboj. Toho si můžeme všimnout na prvním obrázku (obrázek 5. a). V našem pokusu můžeme pokračovat a nechat kuličku se dotknout jednoho z předmětů, jak je tomu vidět na obrázku (obrázek 5. b). Uviděli by jsme, jak jako by od předmětu odskočila, to je způsobené že se vyrovnal náboj mezi předměty a oba se chovají jako souhlasně nabité. Pokud teď přiblížíme kladně elektrovanou tyč bude se kulička přitahovat, viz obrázek (obrázek 5. c). A pokud se dotkneme kuličky kladně nabitou skleněnou tyčí, odskočí od ní a bude také kladně nabitá. Pokud k ní v tento moment přiblížíme kůži se záporným nábojem, bude se k němu tíhnout, dokud se nedotkne. Tento pokus lze zdokonalit pomocí druhé bezové kuličky shodně zavěšené na nevodivém závěsu. Máme tu možnost nabíjet kuličky souhlasnými nebo rozdílnými náboji a sledovat zcela shodné chování. Tímto jsme si potvrdili předchozí předpoklad, že souhlasné náboje se odpuzují a rozdílné přitahují. Ještě zbývá určení velikosti nábojů a velikosti síly, kterou na sebe působí.

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{Q_1Q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

Tento vzorec se nazývá Coulombův zákon a není náhoda, že se podobá gravitační síle vznikající mezi dvěma tělesy. Pokud bychom si jej měli popsat, tak na jedné straně je výsledná síla F , která je přímo úměrná velikosti přiblížených nábojů a nepřímo úměrná kvadrátu jejich vzdáleností. Dále zde vystupují určité konstanty, zcela zásadní bude i nadále pro nás permitivita, označovaná ϵ s dvěma různými indexy. Index 0 je pro permitivitu vakua a nabývá hodnoty $\epsilon_0 \approx 8,8541878 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$. Zatímco permitivita s indexem r , je relativní a udává poměr mezi naměřenou ve vakuu a v určitém prostředí a je bezrozměrná. Její hodnoty se pohybují v rozmezí od 1 až, u speciálních materiálů, k 10^5 .



Obrázek 5.

3.5 Nejmenší náboj

Problém nám ovšem nastává, pokud chceme zjistit velikost náboje. Nejprve řekněme, že náboj o velikosti 1 coulomb je obrovský. Pro změření elementárního náboje využijeme i vzorců z mechaniky. Jako prvním se to podařilo Robertu A. Milikanovi mezi roky 1910 – 1913, ten vstříkoval malé kapky oleje do komory. Spoléhal na to, že při pohybu ve vzduchu se budou ionizovat, pak kapičky měly projít skrze připravenou díru do jiné komory, kde bylo urychlující elektrické pole, které šlo vypínat a zapínat. Z rychlosti pohybu při vypnutém a zapnutém elektrickém poli šlo poté vypočítat velikost náboje částic. Panu Milikanovi vycházeli výsledky s rozdílným nábojem, ale tento rozdíl se vždy rovnal určitému násobku hodnoty $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$. A z toho usoudil, že nejmenší možný náboj a tedy i náboj jednoho elektronu se bude rovnat této hodnotě.

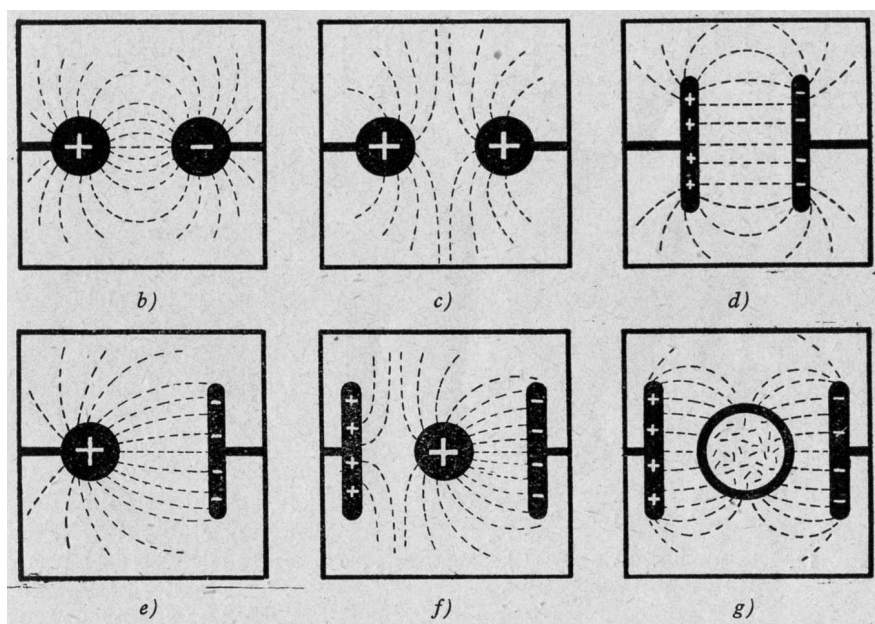
3.6 Přítomnost elektrického náboje

Takto jsme dokázali určit, že na určitém malém tělísku je náboj. Co když ale máme těleso natolik veliké, že vliv síly na něj působící bude příliš malý, aby se zřetelně projevil. Řešení je obdobné, vezmeme si na pomoc kuličku z bezové dřevě, nebo se také uvádí slunečnicová dřevě a zjistíme, jestli je k němu přitahována.

