# ELEKTŘINA A MAGNETISMUS 1. HISTORIE

Název elektřina byl odvozen podle **jantaru** – řecky **elektron**. Jantar má totiž při tření schopnost přitahovat drobná tělíska. Název magnetismus byl odvozen od názvu rudy **magnetovec** (Fe3O4), která má schopnost přitahovat železné piliny a drobné částečky některých jiných kovů.

S rozvojem těchto vědních oborů vznikala **elektrotechnika**, vědní disciplína související *s výrobou a užitím elektrické energie*. Obor se formoval v 80. letech 19.století na základě rozvoje nauky o elektřině. Počátky elektrotechniky jsou svázány s **experimenty s nábojem** a jeho přemisťováním – blesk, koróna, magnetismus, polární záře. První zmínky o elektřině a magnetismu v Českých zemích jsou v 16. století v dílech Georgia Agricoli, dalším průkopníkem byl Prokop Diviš. Během národního obrození vznikala ustálená **terminologie**, i když některé výrazy naštěstí neprošly (mluno – elektřina, dralo – magnetismus, mlunoplodič – elektromotor, samotič – izolant, proudovrat – kondenzátor). Mnoho terminologických úprav bylo ještě provedeno **J.Gebauerem** (1926). Postupně začaly vznikat elektrotechnické vědecké spolky a odborné časopisy. Z našich nejvýznamnějších osobností vzpomeňme:

* *Augustin Agricola* (první zmínky o elektřině v Českých zemích)
* *Václav Prokop Diviš* (bleskosvod, elektroléčba, tření a elektřina, Leydenská lahev, náboj a jeho sršení)
* *František Křižík* (elektrické návěstidlo vlaků, obloukové lampy, osvětlení českých měst, osvětlení fotnány a Průmyslového paláce, přínos pro   
  1. elektrárnu se stejnosměrným proudem, tramvaj, elektrifikace železnice)
* *Emil Kolben* (silnoproud, spolupráce s N.Teslou, dynama, motory, 3fázové alternátory)
* *Jan Kříženecký* (film)
* *Augustin Žáček* (netlumené elektrické kmity, oscilace, posílání signálů a komunikace, elmag. kmitání, teoretický rozbor radaru)
* *Jaroslav Heyrovský* (nositel Nobelovy ceny, polarografie, rychlé a přesné stanovení chemického složení látek v nepatrném množství na základě měření elektrického proudu, který prochází rtuťovou elektrodou)

# 2. ELEKTROSTATIKA

Část nauky o elektromagnetickém poli zabývající se jevy v soustavě elektricky nabitých částic nebo těles, která jsou v klidu vzhledem k dané inerciální soustavě.

# 2.1. ELEKTRICKÝ STAV

Už ve starověku pozoroval **Thales z Milétu** (630/540 BC), že při tření jantaru vlněnou látkou dochází k přitahování drobných tělísek z okolí. Neuměl tento jev vysvětlit, a tak přisoudil, že příčinou je nějaké **fluidum** (neznámá, nehmatatelná, záhadná hmota). Až **Gilbert** (1600) zjistil, že se nejedná o fluidum, ale na základě experimentů přišel na některé zákonitosti, které při přitahování tělísek platí.

Stav třené látky, při které přitahuje drobná tělíska, byl nazván **elektřinou či stavem elektrickým**.

Na základě pokusů bylo zjištěno, že tento stav není vždy stejný. Někdy se tělíska přitahovala, někdy odpuzovala. Závěrem tohoto pozorování bylo, že:

**EXISTUJÍ DVA DRUHY ELEKTRICKÝCH STAVŮ**:

* **kladný stav** – sklo třeme kůží
* **záporný stav** – ebonit třeme srstí

Bylo odpozorováno, že látky se souhlasnými stavy se odpuzovaly a  ty s nesouhlasnými se přitahovaly. Elektrickému stavu se časem vžil pojem **elektrický náboj**. Nábojem myslíme vlastnost elektricky nabitého tělesa.

Tělesa bez elektrického náboje lze uvést do zelektrizovaného stavu **dotykem** zelektrizovaných těles. Pokud se náboj začne šířit tělesem jde o **vodič** (kovy), pokud ne, jde o **izolant** (dielektrikum) - dřevo, sklo.

