

Elektrické pole

aneb
jak i v hodinách fyziky
můžete zažít chvíle
napětí



1. Elektrický náboj a jeho vlastnosti

Historické poznámky

- starověké Řecko – jantar, který třeme, přitahuje stébla slámy; pozoroval **Thales Milétský** (mj. Thaletova věta)
- elektron = jantar (řecky), slovo elektřina je odvozené od jantaru
- oheň svatého Eliáše – akustický i optický jev způsobený vybitím statické elektřiny na hrotech, vrcholcích stromů, stožárů lodí, apod. Projevuje se modrým světélkováním objektu a může připravit cestu pro úder blesku.
- české země v 18. – 19. stol.: mluno a dralo
- zánik vzducholodi Hindenburg (1937): plněná H_2 , statická elektřina způsobila jiskru a následný požár (z 97 osob na palubě při této katastrofě zahynulo 13 pasažérů a 22 členů posádky)

1. Elektrický náboj a jeho vlastnosti



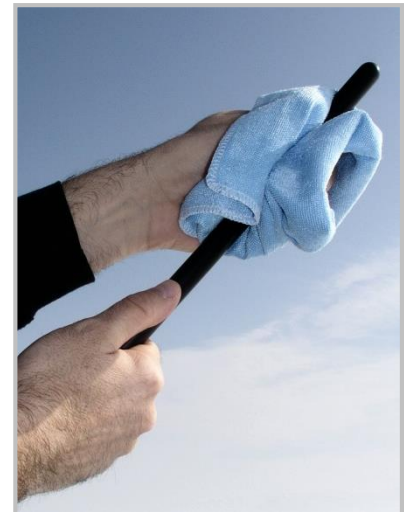
1. Elektrický náboj a jeho vlastnosti

Experimenty

- hřeben třený o vlasy odkloní pramínek vody
- skleněná tyč třená hedvábím se nabíjí
kladně (elektrony přejdou ze skla do látky)



- novodurová tyč třená kožesinou se nabíjí
záporně (elektrony přejdou z látky na tyč)



1. Elektrický náboj a jeho vlastnosti

Projevy elektrostatiky

- elektrostatika = náboj v klidu
- pozorujeme vzájemné přitahování a odpuzování předmětů
- existují 2 druhy el. náboje – **kladný** a **záporný**
- definoval **Benjamin Franklin (1706 – 1790)**, vynálezce bleskosvodu, zakladatel první americké univerzity a šachových kroužků, státník, diplomat
- **Václav Prokop Diviš (1698 – 1765)**, jako první vynalezl bleskosvod, kněz
- chůze po koberci – výboj po dotyku kliky
- auta – zemní pásek; letadla, helikoptéry – nutno po přistání uzemnit
- usazování prachu na monitorech nebo TV

1. Elektrický náboj a jeho vlastnosti

elektrický náboj – Q

jednotka: $[Q] = 1 \text{ C (coulomb)}$

Definice: 1 coulomb je náboj, který je přenesen proudem 1 A během 1 s

$$Q = I \cdot t$$

Pojmenování jednotky dle

Charlese-Augustina de Coulomba (1736 – 1806).

- zakladatel elektrostatiky (Coulombův zákon);
- potomek zámožné šlechtické rodiny, 1800 povolán Napoleonem na Pařížskou univerzitu



1. Elektrický náboj a jeho vlastnosti

Měření el. náboje

elektroskop – pouze kvalitativně, nelze měřit typ náboje nebo jeho přesnou velikost



elektrometr – se stupnicí nebo digitální, lze určit velikost i typ náboje



1. Elektrický náboj a jeho vlastnosti

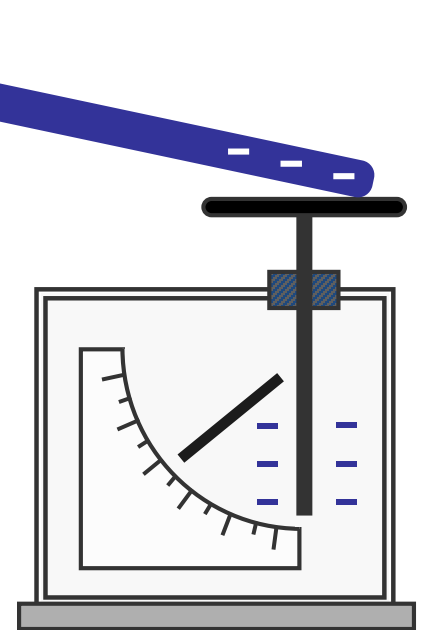
Dělitelnost el. náboje – el. náboj lze dělit, přenášet z jednoho tělesa na druhé

Rozdělení látek

vodiče: náboj se přemísťuje snadno

izolanty: špatný přenos náboje

Lidské tělo - vodič



Elementární elektrický náboj – e

nejmenší elektrický náboj, který nelze dále dělit, kvarky (jejich náboje) ale počítají s hodnotami $\frac{1}{3}e$

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

kvantování el. náboje – může existovat náboj $3e$, $2e$ apod., ale nemůže existovat náboj $3,75e$

1. Elektrický náboj a jeho vlastnosti

Částice v atomu

elektron – nese záporný náboj; objeven 1897, nachází se v atomovém obalu

proton – nese kladný náboj; 1836 krát těžší než elektron; objeven 1918, nachází se v jádře atomu

neutron – bez náboje; 1839 krát těžší než elektron; objeven 1932, nachází se v jádře atomu

Těleso se jeví navenek jako elektricky neutrální.

Zákon zachování el. náboje:

Celkový el. náboj izolované soustavy těles vzájemně elektrovaných těles zůstává konstantní.

Velikost náboje 1 C

Elektrostatická síla je vůči gravitační síle mezi 2 elektrony 10^{21} krát větší.

1 coulomb je tedy velmi velký náboj.

Zeлектроvaná tělesa mají náboj řádově $nC, \mu C$

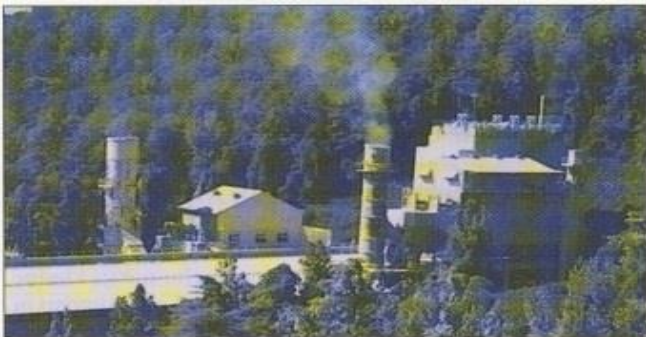
Jak zeлектроvat těleso:

- třením
- zářením – Zn plech osvětlený UV světlem se nabije kladně (Einstein – fotoel.jev, Nobelova cena)
- zdrojem napětí – lze nabít např. kondenzátor
- srážky částic (polární záře)

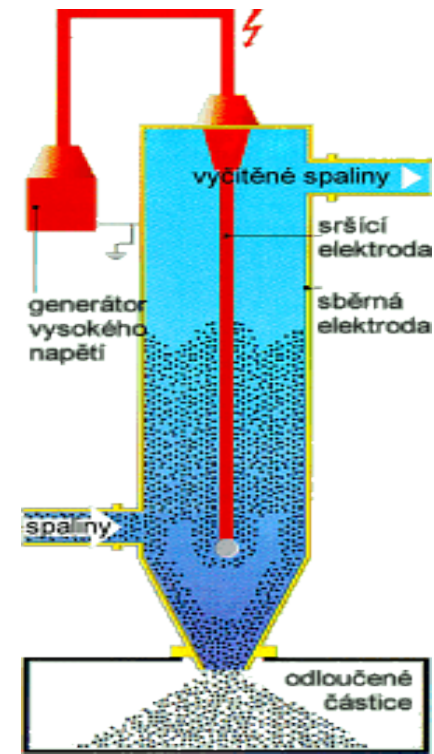
1. Elektrický náboj a jeho vlastnosti

Elektrostatika v praxi:

- elektrostatické nanášení barev
- odlučovače popílku v komínech



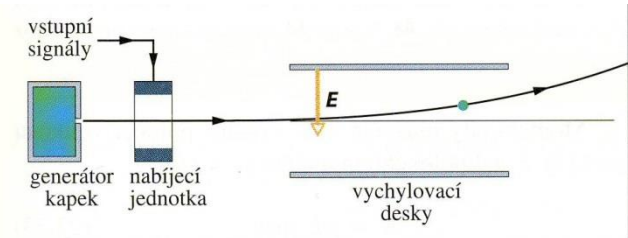
V elektrostatickém odlučovači působí elektrostatické pole na nabité částice popílku. Popílek je zachycen v komíně a neznečistí atmosféru. Odlučovač je v provozu na levé, ale nikoli na pravé fotografii.



1. Elektrický náboj a jeho vlastnosti

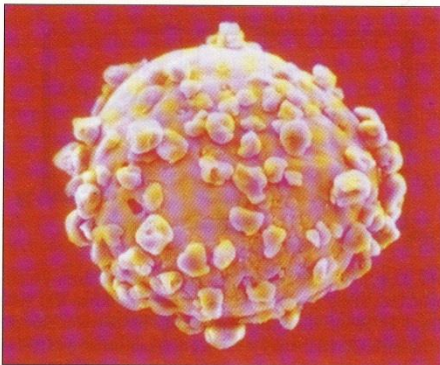
Elektrostatika v praxi:

➤ inkoustové tiskárny



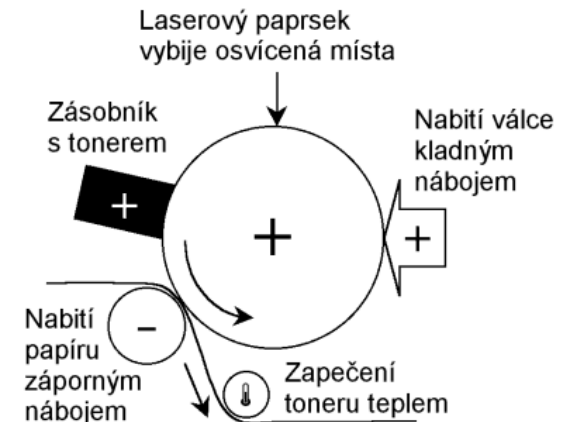
Obr. 23.15 Základní princip inkoustové tiskárny. Vstupním signálem z počítače určujeme náboj předávaný každé kapce a tím polohu na papíře, kam kapka dopadne. K vytvoření jednoho znaku je potřeba asi 100 drobných kapek.

➤ kopírky, laserové tiskárny – nosné kuličky o průměru 0,3 mm se díky elektrostatickému přitahování pokryjí barvou v prášku (tonerem); UV světlo (kopírky) nebo laser (tiskárny) vybijí osvětlená místa, toner se zachytí pouze na nabitých oblastech papíru. Nakonec se prášek tepelně do papíru zapeče.



Obr. 22.3 Nosná kulička v xeroxu. Je pokryta částicemi toneru, které k ní přilnou díky elektrostatickému přitahování. Průměr kuličky je asi 0,3 mm.

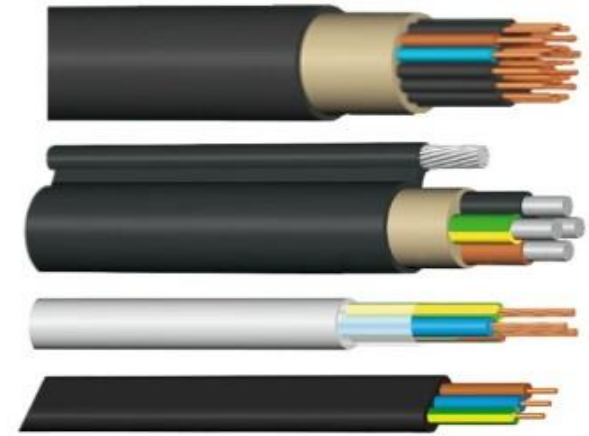
Xerografie – vytváření kopií elektrostatickým způsobem (xero = suchý, grafo = psaní), první kopie 1938.