3.7 Elektrické siločáry

Další, poměrně zajímavější variantou, jak zjistit zda je těleso nabito, která by se, dle mého názoru, měla předvádět žákům na základních školách, je pomocí elektrických siločar. U magnetu to nikoho nepřekvapí, pokud okolo něj nasypu piliny

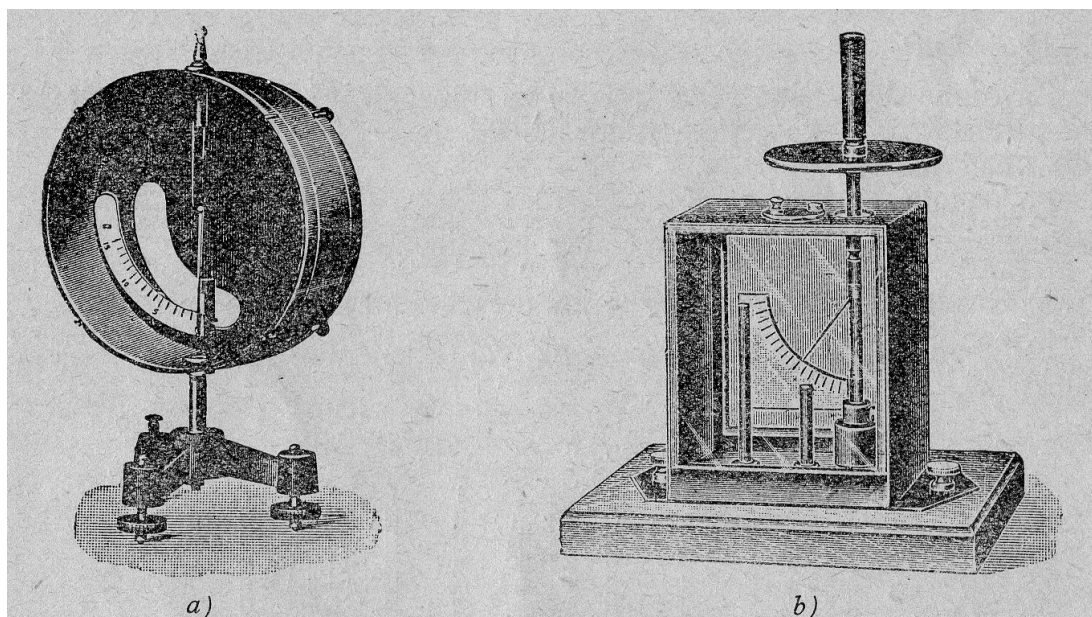
z feromagnetického materiálu, tak se piliny stočí a přeskupí do tvaru magnetických siločar. Stejný pokus ale lze provést i s elektricky nabitými předměty. Lépe je toto praktikovat mezi dvěma elektrodami, kde je intenzita pole mnohem větší, než při jedné elektrodě. To jak asi vypadá, můžeme vidět na následujícím obrázku (obrázek 6.), můžeme si zde povšimnout závislosti na typu nábojů a na tvaru elektrod. Následující řádky budou spíše popisem jak tento pokus připravit. Budeme potřebovat dvě desky, na které můžeme přivést elektrické napětí, z vodivého materiálu, od sebe odizolované, střelky podobného tvaru jako je magnetická, ale vystřižené z papíru. Vystřižené střelky musíme ještě umístit na nějakou jehlu, aby s nimi elektrické pole mohlo snadno otáčet i při nízké intenzitě. Po přivedení napětí na desky, to můžeme provést například použitím influenční elektriky, kterou si popíšeme v jiné kapitole a vložení papírových střelek mezi nabitou desku, si můžeme povšimnout stáčení těchto papírových střelek. Střelka se natočí přesně podle směru intenzity elektrického pole. Obdobné pokusy lze zrealizovat také s kovovou moukou anebo krupic v oleji. Pomocí takovýchto pokusů můžeme zkoumat siločáry při různých tvarech elektrod. Pokud si tyto pokusy vyzkoušíte, zjistíte, že největší intenzity a zároveň nejbližší u sebe jsou siločáry u hrotů a hran elektrod.



Obrázek 6.

3.8 Elektroskop

Dalším pokusem, jak můžeme zjistit, zda je těleso nabit, je využitím elektrometru anebo elektroskopu. To je mechanický přístroj, přímo k tomu určený. Praktický rozdíl mezi elektrometrem a elektroskopem je pouze v tom, že elektrometr je ocejchovaný a lze z něj vyčíst velikost přiloženého potenciálu. Přístroj je založen na principu silového účinku mezi náboji. Uvnitř přístroje je kyvadélko, které se nabije, a je odpuzováno od druhé, stejně nabité elektrody. Kyvadélko se začne odpuzovat i v případě, že nepřivedeme náboj přímo na vnější elektrodu, ale jen přiblížíme. To vlivem přitažlivosti nábojů se například nashromáždí elektrony v blízkosti přiblíženého nabitého předmětu a tím pádem chybějí na kyvadélku. Kyvadélko se přestane vychylovat, když těleso zase oddálíme a elektrony se vrátí na svoje původní místo a vyrovnají potenciál zase zpět. Takový přístroj si můžeme zhotovit i v domácích podmínkách. Stačí nám přehnout alobalový pásek, a položit ho na odizolovanou tyčku. Když přivedeme náboj, obě dvě strany budou od sebe odpuzovány úplně stejně, jako v odborně vyrobeném přístroji. Jak takový elektrometr vypadá, si můžeme představit pomocí obrázku (obrázek7.)



Obrázek 7.

3.9 Elektrický výboj

Máme ještě jeden velice známý projev přítomnosti elektřiny, a to když zaniká. Elektrický výboj je zcela určitě známkou přítomnosti elektřiny a známe spoustu praktických případů z běžného života. Například svlékáme-li si svetr, pocítujeme pomocí smyslu všechny tři důležité důkazy její přítomnosti. Pokud tuto jednoduchou věc budeme

provádět ve tmě, můžeme si povšimnout samotného světelného efektu výboje. Dále jej můžeme pocíťovat na svojí kůži, jakési štípnutí, to je způsobeno vylétnutím elektronů, anebo jejich zastavením o kůži, to podle toho odkud kam elektrony letí. A třetí projev je zvukový. Všechny tyto projevy lze zkoumat u libovolného výboje, i kdy vždy v různém měřítku.

3.9.1 Přeskoková vzdálenost

Aby k samotnému výboji došlo, musí dojít k překročení dielektrické pevnosti materiálu. Jinak řečeno, velikost rozdílu potenciálů musí být větší a zároveň vzdálenost elektrod menší než je tato mez. Mimochodem pro vzduch, se tato tabulková hodnota udává asi 3 MV/m i když záleží na spoustě vlastností prostředí jako je vlhkost nebo přítomnost zdroje volných iontů. Pokud bychom si to měli představit tak napětí 3 kV by mělo přeskocit u elektrod vzdálených od sebe 1 mm. To ovšem jen za určitých podmínek, za normálního atmosférického tlaku, za běžných pokojových teplot a v případě že v okolí nebude právě zmíněný žádný zdroj iontů nebo ionizujícího záření. Pokud bychom tlak snižovali, přeskoková vzdálenost se zvětší, protože iontům hmoty nebude bránit v cestě tolik částic. Dále pokud bychom zvýšili teplotu, tak střední kinetická rychlost částic vzroste a opět bude snazší vznik výboje. A do třetice, pokud bychom měli samotný zdroj iontů nebo ionizujícího záření (např. α -záření, β -záření), přeskoková vzdálenost se opět zvýší.