**NÁBOJE ANI NEVZNIKAJÍ, ANI NEZANIKAJÍ, ALE POUZE SE PŘENÁŠEJÍ Z JEDNOHO TĚLESA NA DRUHÉ ANEBO SE PŘEMISŤUJÍ V TÉMŽE TĚLESE. TENTO ZÁVĚR JE ZNÁM JAKO ZÁKON ZACHOVÁNÍ ELEKTRICKÉHO NÁBOJE.**

# 2.2. INDIKACE ELEKTRICKÉHO STAVU

1. **ELEKTRICKÉ KYVADÉLKO**

Kladně nabitá tyč způsobí, že se v malé kuličce začnou pohybovat elektrony směrem k tyči a vzájemně se přitahují.



**ČÍM VĚTŠÍ NÁBOJ TYČE,   
TÍM VĚTŠÍ PŘITAHOVÁNÍ KULIČKY**

**b) ELEKTROSKOP A ELEKTROMETR** (stejný přístroj, stejný princip, liší se pouze v tom, že elektrometr má navíc i stupnici)

V kovovém pouzdře se skleněnými okénky (4) je do izolační vrstvy (1) zapuštěn vodivý drát (3), na jehož konci jsou dva vodivé lístky (5). Dotkneme-li se nabitým tělesem (2) drátu, přenese se náboj na lístky a ty se vzájemně odpuzují (souhlasné náboje).



**ČÍM VĚTŠÍ JE NÁBOJ,**

**TÍM VÍCE SE LÍSTKY ODPUZUJÍ.**

# 2.3. ELEKTRICKÝ NÁBOJ

Z pokusů a měření vidíme, že výchylka lístků je závislá na náboji. Popis a lepší pochopení náboje přinesl pokus Američana **Roberta Millikana** (1911), který dokázal, že

**KAŽDÝ NÁBOJ JE CELISTVÝM NÁSOBKEM URČITÉHO ELEMENTÁRNÍHO (nejmenšího možného) NÁBOJE. NÁBOJ NEEXISTUJE SÁM O SOBĚ, NOSITELEM NÁBOJE JE VŽDY ČÁSTICE (elektron, proton, atd).**

 , Coulomb

,

kde „Q“ je náboj látky, „k“ je libovolné celé číslo a „e“ je elementární náboj - nejmenší možný náboj, který **NELZE ROZDĚLIT**.

(pozitron)

(elektron)

**NÁBOJ JEDNOHO COULOMBU PROJDE PRŮŘEZEM VODIČE   
PŘI PROUDU 1 AMPÉR ZA 1 SEKUNDU**

**Starší definice** říkají v podstatě totéž

* náboj je nestvořitelný a nezničitelný
* při současném působení několika nábojů je účinek každého náboj týž, jako by náboj působil sám
* celkové množství náboje v osamoceném systému se rovná algebraickému součtu všech nábojů v systému a nemění se

**Millikanův pokus**: Pomocí rozprašovače byly vháněny olejové *kapičky s nábojem* do kondenzátoru s *elektrickým polem*. Pokud nebyl nabit, pak padaly k zemi, pokud byl hodně nabit, pak letěly nahoru. Millikan hledal *podmínky rovnováhy*, kdy se kapička vznášela. Při rovnováze mohl srovnáním tíhové a elektrické síly vypočítat velikost elektrického náboje. Navíc pomocí RTG paprsků **měnil velikost náboje na kapičce**. Zjistil tak, že **náboj nemůže být jakýkoliv, ale je kvantován**, tzn. složen z elementárních od sebe oddělených nábojů. Tento pokus výrazně *urychlil uvažování* o struktuře hmoty, stavbě atomu. Na jeho práci navázal **J.J.Thomson** objevem **pudinkového modelu**.