2. Vodiče a izolanty

Vodič

- je látka, ve které se **část náboje může pohybovat volně**
- kovy
- pitná voda obsahující minerály
- biologické tkáně



Elektronový plyn – tvořen **volnými elektrony**, které se volně pohybují v kovech ⇒ příčina dobré vodivosti kovů

- pojem „plyn“ je pouze přenesený, ve skutečnosti se nejedná o plynné skupenství
- je to aproximace (přiblížení) pro popis chování volných elektronů v pevných látkách

2. Vodiče a izolanty

Nevodiče, izolanty, dielektrika

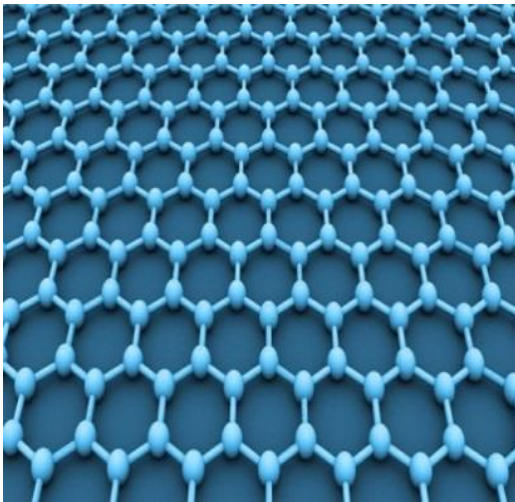
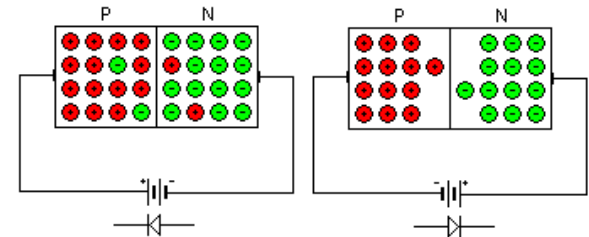
- látky, ve kterých se **volný náboj prakticky nemůže volně pohybovat**
- sklo, porcelán
- destilovaná voda, vzduch
- umělé hmoty, guma (izolace vodičů)



2. Vodiče a izolanty

Polovodič

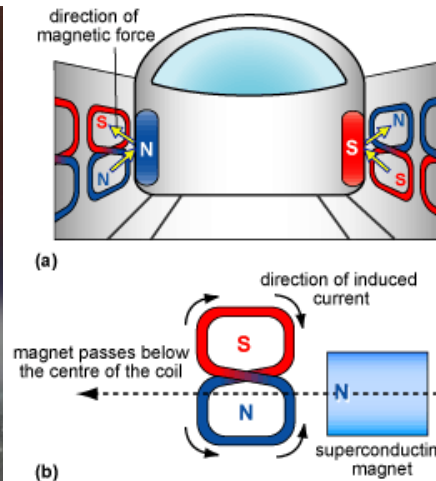
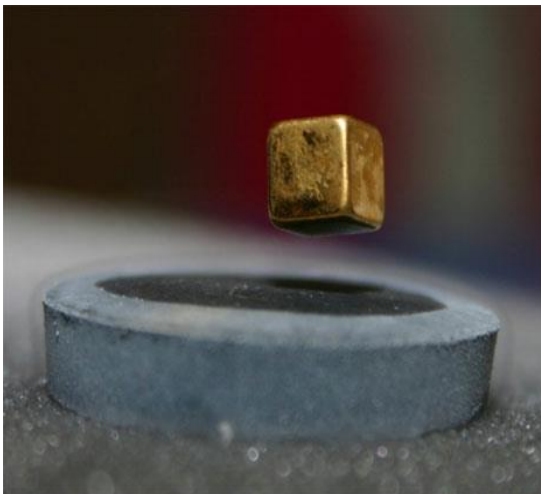
- je látka, která za určitých okolností (zvýšená teplota) vede el. proud a jindy nevede
- křemík Si, germánium Ge, selen Se
- polovodiče typu P a N
- PN přechod základem elektronických součástek (dioda, tranzistor)
- moderní polovodiče využívají nanotechnologie (grafen – **André Geim(*1958), Konstantin Novoselov (*1974)**, NC v roce 2010)



2. Vodiče a izolanty

Supravodiče

- vodič, který má v ideálním případě nulový elektrický odpor
 - ⇒ náboj (tj. el. proud) může probíhat dlouhodobě bez omezení
- keramické supravodiče
- supravodivost se projevuje při teplotách blížících se 0 K ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- levitace magnetické kostičky v mag. poli supravodiče ⇒ vlak Maglev

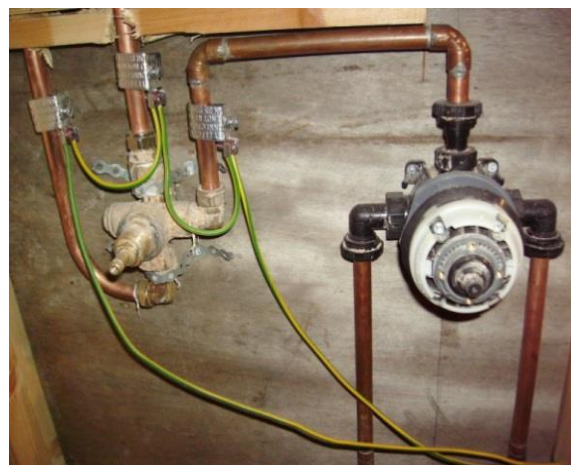


2. Vodiče a izolanty

Upořádaný pohyb (pohyb jedním směrem) kladného nebo záporného náboje v látce se navenek jeví jako elektrický proud.

Uzemnění předmětu – znamená vytvořit vodivé spojení mezi předmětem a zemí $\Rightarrow$ dojde k odvedení náboje z předmětu do země

- kovové konstrukce (schody)
- bleskosvody elektrické ohradníky pro dobytek
- kovové (měděné) vodovodní trubky, vany a vodovodní baterie v domácnosti



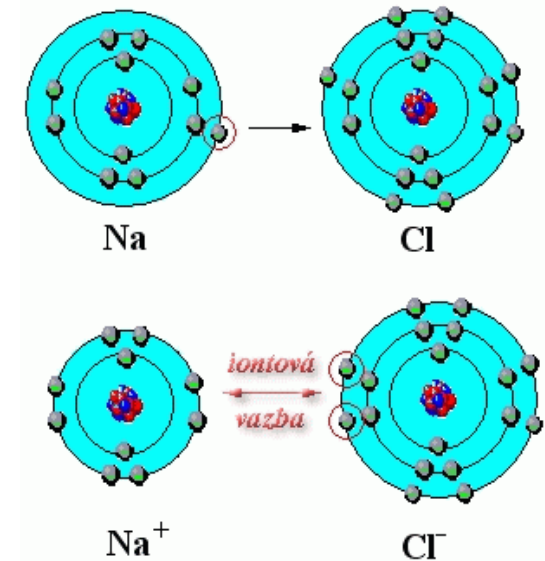
2. Vodiče a izolanty

Kladné a záporné ionty

kationt – kladný iont – vzniká odtržením elektronu z obalu

aniont – záporný iont – vznikne přidáním elektronu do obalu

- iontová vazba v NaCl (kuchyňská sůl)
- ionty v minerálkách (Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cl^- , HCO_3^-)
- ionty v krvi (hypokalémie – snížení K^+ v krvi: ovlivňuje tvar EKG křivky, projevy: zvracení, průjemy, poruchy rytmu srdce; hyperkalcémie – zvýšení Ca^{2+} v krvi: ovlivňuje tvar EKG křivky, projevy: zvracení, vředy, postižení ledvin, poruchy vědomí, osteoporóza)



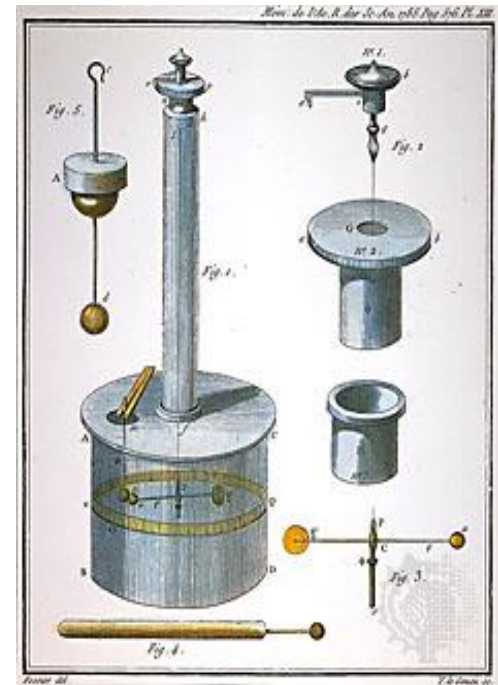
3. Coulombův zákon

Charles-Augustin de Coulomb (1736 – 1806)

- převážně žil v Paříži
- zakladatel elektrostatiky
- zabýval se ale také smykovým třením
- stavěl pevnosti
- 1785 objev zákona pro dva bodové náboje v klidu
- po vypuknutí francouzské revoluce r. 1789 se uklidil na venkov



Bodový náboj – rozměry náboje (nabitých těles) zanedbatelné s jejich vzdáleností

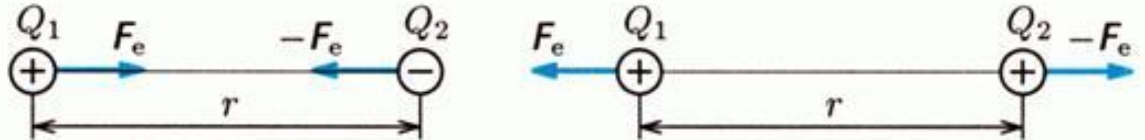


3. Coulombův zákon

elektrostatická síla mezi bodovými náboji F_e

$$F_e = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Elektrostatická síla působící na 2 bodové náboje Q_1 , Q_2 je přímo úměrná součinu velikostí nábojů a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti r .



Pozn. Srovnání s Newtonovým gravitačním zákonem (1687):

$$F_g = \kappa \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

3. Coulombův zákon

k - elektrostatická konstanta

➤ závisí na druhu prostředí mezi náboji

ve vakuu:

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,9876 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$$

ϵ - permitivita prostředí

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

ϵ_0 – permitivita vakua

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$$

3. Coulombův zákon

ϵ_r – relativní permitivita (bezrozměrné číslo)

- udává, kolikrát je slabší elektrická síla mezi náboji v daném prostředí oproti vakuu
- vakuum $\epsilon_r = 1$, vzduch $\epsilon_r \cong 1$, sklo $\epsilon_r \cong 5 - 16$, voda $\epsilon_r = 81,6$

Látkové prostředí – dielektrikum – zeslabuje elektrickou sílu mezi náboji.

Vztah k rychlosti světla

$$\frac{1}{\epsilon_0 \cdot \mu_0} = c^2$$

4. Elektrické pole a jeho intenzita



elektrické pole kolem „bodového náboje“



Kolem bodového náboje Q se vytváří tzv. **elektrické pole**.

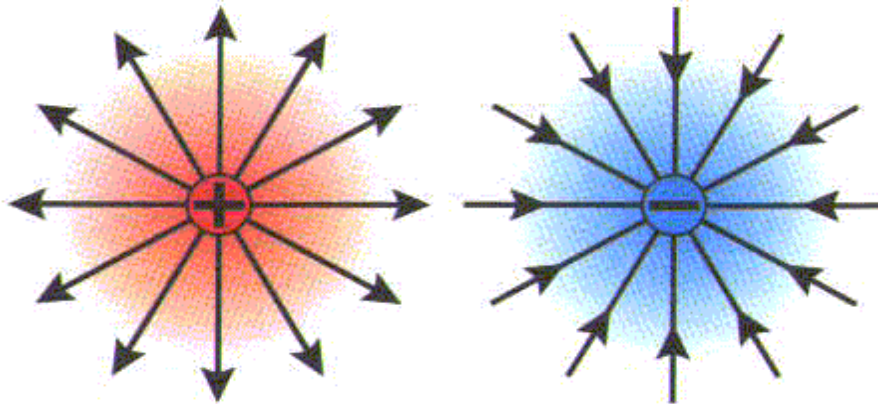
Vzájemné působení mezi nabitými tělesy se realizuje prostřednictvím

elektromagnetické interakce, která se ve vakuu šíří rychlostí světla $c = 299\,792\,458\text{ ms}^{-1}$

4. Elektrické pole a jeho intenzita

Elektrické pole kolem bodového náboje:

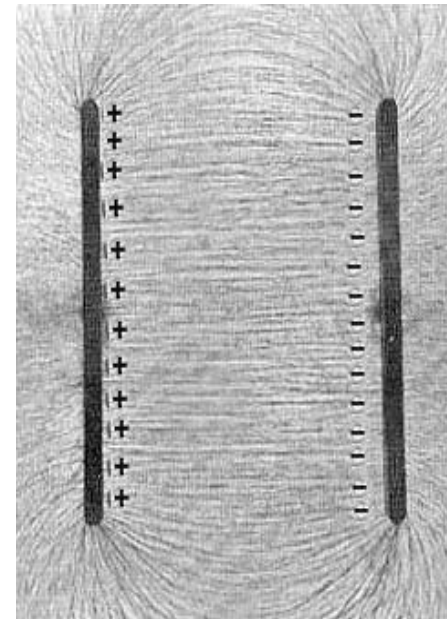
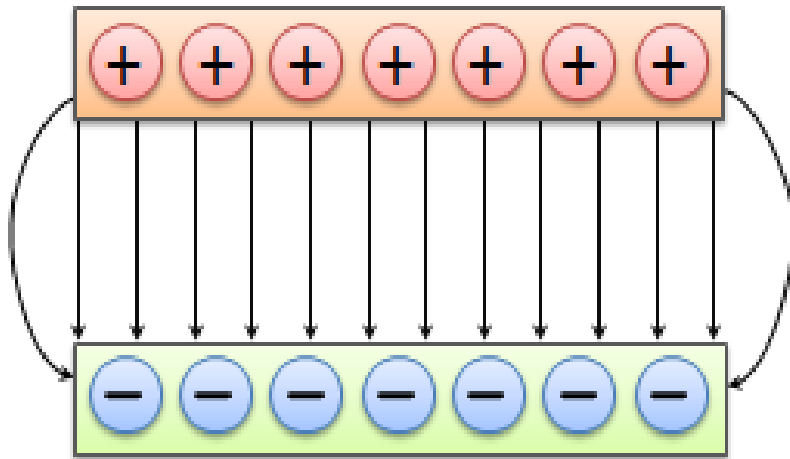
- **radiální** el. pole
- u kladného náboje směřují siločáry VEN
- u záporného náboje směřují siločáry DOVNITŘ
- směr siločar určen dohodou
- intenzita se s rostoucí vzdáleností od náboje rychle zmenšuje