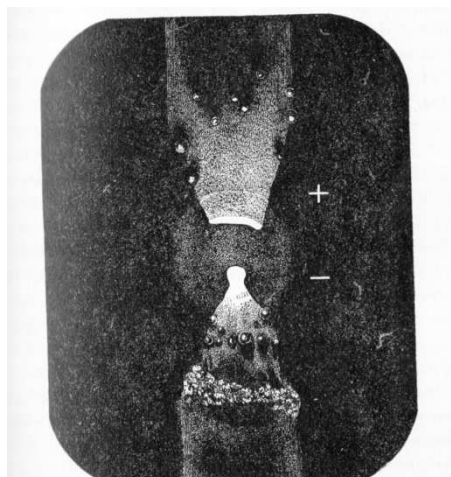
3.9.2 Blesk

Jeden z nejnámějších jevů, které lze běžně sledovat, je výboj blesku při bouřce. Kdy vlastně mraky se snaží vyrovnat náboj se zemí, ve většině případů jsou mraky nabitý záporně. Opět si zde můžeme povšimnout všech tří základních znaků, a to silného záblesku, zvukového vjemu a mechanického důsledku samotného výboje. Můžeme si také představit, jaké musí být asi napětí na takovýto průraz vzduchu, kdy tedy je ještě extrémně ovlivněn vlhkostí a dalšími podmínkami. Průměrný blesk, pokud to tak lze nazvat, má napěťový rozdíl asi 100 MV a přenese náboj o velikosti 15 C. Také je nutné říci, že barva elektrického výboje závisí na plynu, ve kterém probíhá. V případě naší atmosféry u zemského povrchu je to převážně dusík a proto vytváří nám známou a typickou barvu blesku. Zatímco například v neonu vzniká výboj načervenalé barvy, znám z doutnavek na spínačích. Z výše uvedených poznatků nám opět vyplývá další zařízení. Je jím bleskosvod, nebo také jímač blesků. Jak správně předvídal Benjamin Franklin, blesk se snaží najít si

nejkratší cestu k zemi, a proto pokud vztyčíme ocelovou tyč, o dostatečné výšce, blesky místo, aby udeřil okolo, kde je delší přeskoková vzdálenost, udeří do ocelové tyče a tím si zkrátí cestu. Pomocí tohoto jednoduchého principu lze chránit budovy před účinky blesku a dle norem ČSN a EN již všechny novostavby musejí toto opatření mít.

3.9.3 Využití elektrického výboje

Když už jsme u elektrických výbojů nelze nezmínit jejich praktické využití. V současné době se s elektrickým výbojem, i když si to možná neuvědomujeme, setkáváme téměř všude. Jako jedno z prvních praktických využití elektrického výboje mezi dvěma uhlíkovými tyčemi bylo, již zmíněné, osvětlení. Dvě uhlíkové elektrody jsou i vyobrazeny na následujícím obrázku (obrázek 8.) Toho se využívá do dnešní doby, i když v jiné formě. Každá zářivková trubice je založena na tomto principu. Trubice je naplněna parami rtuti a argonu zhruba o tlaku 400 Pa dokáže vytvořit výboj už při 120 V a na vzdálenost 120 cm. Výboj je hlavně v oblasti UV části spektra a je potřeba využít luminoforu na stěně trubice, který světlo převede do viditelné části světla. Svařování je dalším důležitým využitím výboje, ale tam jde spíše o to, že elektroda se vlivem výboje rozžhaví natolik, že se stává tekutou a my můžeme spojovat materiál. Bleskojistky, ochranná zařízení proti přepětí, mají jasně danou vzdálenost mezi elektrodami a tím i určené napětí, kdy dojde k přeskoku jiskry, a tím mohou chránit různá důležitá zařízení. Vakuové prvky v elektronice jsou založeny na principu elektrického výboje. V podstatě elektronky vedly k jednomu z největších rozvojų techniky poslední doby. Bez nich bychom neměli televizory, počítače ani žádné jiné číslicové zařízení. Principů, z předchozí kapitoly bylo využito i ve vojenském průmyslu. Existují grafitové pumy, které jsou určeny k vyřazení elektřiny v cílové oblasti. Mají explodovat poblíž elektrických rozvodů, nebo drátů vysokého napětí. Obsahují grafit, který má v oblasti snížit přeskokové napětí a tím způsobit zkrat v samotné rozvodně. Přímým účinkem pumy tedy není zabíjet v cílové oblasti, nebo způsobovat obrovské škody na majetku, jen v oblasti vypnout elektřinu. Další použití výboje je při tvorbě plazmatu, plazma je další skupenství hmoty se zajímavými vlastnostmi. V současnosti se pomocí této technologie mohou například nanášet tenké vrstvy, čímž nám mohou předměty měnit svoje mechanické vlastnosti, od odolnosti povrchu, až například ke změně přilnavosti k povrchu.



Obrázek 8.

3.10 Rozložení elektrického náboje na předmětech

Už víme z předchozího textu, jak elektrostatický náboj vzniká, jak zaniká, čím je charakterizován a jak se projevuje na svoje okolí. Při dalším výčtu vlastností nesmíme zapomínat na trvanlivost náboje. Musíme si uvědomit, že pokud nabijeme těleso určitým nábojem, neudrží si ho věčně. To by musel být naprosto dokonale izolované od okolí a toho se nám nepovede dosáhnout. Když si představíme nabitě těleso, na jehož povrchu se nacházejí volné nosiče náboje – elektrony, určitě je nám jasné že tam nezůstanou věčně a jelikož se odpuzují a všechny mají stejný náboj. Můžeme už jen z této úvahy předpokládat, že pokud má těleso pravidelný tvar, bude rozložení náboje konstantní. Máme čtyři základní rozložení náboje, v závislosti na jakém tělese se nachází. Nejjednodušší je případ, kdy máme těleso zanedbatelných rozměrů, právě jako jsme již operovali s malou kuličkou ze dřevě slunečnice nebo bezu. V tomto případě počítáme pouze s nábojem Q . Jednoduchý případ je, i pokud použijeme tenkého drátku, kde hovoříme o lineární hustotě náboje, kterou nám popisuje vztah.