# 3. ELEKTRICKÁ SÍLA 3.1. PROJEVY NABITÝCH TĚLES

Díky pokusům při tření materiálů, využití indikátorů elektrického stavu jsme zjistili, že základním projevem elektrických nabitých látek je **vzájemné působení**. Díky elektrometru víme, že **čím větší je velikost náboje** částice (látky) s nábojem, **tím více na sebe působí**. Také experimentální zjištění, že čím jsou nabitá tělesa **dále od sebe**, tím **méně se ovlivňují**, nám přiblíží chování nabitých látek. Na tyto poznatky upozornil již v roce 1789 význačný francouzský fyzik, politik a filozof **Ch.A.COULOMB**.

Coulomb potvrdil, že mezi dvěma náboji je **ELEKTRICKÉ POLE**, což je fyzikální stav prostoru, který se projevuje existencí **ELEKTRICKÉ SÍLY**. Pokud se náboje nepohybují vzhledem k dané inerciální vztažné soustavě, pak mluvíme o **ELEKTROSTATICKÉM POLI**.

Ovšem silové účinky dvou nabitých těles jsou velmi **ovlivněny tvarem, rozměry a druhem prostředí**. Pro jednoduchost tedy popisujeme ideální stav – **BODOVÝ NÁBOJ**, kdy nabité těleso je tak malých rozměrů, že jsou zanedbatelné vzhledem k jejich vzdálenosti.

# 3.2. coulombův zákon



Vektor:  .

Velikost vektoru:  .

**VELIKOST SIL, KTERÝMI NA SEBE PŮSOBÍ DVA BODOVÉ NÁBOJE,   
JE PŘÍMO ÚMĚRNÁ ABSOLUTNÍ HODNOTĚ SOUČINU VELIKOSTÍ NÁBOJŮ   
A NEPŘÍMO ÚMĚRNÁ DRUHÉ MOCNINĚ JEJICH VZDÁLENOSTÍ**

**Vektor** nám dává informaci o:

a) *velikosti síly* ()

b) *směru síly* (spojnice nábojů)

c) *orientaci síly* (pokud je síla kladná, pak jde o odpuzování, je-li záporná, jde   
o přitahování)

Coulomb měřil elektrické vlastnosti v různých prostředích, získával jiné hodnoty, což mohlo vyvrcholit jen v poznání, že **prostředí výrazně ovlivňuje chování (vzájemné působení) nábojů**. Konstanta v Coulombově zákoně nám tedy určuje vlastnosti prostředí (upřesňuje vodivost a nevodivost prostředí). Matematicky lze tuto konstantu vyjádřit:

,

kde o je permitivita vakua,

kde r je RELATIVNÍ PERMITIVITA PROSTŘEDÍ (říká, kolikrát je působení nábojů menší než ve vakuu)

**Pak kompletní Coulombův zákon vypadá takto:**

, kde r

o= 8,85.10-12 C2N-1m-2

r = 1 (vakuum) /// 1,000 (plyny) /// 5-16 (sklo) /// 81,6 (voda)

# 4. elektrická síla – řešení úloh

# 5) elektrické pole 5.1. intenzita elektrického pole



Pro **charakteristiku elektrického pole** **kolem částice** s nábojem Q není nejvhodnější popis pomocí elektrické síly, kterou na sebe působí náboj Q a libovolný náboj q v jeho okolí. **PROČ?** Velikost síly je závislá na přídavném náboji. To my ale nechceme, nás zajímá pouze elektrické pole kolem Q. Hledáme tedy novou fyzikální veličinu.

Veličinu nazýváme

**INTENZITA ELEKTRICKÉHO POLE** a je definována:

, **intenzita el. pole je podíl el. síly, kterou na sebe působí náboje Q a q, a velikosti tohoto náboje q**

Pokud dosadíme za el. sílu, dostáváme:

, intenzita el. pole je vektor (má směr, orientaci, velikost)



# 5.2. modely elektrického pole

Modely el. pole znázorňujeme pomocí **SILOČAR el. pole** – myšlená čára, jejíž tečna v libovolném bodě určuje směr intenzity elektrického pole. Hustější siločáry značí větší intenzitu pole, nemohou se však protínat (Faraday).

**SILOČÁRY VYCHÁZEJÍ Z KLADNÉHO NÁBOJE A VCHÁZEJÍ DO ZÁPORNÉHO NÁBOJE**



**HOMOGENNÍ** el. pole – ve všech místech elektrického pole je vektor elektrické intenzity stejný a siločáry jsou rovnoběžné.