4. Elektrické pole a jeho intenzita

Elektrické pole mezi dvěma rovnoběžnými deskami:

- **homogenní** el. pole
- siločáry jsou rovnoběžné (na koncích se začínají ohýbat)
- intenzita je konstantní



4. Elektrické pole a jeho intenzita

intenzita elektrického pole – E jednotka: $[E] = \text{NC}^{-1}$

➤ vektorová veličina (kromě velikosti je důležitý i směr)

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

F_e – elektrická síla, q – náboj

intenzita elektrického pole kolem bodového náboje Q

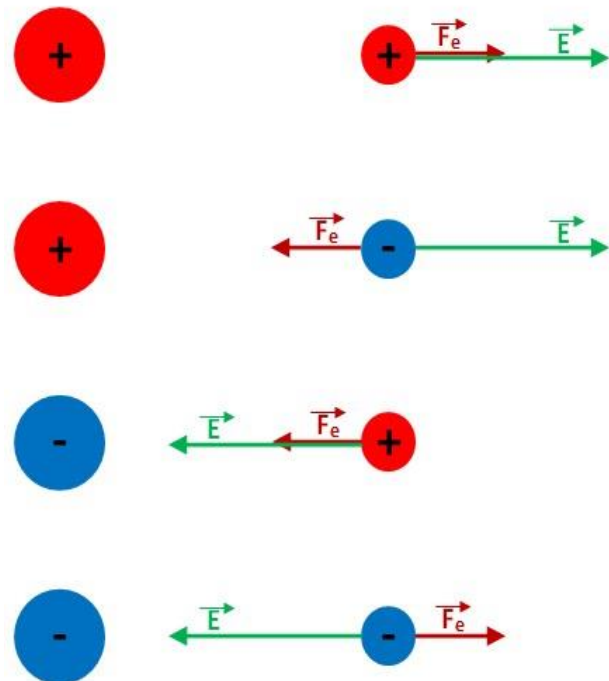
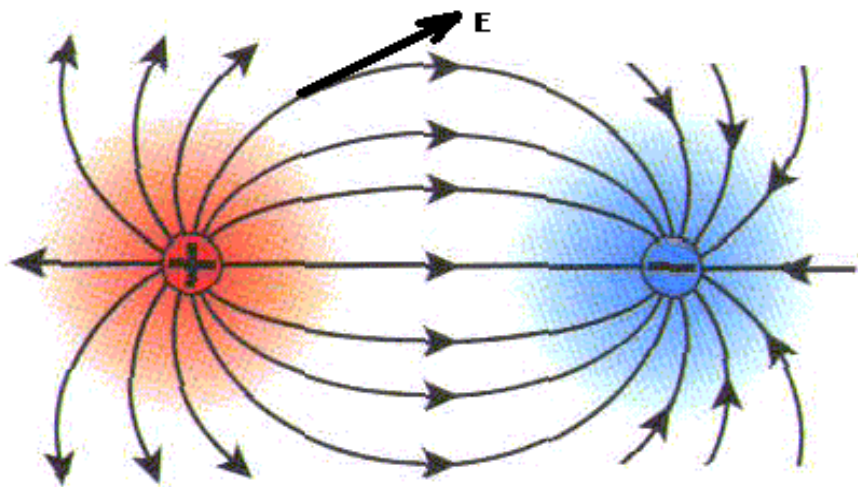
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

r – vzdálenost od náboje Q

4. Elektrické pole a jeho intenzita

Intenzita kolem bodového náboje Q klesá s druhou mocninou vzdálenosti r od náboje.

Výsledná intenzita v daném bodě má směr tečny k siločáře.

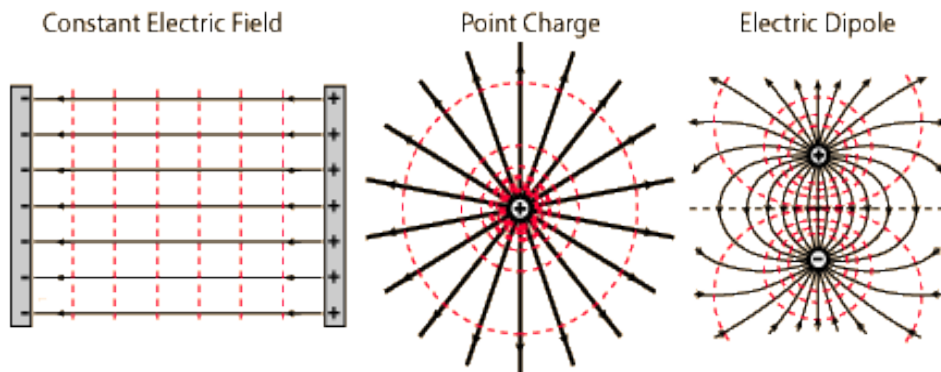


4. Elektrické pole a jeho intenzita

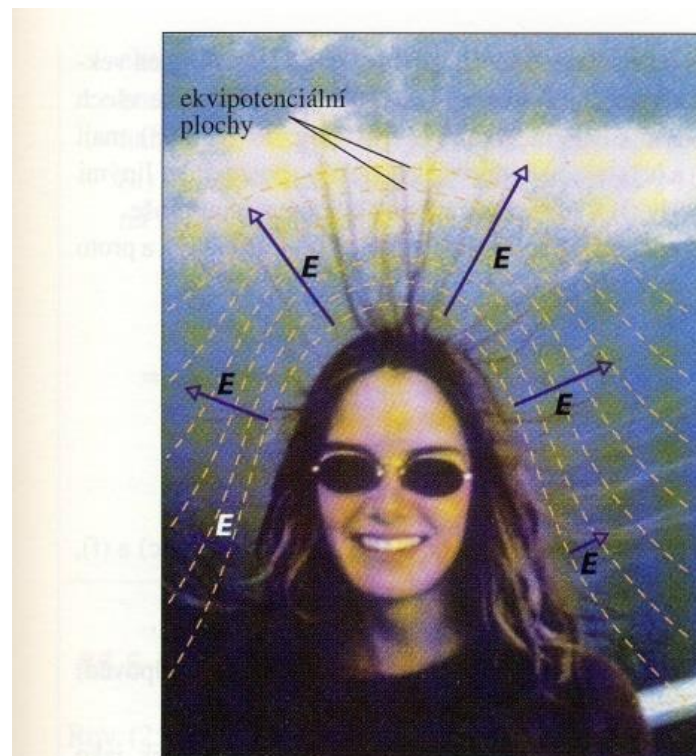
Př. směr intenzity el. pole u osoby za bouřky s vyznačenými ekvipotenciálními plochami

Ekvipotenciální plochy – místa se stejnou hodnotou intenzity elektrického pole v prostoru (obdoba vrstevnic v zeměpise).

Intenzita el. pole je vždy kolmá na ekvipotenciální plochy.



Dashed lines are equipotential lines while solid lines are electric field lines.
Click on one of the diagrams for further detail.



Obr. 25.4 Schématem doplněná fotografie z úvodní strany této kapitoly ukazuje důsledek působení nabitého mraku, který vytvořil silné elektrické pole o intenzitě E blízko hlavy ženy. Mnohé prameny jejích vlasů se natáhly podél směru elektrického pole, které je vždy kolmé k ekvipotenciálním plochám a silnější je tam, kde jsou tyto ekvipotenciální plochy těsněji u sebe, tj. v tomto případě nad temenem hlavy ženy.

4. Elektrické pole a jeho intenzita

Orientační hodnoty intenzit elektrických polí:

Elektrické pole	Velikost intenzity (N C ⁻²)
Na povrchu jádra uranu	$3 \cdot 10^{21}$
Uvnitř atomu vodíku	$5 \cdot 10^{11}$
Při elektrickém průrazu ve vzduchu	$3 \cdot 10^6$
V blízkosti nabitého válce fotokopírovacího stroje	10^5
V blízkosti nabitého plastického hřebenu	10^3
V dolní vrstvě atmosféry	10^2
Uvnitř měděného vodiče v elektrických obvodech v domácnosti	10^{-2}

4. Elektrické pole a jeho intenzita

Pozn.

Pojem elektrické pole zavedl

Michael Faraday (1791 – 1867).

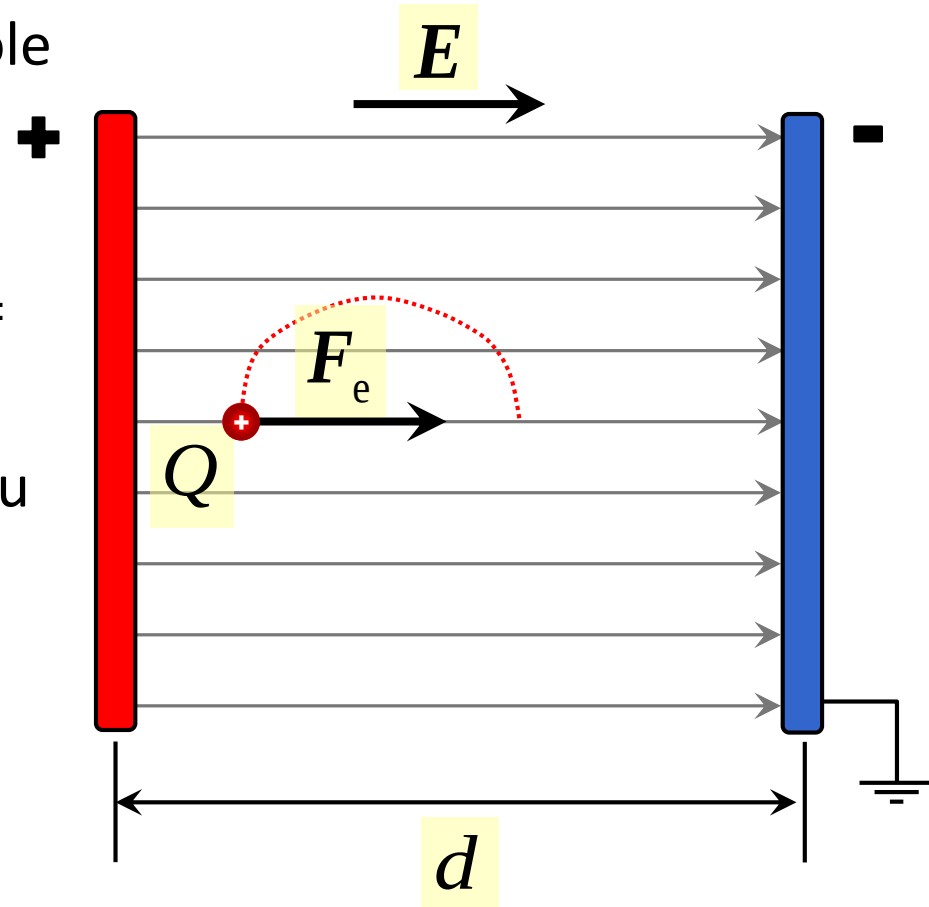
- 1831 objevil magnetické a elektrické siločáry
- vymyslel pojmy jako anoda, katoda, elektroda, iont
- vše popisoval slovně, nepoužil (nevymyslel) jediný vzorec
- položil teoretický základ pro elektromotory, dynama a výrobu elektrické energie jinou než chemickou cestou
- na základě jeho prací pak

J. C. Maxwell (1831 – 1879) formuloval
v roce 1865 rovnice elektromagnetického pole



5. Elektrická práce. Elektrické napětí.

- předpokládáme homogenní el. pole
- na částici s nábojem působí elektrická síla F_e , která koná práci
- práci obecně spočítáme jako $W = F \cdot s$
- v tomto vzorci nahradíme obecnou sílu silou elektrickou a dráhu **s** vzdáleností desek **d**



5. Elektrická práce. Elektrické napětí.

elektrická práce v homogenním el. poli - W

jednotka: [W] = 1 J (joule)

$$W = F_e \cdot d = Q \cdot E \cdot d$$

Q – přenášený náboj

E – intenzita elektrického pole mezi deskami

d – vzdálenost rovnoběžných desek

Práce vykonaná elektrickým homogenním polem při přesunu náboje Q z bodu A do bodu B je NEZÁVISLÁ na typu trajektorie, po které se náboj pohybuje.