$$\tau = \frac{dQ}{ds}$$

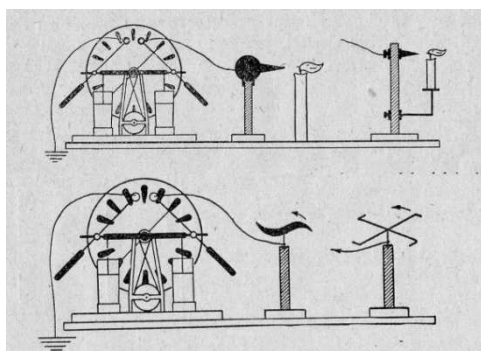
Plošnou hustotu náboje, kterou zavádíme například u nabitě desky, vyjadřuje vztah.

$$\sigma = \frac{dQ}{dS}$$

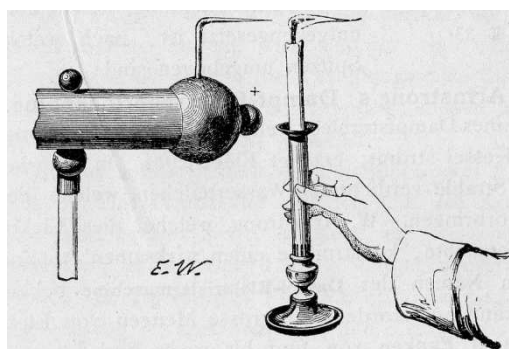
A nakonec objemovou hustotu náboje vyjadřuje vztah.

$$\rho = \frac{dQ}{dV}$$

Tyto výpočty jsou ale pouze zidealizované a lze je použít jen v určitých případech. Další zásadní poznatek ohledně rozložení náboje, který lze prokázat i pokusy je, že elektrony nesoucí náboj se nerozkládají na povrchu vždy rovnoměrně, hromadí se podle zakřivení plochy, ale nejvíce je jich na hranách a hrotech. To lze potvrdit, když budeme přenášet náboje z různých částí zakřiveného vodivého tělesa, pomocí zkušební kuličky na elektroskop. Na elektroskopu uvidíme různou výchylku. Dokonce z hrotů náboj tzv. srší. Lze to prokázat a povětšinou je to nazýváno elektrický (iontový) vítr. Postačí nám zdroj elektrostatického náboje a správně vytvarovaný vodič s hrotem. Pokud na vodič přivedeme náboj, měl by, dle našeho předpokladu, sršet z hrotu a to zjistíme například svíčkou postavenou před hrot. Plamen by měl být vychýlen právě tímto větrem elektronů, jak je tomu ukázáno na obrázcích (obrázek 9. a obrázek 10.). Dalším poměrně známým pokusem, který je proveditelný za pomoci tzv. Franklinova kolečka, kdy na vodivý vertikální hrot se položí lehká vodivá vrtulka a tato soustava se vlivem vyletujících elektronů z hrotů uvede do pohybu, jako na spodní části obrázku (obrázek 9.). Za pomoci elektroskopu lze u tohoto pokusu dokázat, že opravdu vyletují nabití částice. Stačí je umístit cca 5 cm od rotující vrtulky na stejnou výškovou úroveň a vyletující elektrony nabijí elektroskop. Ale potenciál je na všech částech vodivého předmětu shodný. To lze opět dokázat zkušební kuličkou tentokrát vodivě spojenou s elektroskopem, se kterou budeme přejíždět po nabitém vodivém předmětu. Elektroskop bude ukazovat stále stejnou výchylku vlivem shodného potenciálu na celé ploše vodiče.



Obrázek 9.



Obrázek 10.

3.11 Antistatická úprava

Na konci předchozího odstavce jsme zjistili, že na vodivém povrchu je všude stejný potenciál, a právě toho se využívá při všech antistatických úpravách povrchu. Zjednodušeně řečeno, stačí nám vše vodivě pospojovat a uzemnit a jakýkoliv náboj se vždy hned odvede a potenciál zůstane rovný nule. Možná bychom se mohli divit, kde všude se to využívá, ale vyrábí se i antistatické oblečení protkané tenkými vodiči a většinou se takové oblečení používá ve výrobě nebo montáži elektroniky citlivé na elektrostatický náboj. Ve zdravotnictví se antistatické úpravy využívá velice hojně, jelikož lidské tělo je za běžných podmínek chráněno vrstvou kůže, která ho ochrání a udrží náboj vně. Pokud si ale představíme člověka na operačním sále s otevřeným hrudníkem, jakýkoliv elektrický náboj by mohl způsobit obrovské škody na jeho orgánech, a každý si domyslí, k čemu by to zřejmě vedlo. Dokonce i reklamy všude okolo nás říkají, že dokážou pomocí svého přípravku ochránit před usazováním prachu. I tohle je možné pomocí antistatické úpravy, kdy povrch nebude přitahovat nenabitě částice například prachu.

3.12 Uchování elektrického náboje

Jak již jsem zmínil, elektrický náboj se z nabitého tělesa samovolně vytrácí, a proto byly snahy o jeho nashromáždění a uskladnění. Shromáždění se jinak taky může nazvat cizím slovem kondenzace. A právě tak je nazvána aparatura, která dokáže nashromáždit a dlouhodobě udržet elektrický náboj – kondenzátor. Již v předchozí části jsme se bavili o Musschenbroekově vynálezu, Leidenské lahvi. Právě ta měla vlastnost udržet náboj klidně i několik dní. Moderní kondenzátory vycházejí právě z tohoto vynálezu, i když jsou jiného tvaru, princip zůstal zachován. Jedná se tedy o dvě desky, mezi kterými je izolant, který dále budeme nazývat dielektrikum. Na desky se přivede rozdílný potenciál a náboje na těchto deskách se začnou přitahovat. Mezi deskami vznikne i elektrické pole, které ovlivní i samotné dielektrikum. Základní vlastností každého kondenzátoru je jeho kapacita, to je v podstatě veličina říkající nám, kolik se do takového kondenzátoru vejde náboje. Značíme ji C .