**RADIÁLNÍ** el. pole – odvozeno od slova radiusvektor, což je průvodič. Siločáry směřují tedy ven z náboje (kladný náboj) či dovnitř náboje (záporný náboj). Vektor el. intenzity je tečný k těmto siločárám.



c) **OSTATNÍ NEHOMOGENNÍ** el. Pole

d) **KOMBINACE** různých typů polí

V elektrických polích platí pro působení na náboj **ZÁKON SUPERPOZICE**:





# 5.3. GAUSSOVA VĚTA

Prozatím jsme hovořili o vzájemném působení bodových nábojů. Ale jak bychom pracovali v případě objektů o určitých rozměrech? Zavádíme veličinu **TOK INTENZITY ELEKTRICKÉHO POLE – N**, což je myšleno jako hustota siločar procházejících kolmo na zvolenou plochu.

,

kde „E“ je intenzita el. pole, „S“ je uzavřená plocha, kterou siločáry procházejí.



Pokud aplikujeme intenzitu na rovnoměrně nabitou kouli:

a) tok intenzity vně takové vodivé kulové plochy o poloměru r je:

 

Z tohoto odvození plyne **GAUSSOVA VĚTA**

**TOK INTENZITY EL. POLE UZAVŘENOU PLOCHOU SE ROVNÁ PODÍLU CELKOVÉHO NÁBOJE OBSAŽENÉHO V UZAVŘENÉ PLOŠE A PERMITIVITY VAKUA**

Co dále plyne? , intenzita vně vodivé koule je stejná, jako by byl veškerý náboj soustředěn do jejího středu.

b) intenzita uvnitř kulové plochy





# 6. ELEKTRICKÉ POLE – řešení úloh

# 7.1. práce sil v elektrickém poli

Pokud na sebe nabitá tělesa vzájemně **působí silou**, pak z *2.Newtonova pohybového zákona* plyne, že se tělesa začnou pohybovat a získají zrychlení. Pochopitelně pohybu **můžeme zabránit** upevněním tělesa, působením síly proti pohybu, nebo působením jiných vnějších sil (např. gravitačních, odporových, aj).



***Elektrická práce (We)*** je definována jako práce, kterou vykoná elektrická síla při přemístění tělesa (částice s nábojem) v elektrickém poli.



**I) *POLE HOMOGENNÍ***

* směr pohybu částice není rovnoběžný s vektorem intenzity



* pohyb elektronu rovnoběžně s  vektorem intenzity: - práce pole je záporná (= 90o / 180o)
* pohyb kladně nabité částice rovnoběžně s vektorem intenzity:  - práce pole je kladná (= 0o / 90o)
* pohyb kolmo k vektoru intenzity – pole práci nekoná

***II) POLE RADIÁLNÍ***



K přesunutí náboje ze vzdálenosti r na kulovou plochu o poloměru R vykonáme práci: 

# 7.2. elektrická potenciální energie

**ELEKTRICKÁ POTENCIÁLNÍ ENERGIE** náboje q je rovna práci, kterou síla vykoná při přenesení náboje q z daného místa na místo vodivě spojené se zemí, které považujeme za místo **nulové ELEKTRICKÉ potenciální energie.** Zkusme se zamyslet, k čemu je tato veličina. Pokud máte těleso v tíhovém poli v určité výšce, pak víte, že z čím větší výšky spadne na Vaši hlavu, tím více Vás to bude bolet. Obdobně lze pomýšlet na situaci u elektrického pole. Čím je náboj dále od nulové hladiny potenciální energie, tím „větší energii má v sobě ukrytou“, o čemž se přesvědčíme při pádu na hladinu.



Práce vykonaná při přenosu náboje z bodu A do B je přímo i potenciální energií náboje v bodě B:



Práce vykonaná při přenosu náboje z bodu C do bodu D nemůže být potenciální energií náboje v bodě C, protože náboj nebyl přesunut na místo nulového potenciálu:



# 8.1. elektrický potenciál a napětí

Ukázali jsme si, že elektrické pole lze zakreslit pomocí vektorů intenzity. To však není jediná možnost znázornění. Pokud chceme posunout v elektrickém poli stejný náboj, pak **v různých polích** je to **jinak náročné**. Zde vzniká možnost *odlišení elektrických polí pomocí elektrické práce* či potenciální energie. Jenže hodnoty práce či energie *závisí na velikosti náboje* posunovaného tělesa. Abychom získali údaj, který charakterizuje elektrické pole nezávisle na velikosti elektrického náboje, pak je nutné zavést **novou veličinu**.