5. Elektrická práce. Elektrické napětí.

elektrické napětí mezi dvěma body A, B – U jednotka [U] = 1 V (volt)

➤ je definováno jako podíl elektrické práce (vykonané elektrickou silou při přemístění bodového náboje Q z bodu A do bodu B) a velikosti tohoto náboje Q

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} = E \cdot d$$

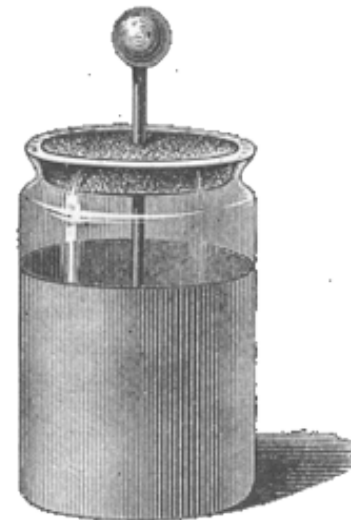
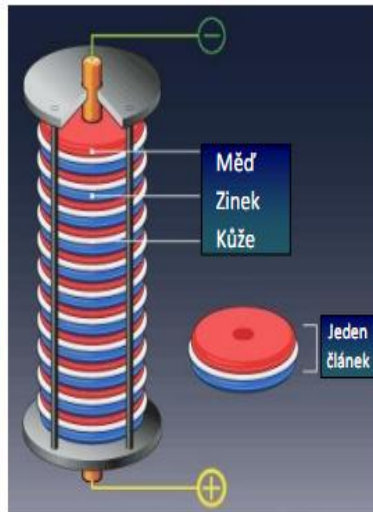
intenzita elektrického pole – E jednotka [E] = Vm⁻¹ (volt na metr)

$$E = \frac{U}{d}$$

5. Elektrická práce. Elektrické napětí.

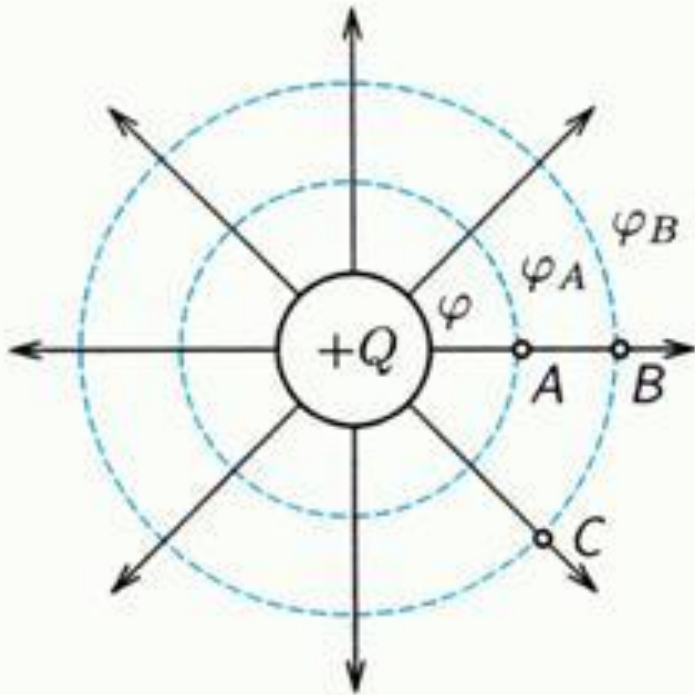
Pozn. Jednotka volt je pojmenována na počest italského fyzika **Alessandra Volty (1745 – 1827)**.

- vynalezl např. třecí elektřinu, Voltův elektrický článek (Voltův sloup)
- znovuvynalezl a zdokonalil kondenzátor
- byl ze 7 dětí a do 7 let nemluvil
- sestavil elektrochemickou řadu kovů

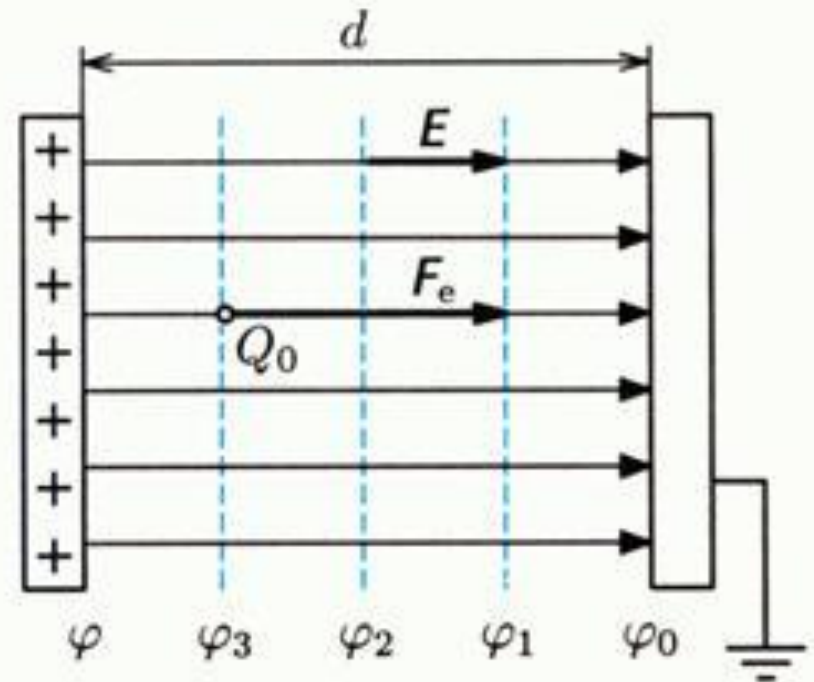


6. Elektrický potenciál

Př. ekvipotenciální hladiny a elektrický potenciál φ v případě bodového náboje a homogenního el. pole



5-9 Ekvipotenciální plochy radiálního elektrického pole

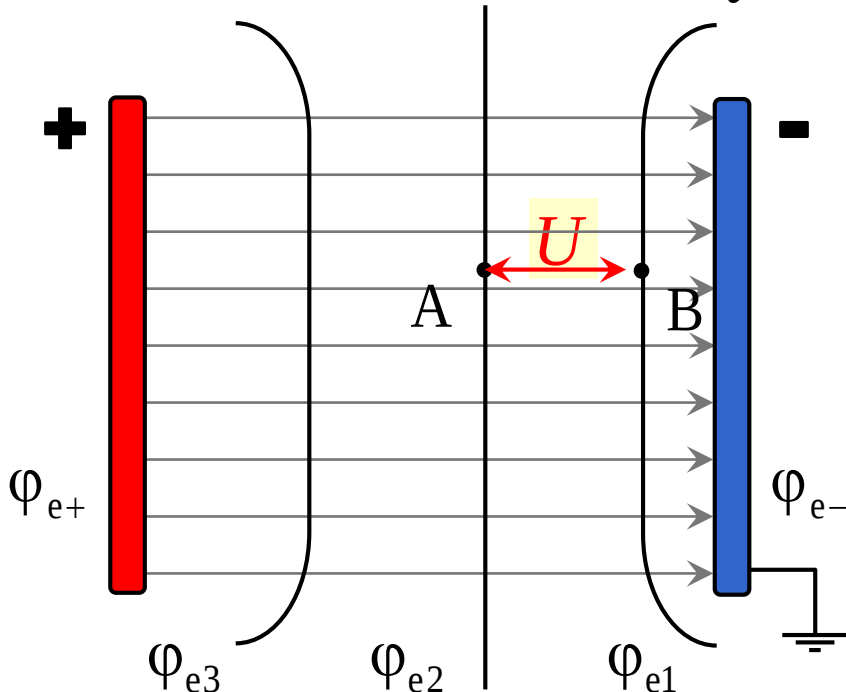


5-10 Ekvipotenciální plochy homogenního elektrického pole

6. Elektrický potenciál

- $\varphi_1, \varphi_2, \dots$ ekvipotenciální hladiny – místa se stejnou hodnotou potenciální energie, resp. se stejnou hodnotou intenzity el. pole
- zemský povrch má nulovou hladinu potenciální energie, tj. nulový potenciál
- mezi dvěma body A, B lze elektrickou práci definovat jako rozdíl potenciálních energií:
 $W_e = E_{pA} - E_{pB}$. Současně platí z minulé kapitoly, že $W_e = Q \cdot U_{AB}$
- porovnáním obou výrazů lze vyjádřit vztah pro napětí

$$U_{AB} = \frac{E_{pA} - E_{pB}}{Q} = \frac{E_{pA}}{Q} - \frac{E_{pB}}{Q} = \varphi_1 - \varphi_2$$



$$\varphi_{e+} = Ed$$

$$\varphi_{e-} = \varphi_{e0} = 0 \text{ V}$$

$$\varphi_{e+} > \varphi_{e2} > \varphi_{e1} > \varphi_{e-}$$

6. Elektrický potenciál

elektrický potenciál – φ

jednotka: [φ] = J C⁻¹ = V (volt)

- skalární veličina
- představuje velikost potenciální energie vztažené na jednotkový náboj
- základní charakteristika elektrického pole

$$\varphi = \frac{E_p}{q}$$

elektrické napětí – U

$$U = \varphi_A - \varphi_B$$

Elektrické napětí mezi dvěma body je dáno rozdílem elektrických potenciálů mezi těmito body.

6. Elektrický potenciál

- na povrchu vodiče je všude stejné napětí, protože je všude stejný potenciál
- **elektrochemický článek** – 2 různé kovy oddělené vodivou vrstvou: každý kov má svůj elektrochemický potenciál, rozdíl těchto potenciálů pak dává napětí tohoto článku. Např. Cu-Zn článek má $\varphi_{Cu} = 0,159 V$, $\varphi_{Zn} = -0,7618 V$, takže $U = 0,159 - (-0,7618) = 0,92 V$

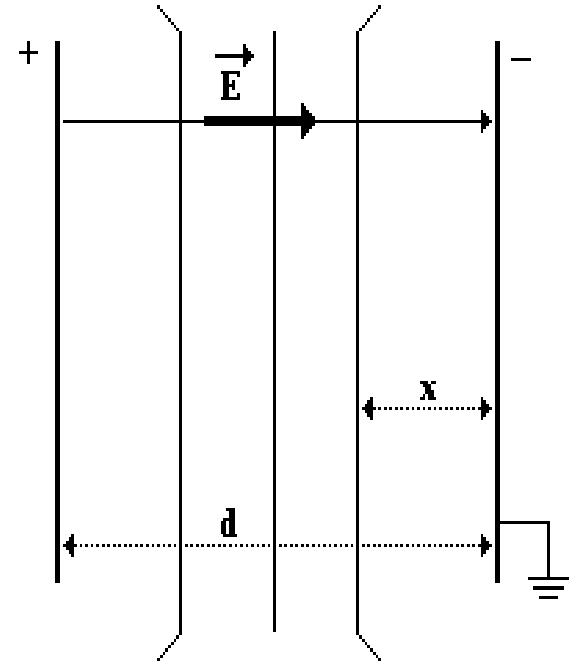
Elektrochemická řada kovů (Becketova, nejznámější prvky)

Kov	Li	K	Ca	Na	Al	Zn	Cr	Fe	Ni	Sn	Pb	H	Cu	Ag	Hg	Pt	Au
$\varphi (V)$	-3,04	-2,93	-2,87	-2,71	-1,66	-0,76	-0,74	-0,44	-0,25	-0,13	-0,13	0	0,16	0,79	0,8	1,19	1,52

6. Elektrický potenciál

elektrický potenciál homogenního el. pole

- mezi dvěma rovnoběžnými deskami vzdálenými **d** metrů je napětí **U**
- v libovolném bodě vzdáleném x metrů od uzemněné desky (nulový potenciál) naměříme el. potenciál **φ**
- intenzita el. pole je všude stejná $\Rightarrow$ poměr daného potenciálu a celkového napětí musí být stejný jako poměr vzdáleností **x** a **d**

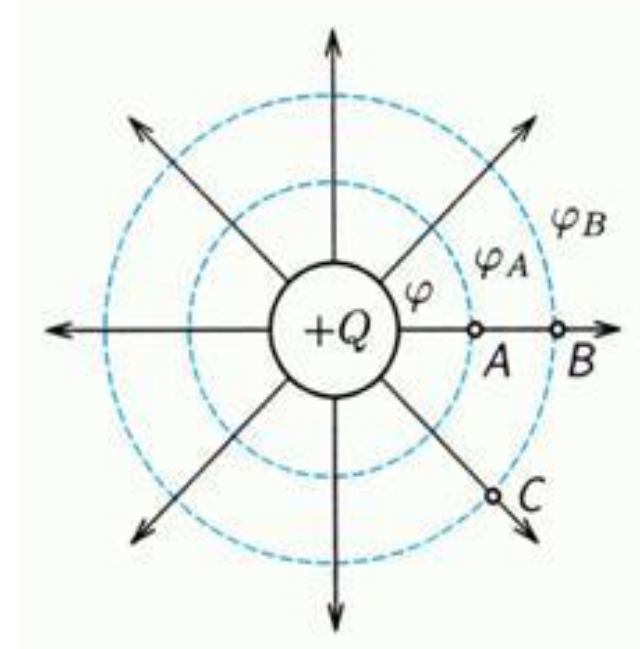


$$\varphi = U \cdot \frac{x}{d}$$

6. Elektrický potenciál

elektrický potenciál radiálního el. pole kolem bodového náboje

- ve vzdálenosti r od náboje Q , kolem kterého se vytváří elektrické pole umístíme pomyslný el. náboj q
- potenciál v nekonečnu se bere $= 0 \text{ V}$
- platí-li, že $\varphi = \frac{E_p}{q} = \frac{F_e \cdot r}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2} \cdot \frac{r}{q}$ získáme výsledný vztah