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{l}$$

$$C = \frac{Q}{U}$$

Z uvedených vztahů je zřetelné pár věcí. Velikost kapacity kondenzátoru je přímo úměrná velikosti desek kondenzátoru a nepřímo úměrná jejím vzdálenostem. Pak dále záleží, jaký izolační materiál použijeme pro naše dielektrikum, jelikož s materiálovou konstantou, relativní permitivitou, je spojena výsledná kapacita. Druhý vztah nám zase říká, že kapacita nám určuje, jak velký můžeme uchovat náboj a že závisí i na použitém napětí. Musíme dát pozor, abychom kondenzátor nepoškodili příliš velkým napětím, došlo by totiž k průrazu dielektrika.

3.12.1 Kondenzátor

V dnešní době se používá kondenzátorů všech možných druhů, i v závislosti na použití. Ve školních podmínkách lze kondenzátor vyrobit poměrně snadno, stačí nám k tomu dvě vodivé desky a nějaký nevodivý materiál, kterým je můžeme oddělit. Stačí staniolová folie mezi stránkami knihy, nebo jsem viděl provedení, kdy se použila PET lahev, do které se napustila obyčejná voda a zvenčí se obalila alobalem. Jednotlivé elektrody byli alobal a voda a dielektrikum plastová stěna. Jednotkou kapacity je farad (1 F) a musíme si uvědomit, že to je obrovská jednotka. To je především způsobeno, že permitivita vakua je v řádech 10^{-12} . Pro představu kondenzátor s kapacitou 1 F, by musel, při vzdálenosti elektrod 1 mm, použití vzduchu jako dielektrika, mít plochu elektrod asi $112,9 \text{ km}^2$. Dnes jsme naštěstí již na tak vysoké technické úrovni, že to lze, a to hlavně díky keramickým dielektrickým materiálům s vlastnostmi $\epsilon_r \approx 10^5$.

3.12.1.1 Výpočty s kondenzátory

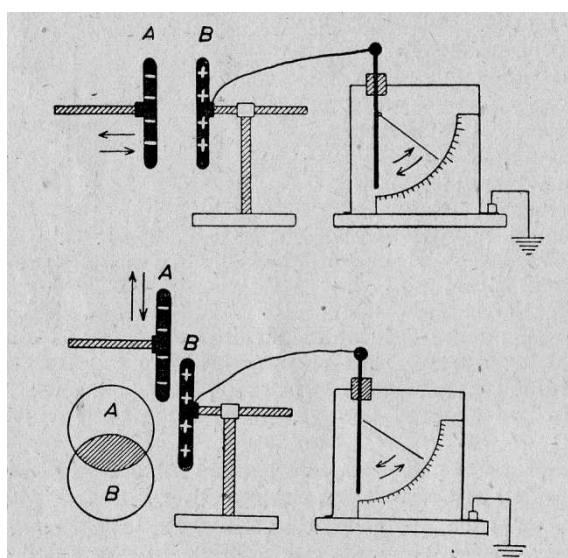
Jen rychle a ve zkratce, počítání s kondenzátory v obvodu a určení celkové kapacity je dosti jednoduché. Pokud zařadíme kondenzátory paralelně (vedle sebe), můžeme si představit, že jsme zvětšili plochu desek a hodnoty kapacity stačí jen sečíst. Komplikace nastává při zapojení sériovém (za sebe). Ale tam si opět vypomůžeme jednoduchou představou, kdy se zvětší mezera mezi deskami a to vede ke snížení kapacity. Zcela univerzální vztah pro sériové zapojení je následující

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

3.12.1.2 Pokusy s kondenzátory

Pomocí kondenzátoru lze opět provést řadu pokusů. Jako základní bych jmenoval ty, které dokazují jejich základní vlastnosti, nashromáždit a udržet náboj. Připravíme si

elektroskop, dvě vodivé desky, které musejí být od okolí izolované a vodič, kterým propojíme jednu desku s elektroskopem. Teď když elektroskop nabijeme, zároveň se nám objeví náboj i na propojené desce. Když druhou desku budeme přibližovat k první, uvidíme, že elektroskop bude ukazovat větší výchylku a naopak, viz. horní část obrázku (obrázek 11.). Při stejné situaci můžeme druhou desku držet ve stejné vzdálenosti, ale měnit velikost překryté plochy, opět uvidíme změnu výchylky elektroskopu. To je vyobrazeno na spodní části obrázku (obrázek 11.) Takto jsme si snadno dokázaly, závislost kapacity kondenzátoru na vzdálenosti desek a na velikosti plochy. Teď ještě můžeme využít stejné aparatury a vkládáním různých nevodivých materiálů mezi nabité desky, můžeme pozorovat závislost celkové kapacity na vloženém dielektriku. Bohužel kondenzátory se více hodí do elektrodynamiky a ta nás v této práci nezajímá.



Obrázek 11.

3.12.1.3 Technologické provedení a vlastnosti kondenzátorů

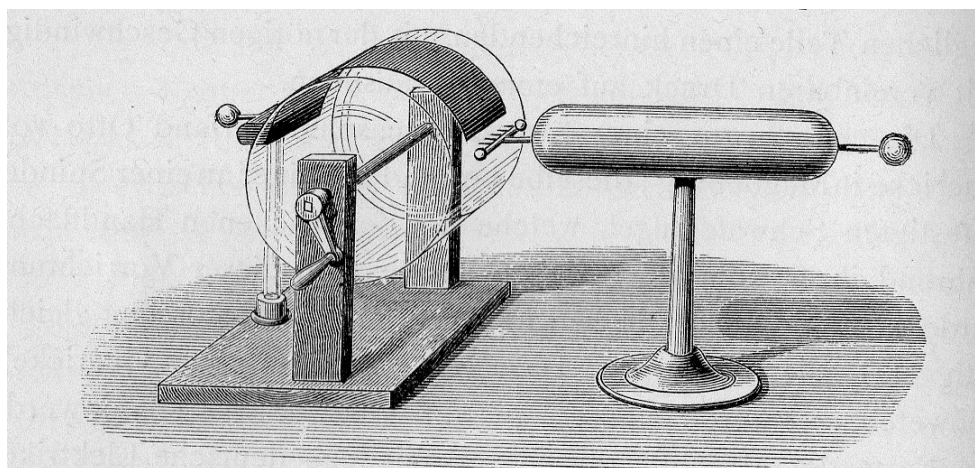
Pro zajímavost ještě popíši elektrolytický kondenzátor, který je v dnešní době pro svoje vlastnosti hojně používán. Má samozřejmě všechny vlastnosti jako klasický, takže má kapacitu a má průrazné napětí. Důležité však u nich je že nesmí dojít k přepólování a lze je použít jen ve stejnosměrných částech obvodů, což je způsobeno technologií výroby. Technologií je několik například tzv. tantalové či polovodičové. K pochopení nám přijde vhod popsat nejběžnější hliníkový. Kondenzátor uvnitř je tvořen stočenou hliníkovou folií, která musí být zhotovena z téměř čistého hliníku, řádově čistoty 99,999% a lepší. Na povrchu této fólie se elektrochemickou cestou vytvoří oxid hlinitý (Al_2O_3), který se chová jako dielektrikum. S tím rozdílem, že nám pomohl vytvořit obrovskou plochu elektrody.