Touto veličinou umožňující skalární popis modelů elektrického pole je skalár ***ELEKTRICKÝ POTENCIÁL***. Potenciál v daném bodě je roven podílu elektrické potenciální energie částice s nábojem Eep a tohoto náboje q.



**POLE MÁ V DANÉM BODĚ POTENCIÁL 1V, JESTLIŽE PŘI PŘENOSU KLADNÉHO NÁBOJE Q = 1C Z DANÉHO BODU POLE NA POVRCH ZEMĚ BYLA VYKONÁNA PRÁCE W = 1J.**

Množina bodů okolo částice s nábojem, které mají stejnou hodnotu potenciálu, je nazývána ***EKVIPOTENCIÁLNÍ HLADINA***.

a) **HOMOGENNÍ POLE** b) **RADIÁLNÍ POLE**



 

# 8.2. elektrické napětí

Elektrické napětí (U) je rozdíl potenciálů mezi dvěma body elektrického pole:



U (1-2) = e1-e2

U (2-3) = e2-e3

Napětí mezi body na potenciální hladině   
je NULOVÉ NAPĚTÍ:

[U] = V

# 8.3. Elektrická práce versus napětí



# 9. CHOVÁNÍ VODIČE A IZOLANTU V ELEKTRICKÉM POLI 9.1. VODIČ

Pokud vložíme do elektrického pole ***VODIČ***, látku s dostatečným množstvím volných elektronů, pak se elektrony začnou v el. poli ***pohybovat*** směrem ke kladně nabité desce. Tento pohyb zastaví až rozhraní látka / vzduch. Pohyb bude trvat tak dlouho, dokud se okraj látky ***nenabije*** stejně velkým, ale opačně orientovaným nábojem. Tomuto přemísťování náboje říkáme ***ELEKTROSTATICKÁ INDUKCE***. (protože se jedná o volné nosiče, pak lze dotykem vodivého materiálu NÁBOJ ODVÉST Z LÁTKY!).



Důsledkem pohybu náboje je, že uvnitř látky ***NENÍ ELEKTRICKÉ POLE*** ( je nulová). PROČ? Vidíme že vektory intenzity (vně) a –(uvnitř) se vzájemně vyruší! Této schopnosti vodiče říkáme ***ELEKTROSTATICKÉ STÍNĚNÍ.*** Za vodičem v el. poli pochopitelně k stínění nedochází, pole má , což je patrno z nákresu.



# 9.2. izolant (dielektrikum)

Izolantem myslíme látku bez dostatečného množství volných elektronů, ty jsou totiž pevně vázány v atomu.

a) v elektrickém poli může dojít pouze ke změně těžiště atomu. Vznikají tedy tzv. ***ELEKTRICKÉ DIPÓLY,*** chování nazýváme ***ATOMOVÁ (posuvná) POLARIZACE DIELEKTRIKA***.



b) U polárních látek (voda, sulfan) existují dipóly i bez el. pole, ovšem po vložení do el. pole se jejich nahodilý ***směr natočí*** ve směru intenzity vnějšího pole. Toto chování nazýváme ***ORIENTAČNÍ POLARIZACE DIELEKTRIKA***.(NÁBOJ NELZE Z LÁTKY ODVÉST!)



Na povrchu dielektrika vznikají náboje opačné jako jsou náboje el. desek, které způsobili polarizaci. Ovšem velikost těchto nábojů je znatelně menší než náboje el. desek. Znamená to tedy, že dielektrikum neumí stínit el. pole, **POUZE HO ZESLABUJE**. Popisujeme tedy intenzitu elektrického pole vně dielektrika   
() a intenzitu el. pole způsobenou polarizací (), která je namířena proti . Uvnitř látky je tedy intenzita el. pole dána rozdílem: .