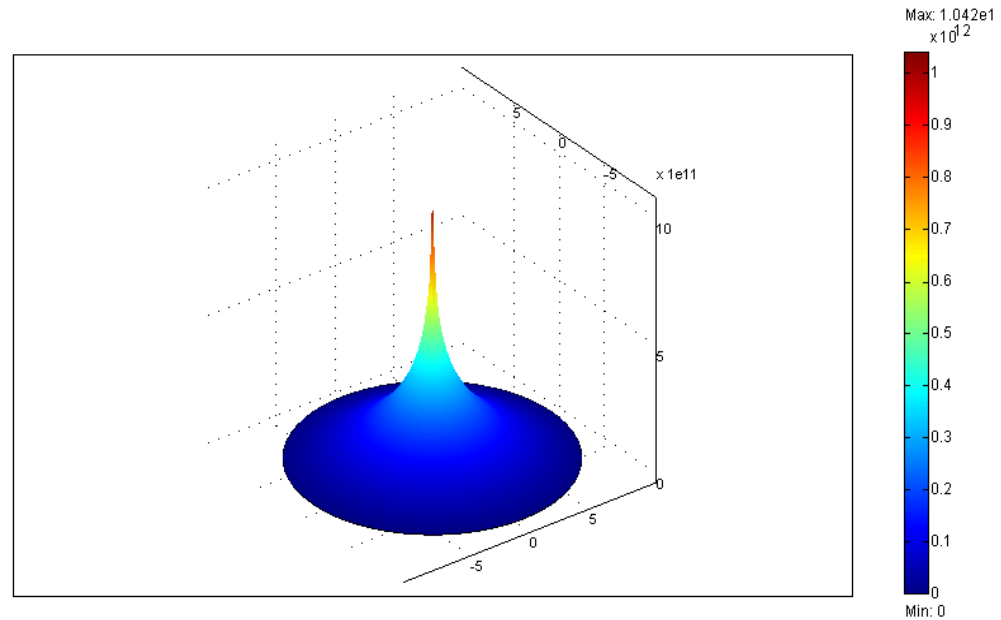


$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r}$$

6. Elektrický potenciál

Grafické znázornění poklesu potenciálu kolem bodového náboje:

- elektrický potenciál klesá nepřímo úměrně s rostoucí vzdáleností od bodového náboje Q



elektrická potenciální energie – E_p

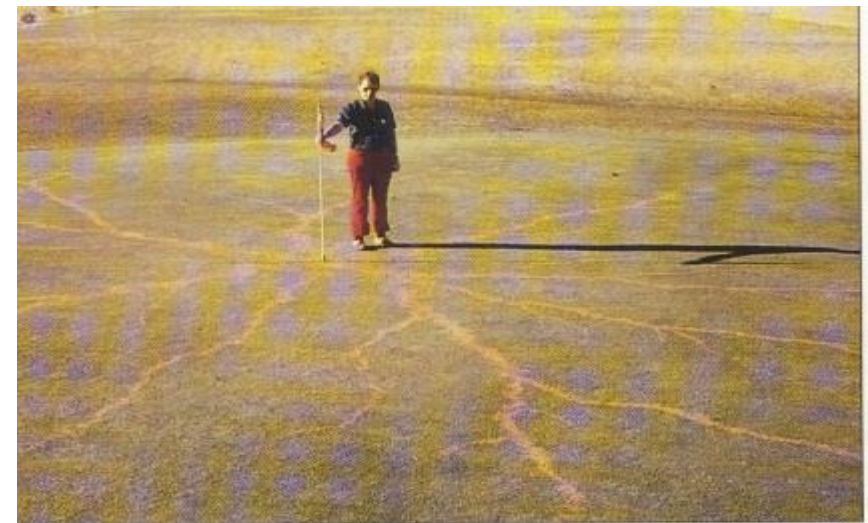
- energie nabitého tělesa umístěného do vnějšího el. pole
- jednotka se často místo v joulech udává v eV (elektronvolt)
- eV se jako jednotka používá k vyjádření energie subatomárních částic

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

6. Elektrický potenciál

Krokové napětí

- při úderu blesku do země se okolo místa úderu vytvoří na chvíli potenciální hladiny – v místě úderu je potenciál nejvyšší a dosahuje hodnot řádově 10^8 až 10^9 V
- povrchové proudy mohou projít až do vzdálenosti cca 300 m, kde je potenciál již nulový
- stojí-li člověk ve vzdálenosti 100 m od úderu blesku rozkročen na délku 1 m je rozdíl potenciálů a tedy velikost napětí U , které je mezi končetinami, roven hodnotě cca 10^7 V a proud protékající člověkem je řádově několik ampér
- krávy na louce a lesní zvěř v lese mají smůlu

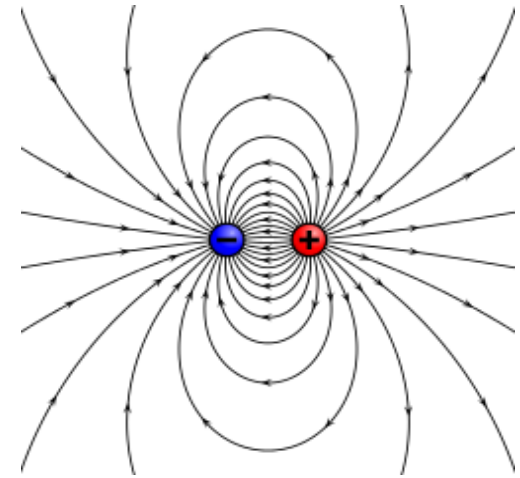


Obr. 24.14 Vypálené stopy zemních proudů blesku na trávníku golfového jamkoviště.

7. Elektrický dipól, princip mikrovlnky

Elektrický dipól – je dvojice vázaných elektrostatických nábojů opačného znaménka

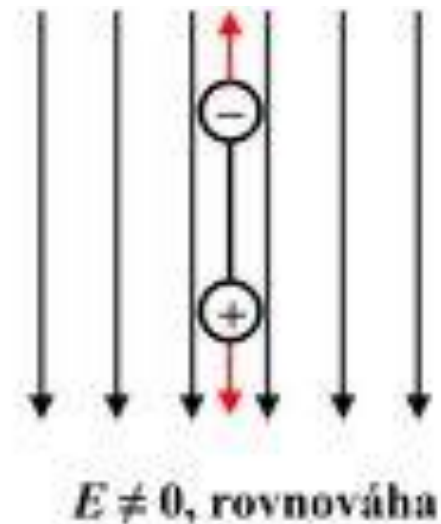
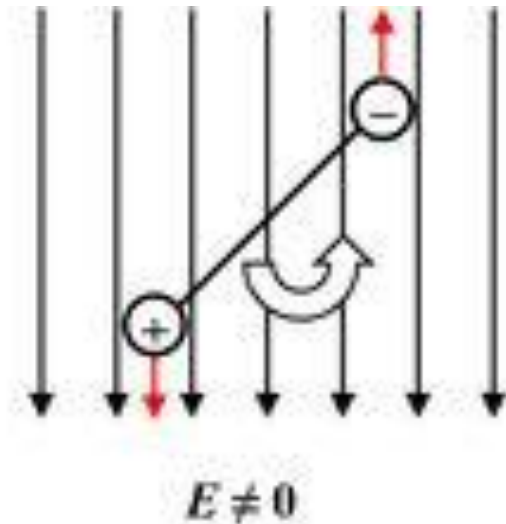
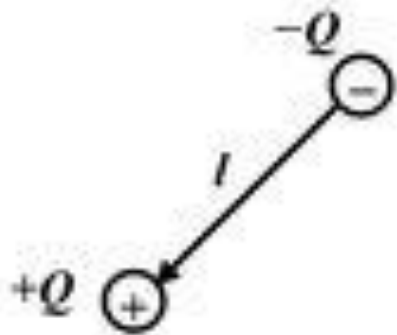
- uplatňuje se v **chemických vazbách**
- osou dipólu rozumíme přímku procházející středy obou bodových nábojů
- významnou roli hrají **molekulové dipóly** $\Rightarrow$ u vody má tato vlastnost zásadní význam pro mikrovlnné vaření
- **v biologii a lékařství** jsou vlastnosti el. dipólu využívány např. pro zajištění dráždivosti a vodivosti nervových buněk
- **srdeční myocyt** – svalová buňka srdce – vytváří dipól, který se mění během srdečního cyklu
- uvažuje se o vlivu elektromagnetického vlnění na lidský organismus – elmg. vlnění (např. z mobilu, Wi-fi) může ovlivnit dipóly v těle člověka $\Rightarrow$ negativní změny metabolismu



7. Elektrický dipól, princip mikrovlnky

Dipól v elektrickém poli

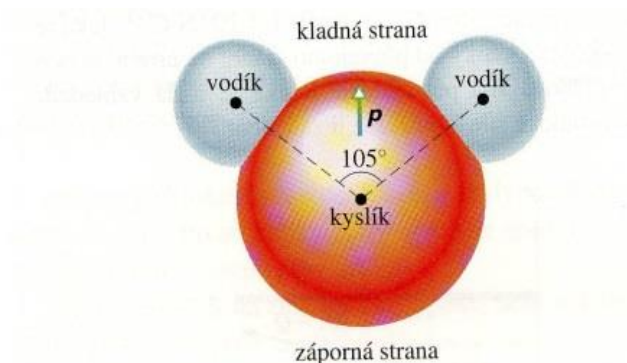
V homogenním el. poli se dipól snaží natočit tak, aby vektor dipólového momentu p byl rovnoběžný s vektorem (směrem) intenzity el. pole $E \Rightarrow$ **el. pole má na dipól otáčivý účinek.**



7. Elektrický dipól, princip mikrovlnky

Mikrovlnné vaření – princip činnosti mikrovlnné trouby

- molekula vody tvoří el. dipól
- molekuly vody se váží po 2 nebo po 3, v normálním stavu se díky srážkám spojují a rozpojují
- dochází k vzájemné přeměně elektrické potenciální energie na energii chaotického pohybu a naopak, celkově je celková energie konstantní a teplota se nemění

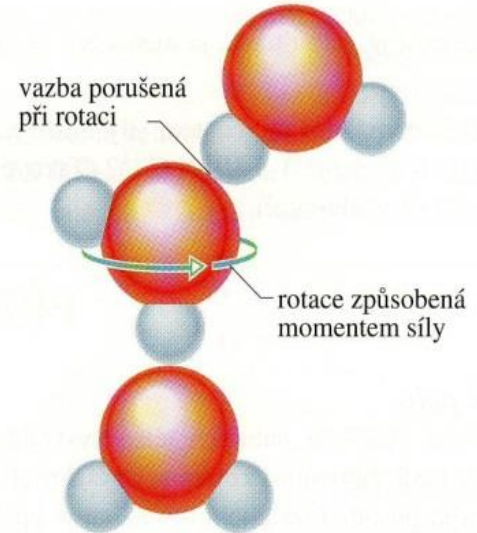


Obr. 23.17 Molekula H_2O : jsou zobrazena tři jádra (reprezentována černými body) a oblasti, v nichž se pohybují elektrony. Dipólový moment $\mathbf{p}$ směřuje od (záporné) kyslíkové části molekuly ke (kladné) vodíkové části.

7. Elektrický dipól, princip mikrovlnky

Mikrovlnné vaření – princip činnosti mikrovlnné trouby

- mikrovlnné vlnění v mikrovlnce má frekvenci cca 2,45 GHz (rezonanční frekvence molekuly vody)
- elmg. pole se snaží natočit vektor p do směru intenzity E
- u 2 molekulových uskupení není problém
- u 3 molekul se poruší aspoň jedna vazba $\Rightarrow$ energie, která se uvolní při porušení vazby, se uvolní ve formě tepla
- ohřev potravin je možný jen díky přítomnosti vody v jídle nebo pití
- kdyby voda netvořila el. dipól, mikrovlnka by nefungovala



Obr. 23.19 Skupina tří molekul vody. Moment síly způsobený oscilujícím elektrickým polem v mikrovlnné troubě rozbije jednu z vazeb mezi molekulami a tím celou skupinu.

8. Měření elektrického náboje

- elementární elektrický náboj má např. elektron nebo proton
- $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- **Robert Andrews Millikan (1868 – 1953)** – americký fyzik
- 1923 Nobelova cena za fyziku
- Millikanův pokus spočíval v porovnání sil, kterými působí elektrostatické a gravitační pole na malé nabitě kapičky oleje. Mezi desky kondenzátoru (dvě vodorovné desky, mezi kterými se může vytvářet elektrické pole) byly vstříkovány olejové kapičky. Mikroskopem byl sledován jejich vertikální pohyb v přítomnosti elektrického pole a bez něho.