Můžeme si představit, že elektroda má teď jakousi pórovitou strukturu a už zbývá jen smotat dovnitř savý papír s elektrolytem, který působí jako druhá elektroda. Vznikl nám kondenzátor, který má, vzhledem ke svým rozměrům, obrovskou kapacitu. To, proč jej nesmíme přepólovat, je kvůli použití oxidu jako dielektrika. V případě přepólování by došlo k chemické reakci a přerušení této vrstvy. Také může dojít k odpaření elektrolytu, tím ke zvětšení jeho objemu a v případě chybějícího přetlakového ventilu explozi celého kondenzátoru.

3.13 Získání elektrického náboje II.

3.13.1 Třecí elektřina

Již jsme si probrali možnost získat náboj pomocí tření, například skleněné tyče kůží, teď je na řadě trochu důmyslnější způsob. Nejprve si vzpomeňme na Hauksbeeho přístroj. Skleněná koule nebo válec, s vyčerpaným vzduchem uvnitř, připojený na mechanický převod, aby mohl rotovat. Pak stačí třít rotující válec kůží a získáme elektrický náboj. Celá aparatura je vyobrazena pod tímto odstavcem (Obrázek 12.). Sice by se mohlo zdát, že jsme se moc neposunuli, jen od skleněné tyče k rotujícímu válci, ale připojíme-li k němu ještě nějaký jímač náboje, můžeme jej využít jako poměrně dobrý zdroj elektrického náboje. Na pokusy z elektrostatiky stačil elektrikářům a vědcům poměrně dlouho.

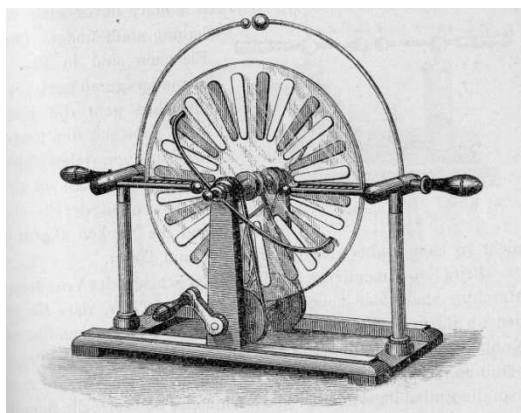


Obrázek 12.

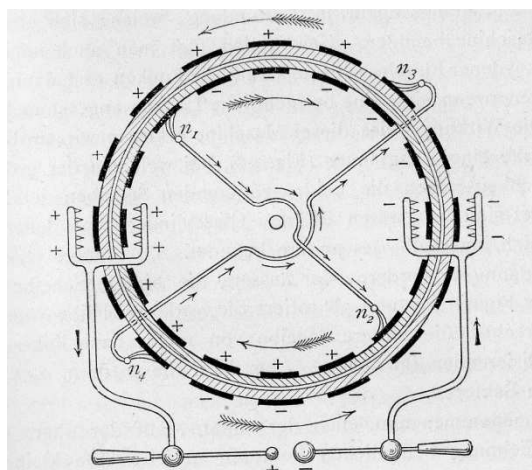
3.13.2 Wimshurstova influenční elektřina

Dalším možným zdrojem statického náboje je influenční elektrika, jinak se jí také říká po svém objeviteli Wimshurstova influenční elektřina. Jak vypadá ve skutečnosti, můžeme vidět na obrázku (obrázek 13.). Je opět založena na principu přeměny mechanické práce na elektrickou energii. Jsou to dva, nejčastěji skleněné, kotouče těsně u sebe, otáčející se proti

sobě. Na obvodu kotoučů jsou kovové polepy, které jsou paprskově uspořádané. Na samotné polepy doléhají vodivé štětečky, nazvané vyrovnávač. Každý vyrovnávač propojuje polepy na protilehlé straně každého kotouče, takže každý kotouč má svůj vlastní vyrovnávač a jsou v kolmé pozici vůči sobě. V rovině půlící úhel vyrovnávačů jsou umístěny sací hroty sběrače, ty jsou vyrobeny jako vidlice objímající obě desky. Když si představíme, že na jednom polepu se objeví záporný náboj tak na druhém skleněném kotouči se vybudí kladný. Pomocí vyrovnávače bude náboj odveden a tím bude způsobeno, že se naindukují opačný náboj, který způsobí objevení náboje na opačné desce. Takhle bychom mohli pokračovat dále, ale je jasné že mezi vyrovnávači se objevuje náboj, který nám stačí už jen sbírat a vznikl nám zdroj elektrického potenciálu. Pro lepší orientaci doporučuji podívat se přiložený schematický obrázek (obrázek 14.). Ke svodům elektriky jsou povětšinou připojeny Leidenské lahve, které nám zaručí nashromáždění většího náboje. Pomocí indukční elektriky je možné dosáhnout napětí okolo 100 000 V. Lze ji využívat ale jen pro získání statického náboje, její účinnost je počítaná zhruba na 2 %. Podařilo se mi sehnat určité poznámky pro používání a údržbu takového přístroje. Doslova zde píše: „*Stroj je třeba udržovat v čistotě, na suchém a podle možností temném místě. (Ebonit totiž na denním světle oxyduje.) Dbejme, aby ramena se sběracími kartáčky (vyrovnávače) stála správně a štětečky aby se dotýkaly kotoučů. Obě ramena musí stát křížem. Hledíme-li na stroj zepředu, musí vrchní štětička stát na levé polovici kotouče a spodní na pravé. Učiníme dobře, upravíme-li před každým pokusem polohu ramen. Těž hnací řemeny ať jsou správně zapojeny; řemen na straně kliky běží jednoduše, druhý na opačné straně běží křížem. Kotouče se musí otáčet proti sobě. Koule elektrod je třeba důkladně otřít a ze všech částí musí být odstraněn prach.*“



Obrázek 13.