Každý materiál je schopen jinak zeslabovat vnější elektrické pole, proto byla zavedena fyz. veličina, která tuto vlastnost kvantifikuje – ***RELATIVNÍ PERMITIVITA ()*** – udává kolikrát látka dovede zeslabit vnější elektrické pole.



S polarizací také souvisí ***PIEZOELEKTRICKÝ JEV***. Pokud mechanickou prací zdeformuji krystal, pak na jeho povrchu vzniká náboj. Mohu tak převádět mechanickou práci na elektrický signál (převod mechanických kmitů na elektrické!)

# 10.1. KAPACITA VODIČŮ, KONDENZÁTOR

Představme si vodič tvaru koule. **Nabijeme jej** nábojem Q, kolem koule vzniká elektrostatické pole popsané . Pokud **náboj 2x či 3x zvětšíme**, tak se nám úměrně zvýší i hodnoty . Každá látka však dokáže přijmout jiné množství náboje za stejné hodnoty potenciály na povrchu tělesa (tzv. normovaný potenciál). Pak lze tuto vlastnost látky vyjádřit díky konstantě Cv , které říkáme **(vlastní) kapacita vodiče**.



**(VLASTNÍ) KAPACITA VODIČE je skalární veličina určující schopnost materiálu přijmout za daného potenciálu určitý náboj Q.**



Jaká je tedy kapacita koule?

, kde „r“ je poloměr kulové plochy

# 10.2. KONDENZÁTOR

Kapacita samotného vodiče je velmi malá (pF). Mnohem větší kapacitu dostaneme, pokud vytvoříme **soustavu dvou plochých opačně nabitých vodičů oddělených od sebe dielektrikem**. Tuto soustavu nazýváme **KONDENZÁTOR**. Protože budou-li v okolí vodiče další opačně nabité náboje, tak podle superpozice se nutně se potenciál na vodiči sníží a tím vzroste kapacita)

Kapacita kondenzátoru je určena:





Vypočtěme kapacitu deskového kondenzátoru. Vyjděme z Gaussovy věty:



# 10.3. druhy kondenzátorů

* **Dělení dle tvaru:**
* deskový (rovinný) - Franklinova deska (deska s kov.polepy)
* válcový (skleněná láhev s kovovými polepy vně a uvnitř)
* kulový
* **Dělení dle funkce:**
* svitkový (mezi kovové proužky nalijeme parafín a svineme)
* keramický, plastový (dielektrikem je keramický, plastový materiál)
* elektrolytický (2 hliníkové fólie s vrstvou papíru napuštěnou elektrolytem, velmi tenký, vysoká kapacita - mF, POZOR NA SPRÁVNÉ zapojení plus a mínus pólů)
* otočný kondenzátor (kapacitní variátor)

# 11. KAPACITA VODIČŮ, KONDENZÁTOR 11.1. energie kondenzátoru

Kondenzátor získá energii tím, že ho nabijeme. Dodáváme mu náboj, který způsobuje zvětšování potenciálu kondenzátoru. Nabíjením vykonáme práci W, která se projeví jako energie elektrického pole kondenzátoru:

Z nákresu je patrno, že vykonaná práce odpovídá hodnotě obsahu trojúhelníku:





# 11.2. kapacita paralelně řazených kondenzátorů

Všechny tři kondenzátory jsou spojeny jednou deskou se stejným plus pólem a druhou deskou s mínus pólem stejnosměrného zdroje.



**NAPĚTÍ JE NA VŠECH STEJNÉ, ALE HROMADÍ SE NÁBOJ.**

Určeme tedy celkový nahromaděný náboj:



Celková kapacita paralelně řazených kondenzátorů je:

** KAPACITA ROSTE**

# 11.3. KAPACITA SÉRIOVĚ ŘAZENÝCH KONDENZÁTORŮ

Oba kondenzátory jsou nabity týmž nábojem, ale roste na nich napětí. **INDUKUJE SE STEJNÝ NÁBOJ, ZVĚTŠUJE SE NAPĚTÍ.**



Určeme tedy celkové napětí:



Celková kapacita paralelně řazených kondenzátorů je:



**KAPACITA VŮČI JEDNOMU Z KONDENZÁTORŮ KLESÁ**