8. Měření elektrického náboje

Schéma a princip experimentu:

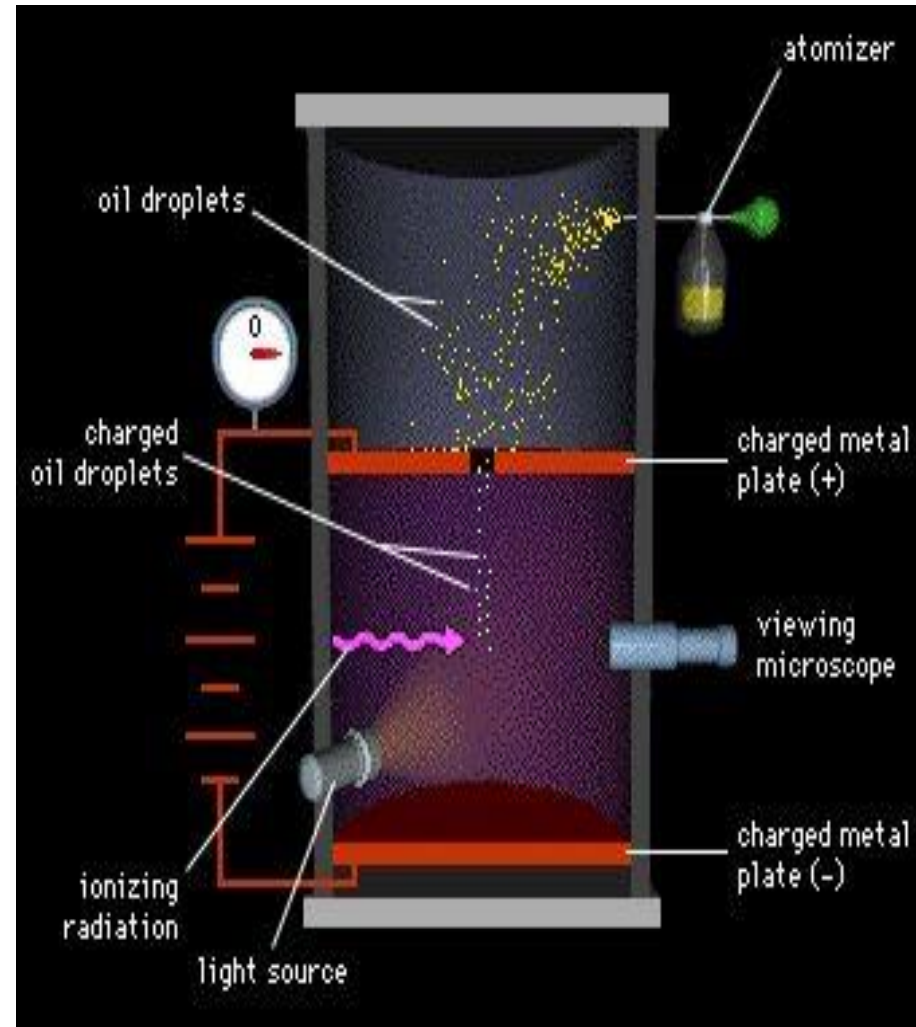
V určitém okamžiku je elektrická síla působící na kapičku oleje stejná jako tíhová síla, tj. $F_e = F_G$.

Nese-li kapička náboj Q , platí

$$E \cdot Q = m \cdot g$$

kde E je konstantní intenzita el. pole, m je hmotnost kapky, $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$.

Poměr $\frac{m}{Q} = \frac{E}{g} = \text{konst.}$ je konstantní pro danou hodnotu intenzity. Je-li hmotnost kapky n -násobkem hmotnosti elektronu, pak i celkový náboj je n -násobkem elementárního elektrického náboje a pro jeho velikost můžeme psát $e = \frac{g}{E} \cdot m_e$. Známe-li hmotnost elektronu, můžeme dopočítat velikost elementárního náboje.

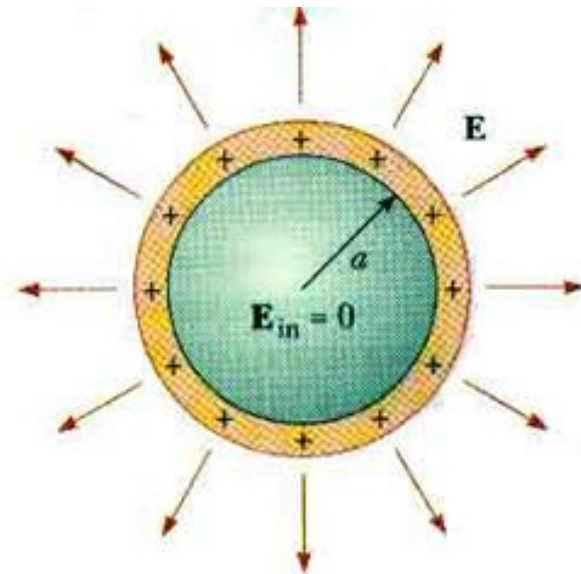


Důležitým důsledkem Millikanova experimentu bylo zjištění, že **náboj** nemůže nabývat libovolné hodnoty, ale že **je tzv. kvantován** (může nabývat pouze určitých hodnot)

9. Elektrické pole vodivého tělesa

Př. duté kulové těleso

- rovnoměrné rozmístění náboje na povrchu koule
- uvnitř koule je intenzita nulová ($E = 0$)
- náboj uvnitř je také nulový ($Q = 0$)
- kdyby uvnitř koule platilo, že $E \neq 0$, na elektrony by působila elektrická síla, která by způsobila jejich pohyb $\Rightarrow$ vzniknul by neustálý proud, což nepozorujeme



9. Elektrické pole vodivého tělesa

plošná hustota náboje – σ

jednotka: [σ]=Cm⁻²

➤ popisuje rozložení náboje Q na dané ploše S

$$\sigma = \frac{Q}{S}$$

intenzita el. pole na povrchu koule

➤ připomeneme, že platí $E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{R^2} = \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{Q}{4\pi R^2} = \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{Q}{S}$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

ϵ – permitivita prostředí

σ – plošná hustota náboje

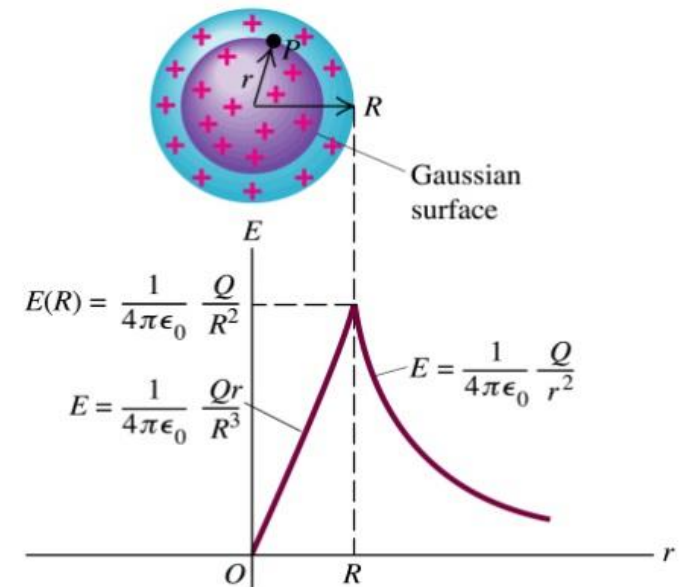
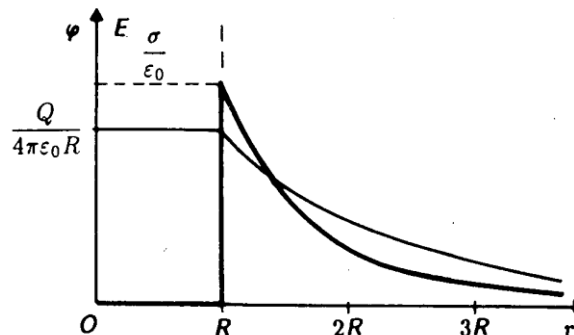
9. Elektrické pole vodivého tělesa

elektrický potenciál na povrchu koule

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{R}$$

- ze vzorce plyne, že je konstantní
- uvnitř koule je stejný jako na jejím povrchu (obecně platí $U = \varphi_1 - \varphi_2 = E \cdot d$. Jelikož je $E = 0$, musí být nutně $\varphi_1 = \varphi_2$)

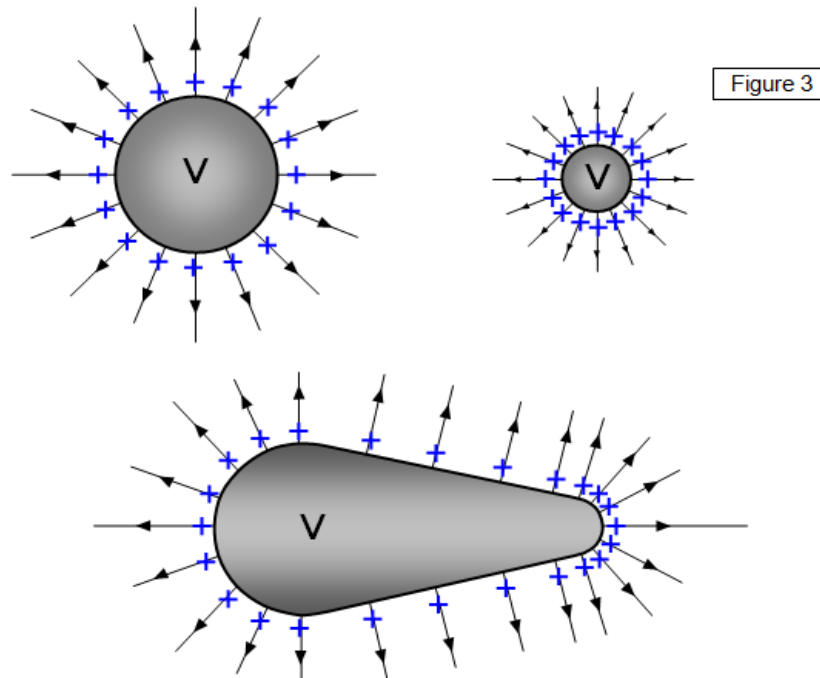
Průběhu intenzity a potenciálu ve vzdálenosti r od povrchu nabitě koule o poloměru R



9. Elektrické pole vodivého tělesa

Nepравidelná tělesa:

- hroty, hrany
- hromadění náboje a zvýšená intenzita na hrotech a místech s malým poloměrem
- **nerovnoměrné rozložení náboje** na tělese

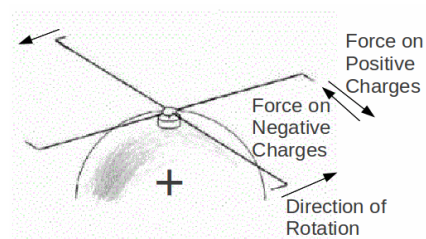
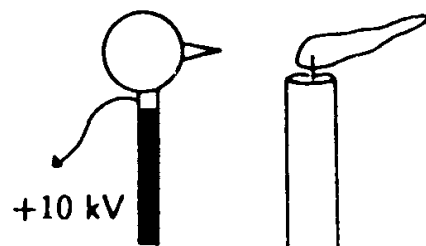


9. Elektrické pole vodivého tělesa

Elektrický vítr – sršení el. náboje

v okolí nabitých hrotů dochází k hromadění el. náboje, který následně ionizuje vzduch, který přestane být izolantem. Ionty se souhlasným nábojem strhávají molekuly vzduchu.

- způsobuje ztráty v sítích VVN (velmi vysoké napětí)
- není primárně spojen s optickým vjemem
- elektrický větrník
- odklon plamene svíčky od nabitého hrotu



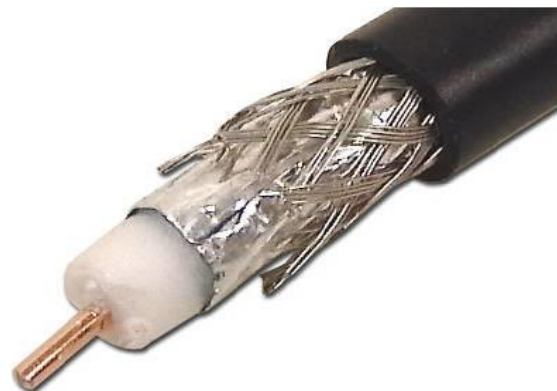
9. Elektrické pole vodivého tělesa

Faradayova klec

- ochrana proti elektrostatickému náboji nebo elektromagnetickým polím
- **drátěná klec – uvnitř je náboj = 0**
- auto je F. klec – ochrání před úderem blesku
- panelák – železobetonová konstrukce se může chovat jako F. klec – uvnitř paneláku může být zhoršený příjem signálu $\Rightarrow$ odstíní elmg. vlny
- stínění TV kabelů – koaxiální kabely bývají stíněné (obalené hliníkovou fólií) $\Rightarrow$ odstranění rušivých vlivů okolních elmg. polí na TV signál



Obr. 25.20 Do karosérie auta udeřila mohutná elektrická jiskra a pak přeskočila přes izolující levou přední pneumatiku do země (všimněme si záblesku v tomto místě), aniž zranila osobu uvnitř auta.



9. Elektrické pole vodivého tělesa



Drátěná košile ochrání člověka před výbojem několika desítek až stovek tisíc voltů. Podmínkou je ale současně dobrá izolace od země.