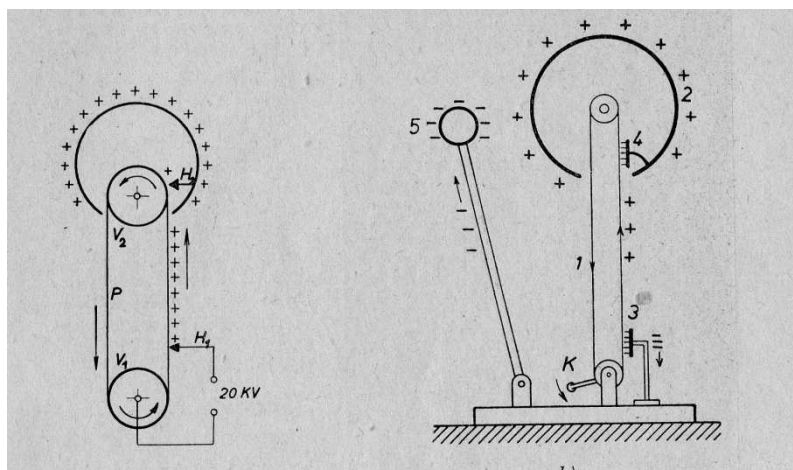


Obrázek 14.

Dočetl jsem se také, že influenční elektrickou lze vyrábět i střídavý proud. Stačí vyřadit leidenskou lahve a přiblížit k sobě hodně blízko elektrody, mezi kterými bude přeskakovat elektrická jiskra. Tímto střídavým proudem lze uvést Roentgenovy lampy a Geisslerovy trubice v činnost.

3.13.3 Van de Graafův generátor

Van de Graafův generátor je asi nejdostupnější zdroj velmi vysokého napětí. V dnešní době je to poměrně běžná výbava k demonstraci pokusů z elektrostatiky na základních i středních školách. Lze pomocí něj dosahovat napětí v řádech 10^6 - 10^7 V, to podle jeho konstrukce. Skládá se z pásu izolantu (hedvábí, pryž), nataženém na dvě kladky, který je poháněn, aby rotoval. Pohon může být ruční nebo elektrický pomocným motorkem. Dále na zařízení najdeme dva hřebeny po odsátí náboje, jeden dole, který je uzemněn a druhý nahoře, který předává náboj konduktoru. Konduktor je jakási vodivá kopule, která překrývá horní kladku, což je dost důležité. Tím že je kladka překryta, ztrácí pás všechny náboje a ten je přemístěn na kopuli. Je to založeno na stejném principu jako pokus s Faradayovým pohárem. Je možná ještě jedna varianta, a to taková, že nemáme hřebeny k odsátí náboje, ale kladky jsou vyrobeny vodivé a jsou využívány k odvedení náboje, místo hřebenů. Pro pochopení principu si můžeme vypomoci obrázkem umístěným pod kapitolou (obrázek 15.). Hlavním důvodem, proč byl vytvořen generátor tak velkého napětí, byla potřeba elektrických polí o velké intenzitě, aby bylo možné zkoumat nabitě částice v atomové a jaderné fyzice.



Obrázek 15.

3.13.4 Piezoelektrický a pyroelektrický jev

Zajímavými zdroji elektrického napětí, kterých se však při demonstraci pokusů nevyužívá, je piezoelektrický a pyroelektrický jev. Pyroelektrický jev je založen na ohřátí pyroelektrického krystalu, které způsobí spontánní polarizaci a na povrchu krystalu se objeví elektrický náboj. Piezoelektrický jev je mnohem zajímavější a je hojněji využíván. Krystal, který je v elektrické rovnováze, mechanicky zdeformujeme, a tím posuneme ionty uvnitř krystalu, to má za následek nerovnováhu uvnitř krystalu, která se projeví objevem elektrického napětí na jeho protilehlých stranách krystalu. V praktických provedeních lze využít i opačný postup, kdy vlivem elektrického napětí se krystal deformuje, pak stačí jen správný rozměr krystalu a může rezonovat. Takto pracují krystalové oscilátory uvnitř elektrických přístrojů vyžadujících přesnou frekvenci. Další běžné využití je v elektroakustických převodnících.

3.14 Intenzita elektrického pole

Už jsme částečně probírali co je intenzita elektrického pole, jak se značí a jakou má jednotku. Možná by se mohlo zdát, že je to nedůležitá veličina, jelikož jsme s ní ještě moc neoperovali, ale opak je pravdou. Nejlépe si intenzitu můžeme připodobnit k elektrickým siločarám. Elektrické pole, jak již název napovídá, obklopuje každé nabitě těleso, dokonce i jednotlivé elektrony.

$$\vec{E} = -\text{grad } \varphi$$

Ze vztahu je vidět, že intenzita elektrického pole je vektorová veličina a je závislá na největším rozdílu potenciálů. Okolo jednoho bodového náboje bude vypadat jako paprsky

vycházející z něj, nebo vstupující do něj, to podle typu náboje. V případě elektronu směřuje vektor dovnitř náboje, v případě kladného náboje směřuje od něj. Komplikace nastávají už v případě více nábojů blízko u sebe.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{Q}$$

Výše napsaný vzorec nám vysvětluje, jak intenzita elektrického pole působí na náboj. Můžeme si představit náboj, který je obklopen intenzitou elektrického pole, a když se do tohoto pole dostane druhá nabitá částice, vznikne silové působení na tuto částici. I druhá částice je ovšem obklopena elektrickým polem, které působí na první částici. Tím jsme vysvětlili vzájemné silové interakce mezi všemi nabitými tělesy, kterou jsme si již popisovali. To, že se opačné náboje přitahují, se využívá v praxi běžně, příkladem nám může být lakování, kdy lakovanou plochu nabíjí elektrickým nábojem a lak se k této ploše přitahuje. Také odlučovače v komínech jsou vyhotoveny tak, že kouř jde přes nabitě těleso a všechny pevné částičky jsou zachyceny. Takzvaná laserová tiskárna funguje na přitahování dvou různě nabitých těles také. Válec je nabit, laser pak osvítil ty plochy, které se vybijí, právě tam se zachytí prášková barva zvaná toner. Pak už jen stačí přenést obtisknutím válce na papír barvu a zapéct ji.