9. Elektrické pole vodivého tělesa

Nikola Tesla (1856 – 1943)

- americký vynálezce srbského původu $\Rightarrow$ rádio (NC ale **Marconi(1874 – 1937)**), asynchronní motor, předpověděl bezdrátový přenos obrazu, zvuku i textu
- propagátor střídavého proudu, vynalez bezdrátový telegraf
- bezdrátový přenos energie na dálku $\Rightarrow$ tunguzská katastrofa jako nevydařený přenos energie (?)
- přítomnost při Filadelfském experimentu



10. Vodič a izolant v elektrickém poli

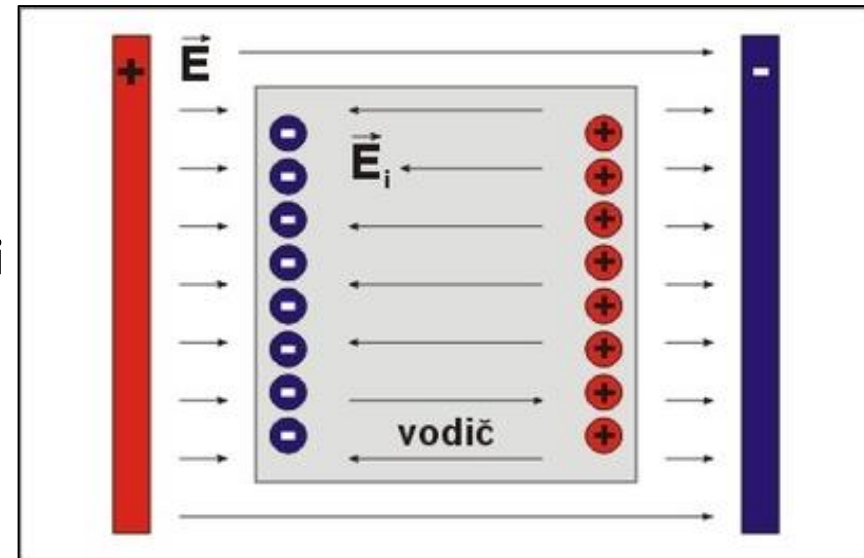
Vodič

elektrostatická indukce – jev, ke kterému dojde při vložení vodiče do elektrického pole

- přeskupení náboje ve vodiči
- indukovaná intenzita E_i se vypočítá vzájemně s intenzitou el. pole $E \Rightarrow$ intenzita uvnitř vodiče = 0
- náboje indukované ve vodiči můžeme od sebe oddělit rozdělením vodiče na 2 části

$\vec{E}$ – intenzita elektrického pole mezi deskami

$\vec{E}_i$ – indukovaná intenzita ve vodiči

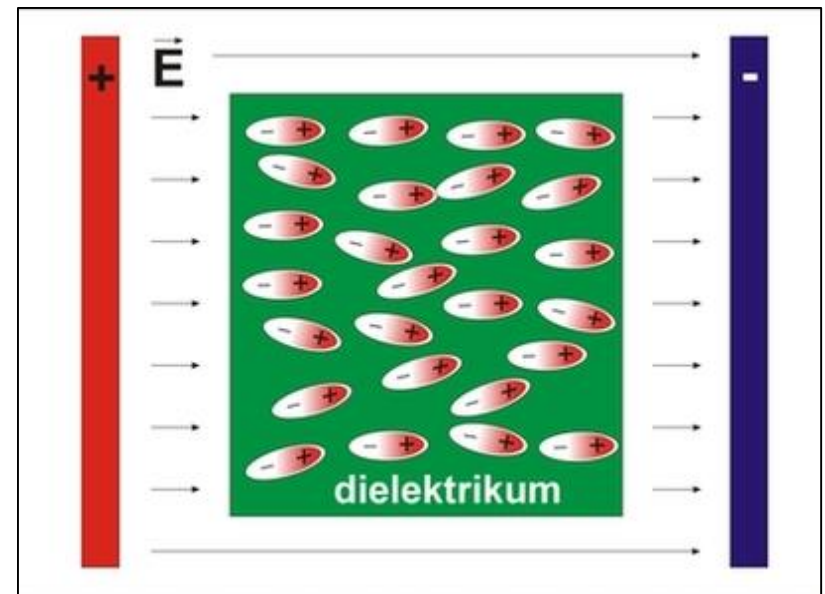


10. Vodič a izolant v elektrickém poli

Izolant

polarizace dielektrika – jev, ke kterému dojde při vložení izolantu (dielektrika) do elektrického pole

- izolant nemá volné elektrony
- z atomů a molekul se stanou elektrické dipóly $\Rightarrow$ natáčí se do směru siločar el. pole
- náboje indukované ve vodiči NELZE od sebe oddělit
- výsledná intenzita $E_v = E - E_i \neq 0$



10. Vodič a izolant v elektrickém poli

relativní permitivita dielektrika – ϵ_r

jednotka: [ϵ_r] = bezrozměrné číslo

$$\epsilon_r = \frac{E_e}{E}$$

E_e – intenzita el. pole ve vakuu

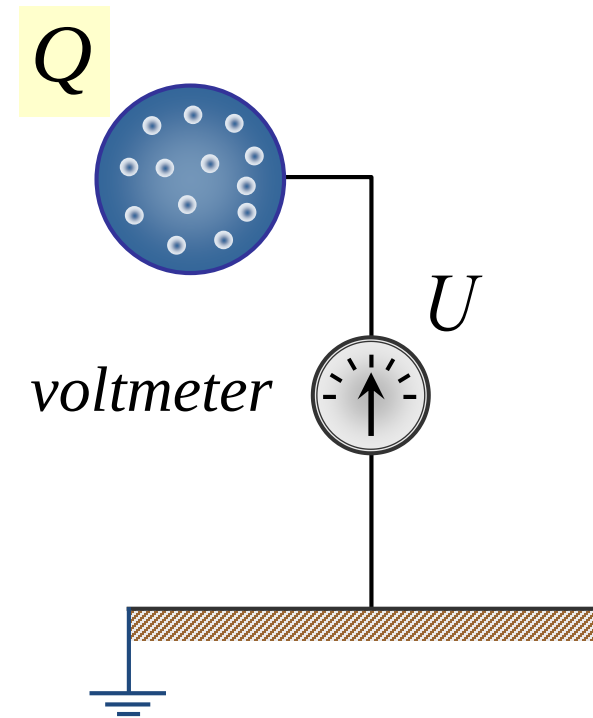
E – intenzita el. pole v dielektriku

- relativní permitivita tedy udává, **kolikrát se elektrické pole v dané látce zeslabí oproti vakuu**

11. Kapacita vodiče. Kondenzátor.

??? Můžeme na vodič (kouli, desku) přenést libovolně velký náboj?

- ne, množství náboje je omezené tvarem a velikostí předmětu
- počet částic – nábojů – na vodiči je omezený
- každý vodič má tedy určitou **kapacitu**



11. Kapacita vodiče. Kondenzátor.

elektrická kapacita vodiče – C

jednotka: [C] = F (farad)

- **vyjadřuje schopnost vodiče uchovat elektrický náboj** $\Rightarrow$ čím větší kapacita tělesa, tím více náboje lze na těleso přenést
- představuje maximální množství náboje na tělese při jednotkovém potenciálu
- je dána poměrem náboje na tělese a hodnotou potenciálu $\Rightarrow$ změní-li se velikost náboje na tělese, změní se také velikost potenciálu
- je-li napětí definováno jako rozdíl potenciálů a uvažujeme-li, že potenciál země je roven nule, můžeme kapacitu definovat i jako množství náboje na tělese při daném napětí

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

11. Kapacita vodiče. Kondenzátor.

??? Jak velká je kapacita 1 F?

- 1 F je kapacita vodiče, který se nábojem 1 C nabije na potenciál 1 V
- z pohledu „velikosti“ je 1 F „velká“ kapacita
- běžné hodnoty: pF, nF, μ F

Kapacita vodiče

- ZÁVISÍ na geometrii (tvaru a velikosti) vodiče
- NEZÁVISÍ na velikosti napětí nebo náboje přivedeného na vodič

11. Kapacita vodiče. Kondenzátor.

Kondenzátor

- obecně jakékoliv zařízení, které umožňuje uchovávat elektrickou potenciální energii
- v praxi: pasivní elektrotechnická součástka používaná v elektrických obvodech k uchování el. náboje
- princip: dvě vodivé elektrody oddělené dielektrikem
- základní vlastnosti: kapacita, maximální dovolené napětí, činitel jakosti
- základní součástka oscilačních obvodů (generátorů elmg. vln)

Značení:



kondenzátor

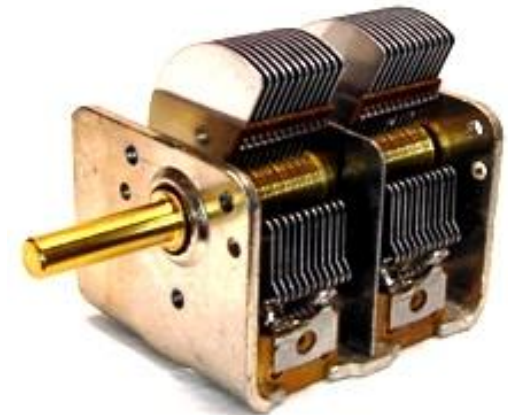


otočný
kondenzátor

11. Kapacita vodiče. Kondenzátor.

Typy kondenzátorů podle dielektrika:

- a) Leidenská láhev** – historicky (1745) první kondenzátor vyrobený ze skleněné lahve (mající funkci dielektrika) opatřené zevnitř i zvnějšku vodivými polepy (elektrody); pojmenovaná podle nizozemské univerzity v Leidenu; dodnes používána u **Wimshurstově** indukční elektrice
- b) otočný vzduchový** – používá se jako ladící prvek v elektronických zařízeních, např. v rádiu k naladění stanice; kapacita se mění otáčením podle velikosti plochy, která je společná mezi statorem (pevná část) a rotorem (otáčející se desky)

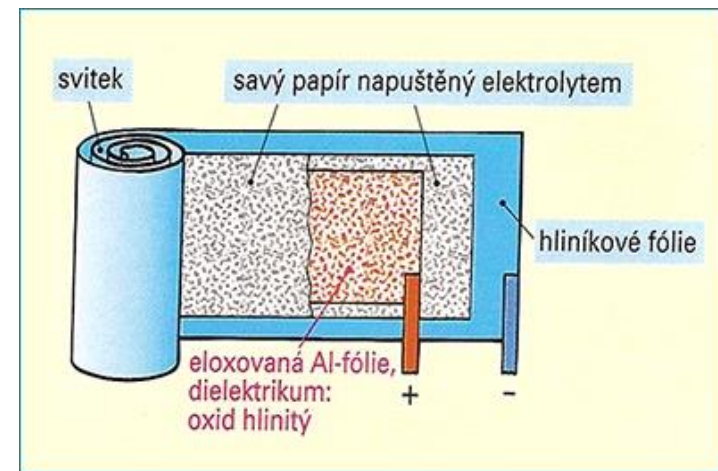


11. Kapacita vodiče. Kondenzátor.

Typy kondenzátorů podle dielektrika:

c) svitkový – papír, obvykle napuštěný voskem, tvoří dielektrikum; elektrody bývají z hliníkové fólie

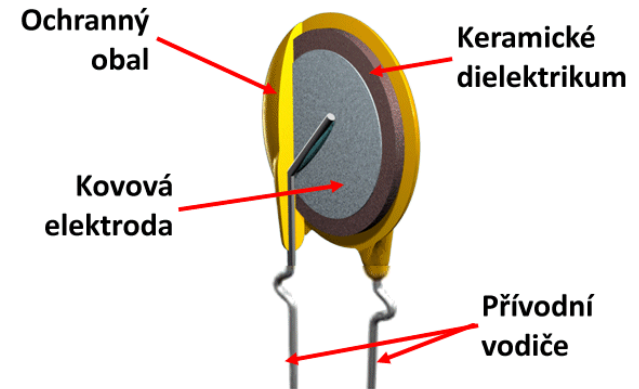
d) elektrolytický – elektrody s velkým povrchem, při zapojení je třeba dbát na správnou polaritu, má vysokou kapacitu; katoda – vodivý elektrolyt (tekutý, polosuchý, pevný), anoda – hliníková fólie značka je mírně odlišná od běžného značení:



11. Kapacita vodiče. Kondenzátor.

Typy kondenzátorů podle dielektrika:

e) **keramický** – speciální keramika s velkou permitivitou



f) **varikap** – kapacitní dioda – napětím řízený kondenzátor; PN přechod zapojený v závěrném směru se chová jako kondenzátor; značka:



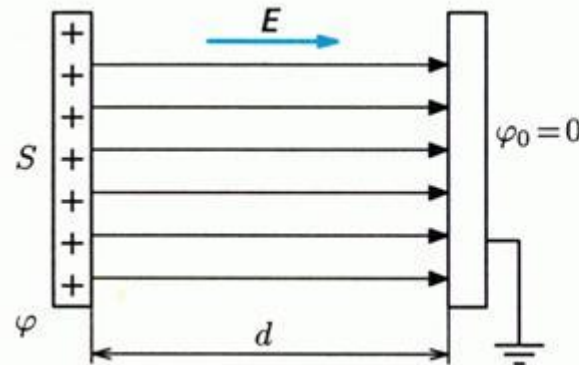
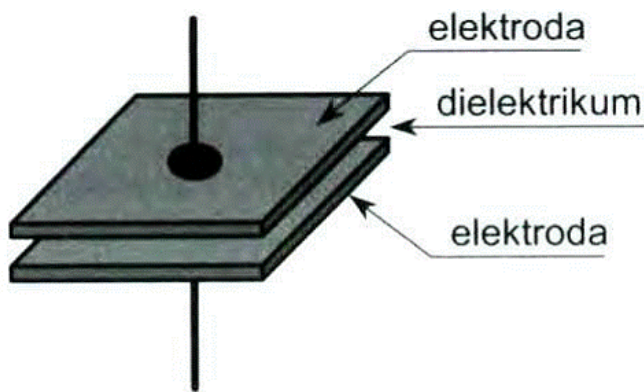
g) **slídový**

h) **plastový**



11. Kapacita vodiče. Kondenzátor.

Deskový kondenzátor – dvě vodivé desky o ploše S ve vzdálenosti d , mezi nimi dielektrikum s permitivitou ε