Intenzitu elektrického pole můžeme také spočítat praktičtějším vzorcem.

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

I Intenzita má svoje praktické využití v běžném světě. Právě kvůli ní došlo k tak velikému rozvoji zdrojů elektrostatických nábojů na začátku 19. století. Rozvoj byl hlavně způsoben potřebami v oblasti atomové a jaderné fyziky. Pokud totiž chceme zkoumat jednotlivé části jádra, které nesou elektrický náboj, a my potřebujeme, aby získala rychlost, intenzita elektrického pole nebo silné magnetické pole či jejich kombinace je klíčové.

$$\vec{F} = Q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Vztah nám vysvětluje, jak výsledná síla, takzvaná Lorentzova síla, je ovlivněna velikostí náboje Q pohybujícího se tělesa rychlostí v , na které působí elektrické pole o intenzitě E a magnetická indukce B . Ve vztahu můžeme vidět vektorový součin. Výsledný

směr je poměrně jednoduché určit, pokud je známo pravidlo pravé ruky pro součin vektorů. Výslednice je kolmá na oba dva vektory a směr se určí tak, že zdánlivě uchopíme vektory pravou rukou. Pořadí volíme tak jako je tomu v zapsané rovnici a první je blíže u dlaně druhý blíže ke konci prstů, palec ukáže směr výsledného vektoru.

V praxi se Lorentzovi síly využívá u filtru rychlostí. Kdy pohybující se částice musí prolétnout elektrickým a magnetickým polem a poté musí prolétnout štěrbinou. Prolétne jen ta se správnou rychlostí. Také LHC, tedy velký hadronový urychlovač pracuje na obdobném principu. Tam umějí urychlovat částice na rychlosti blízké rychlostem světla, právě pomocí Lorentzovi síly a obrovské intenzitě elektrického pole.

4 Závěr

K samotným, v předchozí části zmíněným, pokusům bych osobně dodal toto. Dle mého názoru by se fyzika na základních, středních i vysokých školách měla opírat právě o demonstrační ukázky a jejich vysvětlení. Určitě až po názorné ukázce většina studentů a žáku pochopí podstatu a pouhé vyprávění o pokusu může vést k nepochopení, či k nedůvěře ve výsledek. V případě elektrostatiky lze demonstrovat pokus s poměrně skromným vybavením, které zde bylo vyjmenováno. A ve výsledku možná ani tolik nebude potřeba, jelikož nepotřebujeme influenční elektriku, pokud máme Van de Graafův generátor. Leidenskou lahev si také můžeme zhotovit, například dle Hauksbeeho příkladu ze sklenice. A plastovou, či skleněnou tyč a kus kůže také seženeme snadno, pro předvádění získání náboje pomocí tření. Přítomnost náboje zjistíme pomocí staniolové pásky, která je také k dostání.

Dovolte je ještě jednou shrnout vše, co jsme tady zmínili. Probrali jsme historický vývoj elektrostatiky, od prvopočátků ve starověkém Řecku až téměř do současnosti. Probraly jsme, jak vzniká elektrický náboj třením, jak zaniká, co je antistatická úprava povrchu a k čemu je dobrá. Také už víme jak zjistit přítomnost elektrického náboje, jak můžeme náboj přenášet a jak se projevuje na okolí. Zásadní věc je, jak ho shromáždit a uchovat. Probraly jsme si taky poměrně podrobně co je to intenzita elektrického pole a jak působí v prostoru na elektrický náboj a nabitá tělesa. Tímto doufám, že v této práci je uvedeno vše ohledně elektrostatiky jednoduchou a srozumitelnou formou a nic nebylo opomenuto.

Jako hlavní přínos této práce pro mne je, že jsem si vylepšil svoje znalosti v elektrostatice. Hlavně co se týče historického vývoje tohoto vědního oboru.

Resumé

V této bakalářské práci je popsána historie elektrostatiky, pokusy v elektrostatice a jejich vysvětlení.

Resume

Grešl, Tomáš. *History and present of experiments in electrostatics*, [Dějiny a současnost pokusů v elektrostatice]. Pilsen 2013.

Bachelor thesis (in Czech). University of West Bohemian. Faculty of Education. Department of Mathematics, Physics and Technical Education. Supervisor: Mgr. Robert Kunesch.

In this thesis is described the history of electrostatics, experiments in electrostatics and its explanations.

Zdroje

- [1] Příběh elektřiny [Shock and Awe: The Story of Electricity] [seriál]. Režie Jim Al-Khalili. UK, 2011
- [2] Halliday, D. Fyzika. Vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Část 3, Elektřina a magnetismus. Brno: VUTIUM, 2000.
- [3] Hlavička, A. Pokusy z elektřiny. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1955
- [4] Tesař, C.; Bočánek, L. Vysokoškolské demonstrační experimenty z fyziky. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2001, ISBN 80-7082-716-5
- [5] Havel, V. Úvod do teorie elektromagnetického pole. Plzeň: Pedagogická fakulta v Plzni, 1984
- [6] Brož, J. Základy fyzikálních měření I. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1967, č.p. 16-924-67
- [7] Himstedt, A. Elektrizität und magnetismus. Marienburg, 1897

Seznam obrázků

Obrázek 1: Třecí elektřina, [7]

Obrázek 2: Grayův pokus, [2]

Obrázek 3: Galvaniho pokus, [7]

Obrázek 4: Voltův sloup, [7]

Obrázek 5: Silové působení na náboj, [3]

Obrázek 6: Elektrické siločáry, [3]

Obrázek 7: Elektroskopy, [3]

Obrázek 8: Uhlíkové elektrody, [7]

Obrázek 9: Sršení náboje, [3]

Obrázek 10: Sršení náboje, [7]

Obrázek 11: Pokusy s kondenzátory, [3]

Obrázek 12: Třecí elektřina, [7]

Obrázek 13: Influenční elektřina, [7]

Obrázek 14: Schéma influenční elektřiny, [7]

Obrázek 15: Van de Graafův generátor, [3]