5-14 Schéma deskového kondenzátoru

Pro intenzitu el. pole mezi deskami platí, že $E = \frac{U}{d}$ a současně $E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{Q}{\varepsilon \cdot S}$. Z rovnosti obou výrazů plyne, že

$\frac{U}{d} = \frac{Q}{\varepsilon \cdot S}$ Po úpravě rovnice můžeme vyjádřit poměr náboje Q a napětí U :

$$\frac{Q}{U} = \frac{\varepsilon \cdot S}{d}$$

Podílem $\frac{Q}{U}$ je dána kapacita, takže pro kapacitu deskového kondenzátoru platí následující vztah:



11. Kapacita vodiče. Kondenzátor.

kapacita deskového kondenzátoru

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot S}{d}$$

Kulový kondenzátor – elektrody tvaru koule; větší koule

má poloměr r_2 , menší r_1

➤ obrovský kulový kondenzátor tvoří např. naše zemská ionosféra a země

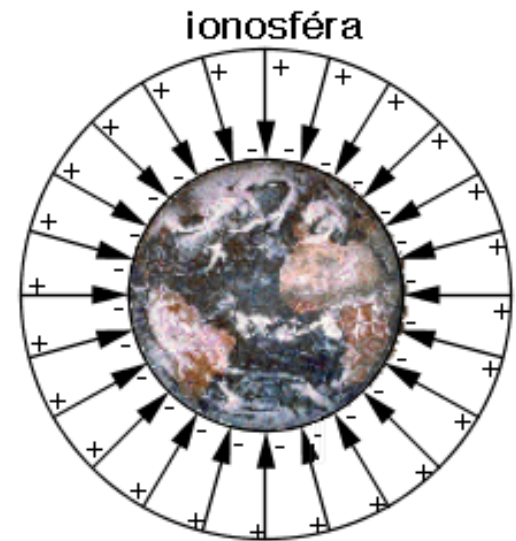
⇒ intenzita el. pole je 100 – 200 V/m

⇒ mezi ionosférou (kladná elektroda) a zemským povrchem (převážně vodivá mořská voda tvořící zápornou elektrodu) je vzdálenost cca 100 km,

napětí asi 400 kV a kapacita tohoto kondenzátoru je cca 20 kC

Je-li potenciál kulového vodiče $\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{Q}{R}$, pak pro kapacitu

kulového vodiče $C = \frac{Q}{\varphi}$ platí



11. Kapacita vodiče. Kondenzátor.

kapacita kulového vodiče o poloměru R

$$C = 4\pi\epsilon R$$

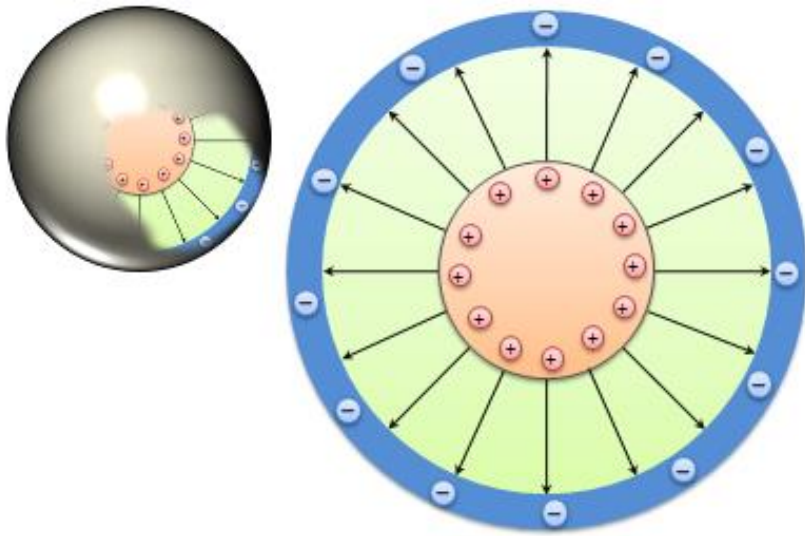
Pro kulový kondenzátor, tvořený 2 koulemi různých poloměrů platí, že napětí mezi oběma elektrodami je dáno rozdílem potenciálů $U = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot$

$\frac{Q}{r_1} - \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r_2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$. Kapacita je pak dána jako $C = \frac{Q}{U}$ a tedy platí

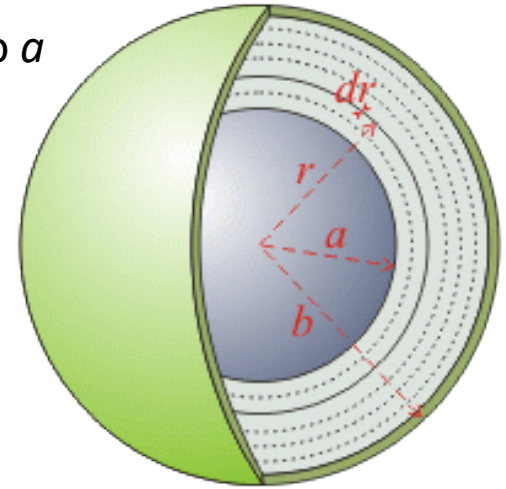
kapacita kulového kondenzátoru

$$C = 4\pi\epsilon \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

11. Kapacita vodiče. Kondenzátor.



r_1 je zde jako b , r_2 jako a



<http://fyzikalniulohy.cz>

Čím větší je kapacita kondenzátoru, tím větší náboj musí být přenesen na elektrody, aby se na kondenzátoru dosáhlo požadovaného napětí

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

Po nabití kondenzátoru je na obou deskách (resp. vodičích) stejně velký náboj opačného znaménka.

12. Spojování kondenzátorů. Energie kondenzátoru.

Využití kondenzátorů v praxi:

- **počítačové paměti** – tvořené miliony miniaturních kondenzátorů, které jsou ve stavu 1 – je náboj nebo 0 – není náboj
- **defibrilátor** – přístroj používaný v lékařství k provádění elektrických šoků při zástavě srdce, kdy velké množství náboje projde během krátké doby přes srdeční sval a může tak obnovit srdeční činnost.

⇒ základem defibrilátoru je kondenzátor, který je nabíjen baterií, el. obvod pak nabíjí kondenzátor na vysoké napětí cca 5000 V

⇒ kapacita kondenzátoru je cca 70 μF , el. energie je E

$$\frac{1}{2}CU^2 \cong 875 \text{ J}$$

⇒ tělem projde asi 200 J za 2 ms ⇒ výkon pulzu je $P =$

$$\frac{200}{2 \cdot 10^{-3}} = 100 \text{ kW}$$



12. Spojování kondenzátorů. Energie kondenzátoru.

Využití kondenzátorů v praxi:

- **elektrický paralyzér** – elektrický paralyzér generuje z nízkého vstupního napětí vysoké výstupní napětí. Jako zdroj se obvykle používá baterie s napětím od 1,5 do 12 V. Napětí ze zdroje prochází zesilovacím obvodem, kde je znásobeno na **200 000 až 500 000 voltů**, ale dochází ke snížení intenzity elektrického proudu. Součástí tohoto obvodu je také oscilátor měnící kmitočtovou charakteristiku proudu a kondenzátor umožňující uchování energie potřebné k vytvoření výboje. Následně je elektrický proud přiveden na kontaktní elektrody, které jsou přiloženy k tělu útočníka.

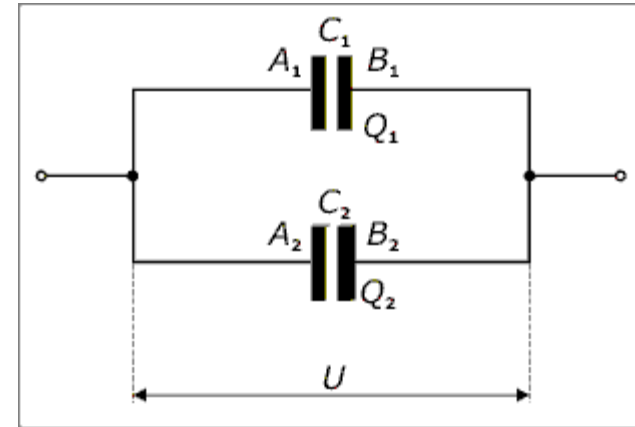


12. Spojování kondenzátorů. Energie kondenzátoru.

Paralelní zapojení kondenzátorů

- napětí na obou kondenzátorech je stejné, tj. $U_1 = U_2 = U$
- celkový náboj soustavy je dán součtem nábojů na jednotlivých kondenzátorech, tj. $Q = Q_1 + Q_2$
- do předchozí rovnice dosadíme za náboje ze vztahu $Q = C \cdot U$, tj.
 $CU = C_1U + C_2U$, zkrátíme napětí a máme výsledek:

$$C = C_1 + C_2$$



- analogicky v případě většího počtu kondenzátorů zapojených paralelně platí
 $C = C_1 + C_2 + \dots C_n$

12. Spojování kondenzátorů. Energie kondenzátoru.

Sériové zapojení kondenzátorů

- na obou kondenzátorech je stejný náboj, tj. $Q_1 = Q_2 = Q$
- celkové napětí na obou kondenzátorech je dáno součtem

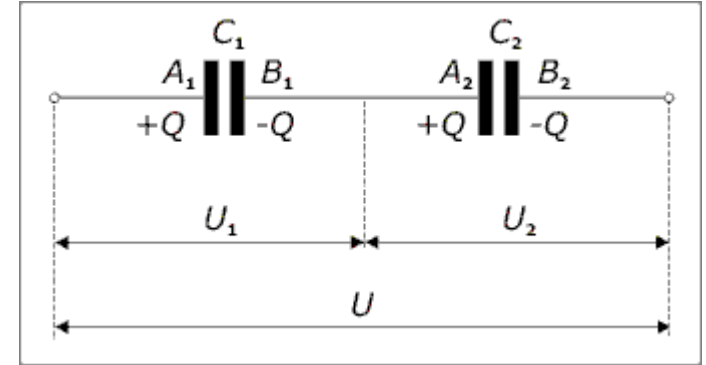
jednotlivých napětí, tj. $U = U_1 + U_2$

- do předchozí rovnice dosadíme za náboje ze vztahu $U = \frac{Q}{C}$, tj.

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}, \text{ zkrátíme náboj a máme}$$

výsledek:

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



analogicky v případě většího počtu kondenzátorů zapojených do série platí $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$

12. Spojování kondenzátorů. Energie kondenzátoru.

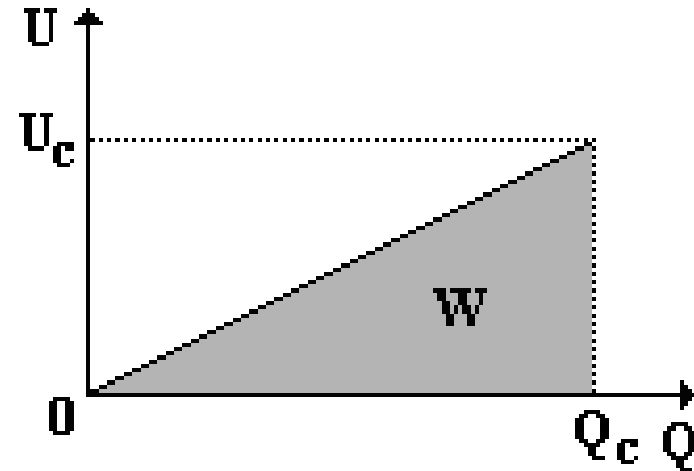
Př. Kombinované zapojení sériově-paralelní se počítá postupně:

- nejprve vypočítáme výslednou kapacitu C_{12} kondenzátorů C_1 a C_2 , které jsou
zapojeny paralelně: $C_{12} = C_1 + C_2$
- pak dopočítáme výslednou kapacitu sériového zapojení pomyslného C_{12} a
reálného C_3 : $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{12}} + \frac{1}{C_3} = \frac{C_{12} + C_3}{C_{12} \cdot C_3}$
- nakonec vyjádříme kapacitu C : $C = \frac{C_{12} \cdot C_3}{C_{12} + C_3} = \frac{(C_1 + C_2) \cdot C_3}{C_1 + C_2 + C_3}$

12. Spojování kondenzátorů. Energie kondenzátoru.

Energie kondenzátoru:

- k nabití kondenzátoru je potřeba vnějšího působení elektrické síly, která vykoná práci $\Rightarrow$ v praxi je touto silou baterie, která koná práci na úkor své chemické energie
- energie kondenzátoru je soustředěna v el. poli mezi jeho elektrodami (např. deskami)
- kondenzátor se nabíjí postupně, tj. napětí na kondenzátoru není „hned“ po připojení baterie na maximum
- **práce je graficky dána jako plocha pod křivkou napětí**
- energie je pak dána prací, z obr. a ze vztahu $C = Q/U$ pak plynou následující vztahy:



$$E_{el} = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{Q^2}{2C}$$