Gravitační a elektrické pole

Newtonův gravitační zákon

Aristotelés (384 - 322 př. n. l.) předpokládal, že na tělesa působí síla směřující svisle dolů. Proto jsou těžké předměty (skály tvořící placatou Zemi) dole a lehké předměty (vzduch) nahoře. Představa, že je Země placatá byla tedy docela dobře zdůvodněná. Zároveň se předpokládalo, že nebeská tělesa se řídí jinými zákony než platí na povrchu Země (nakonec, kdyby byl Měsíc přitahován k Zemi, dalo by se čekat, že na ni spadne).

Isaac Newton si v roce 1665 uvědomil, že když Měsíc obíhá kolem Země, má dostředivé zrychlení a musí na něho působit dostředivá síla. Směřuje-li síla, působící na Měsíc do středu Země, lze očekávat, že s ní má Země něco společného. Newton si uvědomil, že síla udržující Měsíc na kruhové dráze kolem Země má stejnou podstatu jako síla přitahující tělesa k Zemi. Odvodil tak **Newtonův gravitační zákon**

> Síla, kterou se přitahují každé dva hmotné body ve Vesmíru, je přímo úměrná součinu jejich hmotností a nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti mezi nimi.

$$F_g = G\frac{m_1 m_2}{r^2}, \qquad (7.1)$$

kde m_1 a m_2 jsou hmotnosti obou těles a r je vzdálenost mezi nimi. G je gravitační konstanta (G = 6,67.10^{-11} N.m^2.kg^{-2}). Síla je vektorová veličina, ale ve vztahu (7.1) počítáme jen její velikost jako skalár. Směr síly je v informaci, že gravitační síla je vždy přitažlivá.

Tak, jak je Newtonův gravitační zákon zformulován v (7.1), je omezen na hmotné body, tedy tělesa o velikosti zanedbatelné ve srovnání s jejich vzdáleností. Tato podmínka nebude splněna, budeme-li počítat třeba sílu, kterou Země přitahuje tělesa na svém povrchu. Existuje řešení rozdělit těleso na malé elementy, a integrovat vztah (7.1) přes celé těleso. Pro tělesa kulového tvaru tento problém vyřešil už Newton, když zformuloval takzvaný **slupkový teorém**:

> Homogenní hmotná kulová slupka přitahuje vně ležící částici stejně, jako kdyby veškerá hmota slupky byla soustředěna v jejím středu. Na částici uvnitř této slupky tato nepůsobí žádnou výslednou gravitační silou.

Z odchylek gravitačního pole lze usuzovat na nehomogenity rozložení hmoty na Zemi (dutiny), případně (z odchylek v pohybu umělých družic měřených dopplerovským posunem frekvence signálu vysílaného sondou) na nehomogenity v rozložení hmoty planet.

V současné době je gravitace nejlépe popsána obecnou teorií relativity jako zakřivení časoprostoru. Pro slabá gravitační pole je obecná teorie relativity dostatečně aproximována Newtonovým gravitačním zákonem.

Pohyb tělesa kolem Země

Na těleso pohybující se v okolí Země působí gravitační síla směřující do jejího středu – dostředivá síla. Je-li rychlost tělesa malá (stovky m.s^{-1}), jedná se o vrhy (svislý, vodorovný, šikmý). Při rostoucí počáteční rychlosti může těleso částečně nebo úplně obíhat kolem Země. Aby těleso obíhalo kolem Země po kruhové dráze, musí získat **1. kosmickou rychlost** v_{k1}. Tehdy je gravitační síla (7.1) rovna dostředivé síle (3.13)

$$m\frac{v_{k1}^2}{r} = G\frac{mM}{r^2},$$

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

kde m je hmotnost tělesa, M hmotnost Země a r vzdálenost tělesa od středu Země. Po úpravě

$$v_{k1} = \sqrt{G\frac{M}{r}}. \tag{7.2}$$

U povrchu Země má 1. kosmická rychlost hodnotu 7900 m.s^{-1}.
Je-li rychlost tělesa vyšší než 1. kosmická, těleso se pohybuje po elipse tím protaženější, čím je rychlost vyšší.
Dosáhne-li těleso 2. kosmické rychlosti, změní se eliptická dráha na parabolickou a těleso je schopno odletět do nekonečna. **2. kosmickou rychlost** lze vypočítat podle vztahu (odvodíme v kapitole o potenciálu gravitačního pole)

$$v_{k2} = \sqrt{G\frac{2M}{r}}. \tag{7.3}$$

Na povrchu Země má 2. kosmická rychlost hodnotu 11180 m.s^{-1}.

Coulombův zákon

Již v antice si lidé všimli, že třeme-li kus jantaru, přitahuje pak kousky slámy. V 18. století si fyzici všimli, že třeme-li skleněnou tyč kouskem hedvábí, chová se stejně. Stejně tak třeme-li ebonitovou tyč kožešinou, i ona bude přitahovat malé předměty. Ovšem dvě skleněné nebo dvě ebonitové tyče se odpuzují, zatímco ebonitová a skleněná tyč se přitahují. Tím, že tyč třeme, přeneseme na ni něco, čemu budeme říkat náboj. Stejné tyče se odpuzují – stejné náboje se tedy odpuzují. Různé tyče se přitahují – různé (opačné) náboje se tedy přitahují. Lze zjistit, že existují jen dva typy nábojů. Bylo rozhodnuto (jak uvidíme později, tak docela nešťastně), že skleněná tyč se nabíjí kladně, ebonitová záporně. Elektrický náboj je jednou ze základních fyzikálních veličin. Jednotkou elektrického náboje je coulomb (značka C), který je definován jako náboj, který proteče za 1 sekundu vodičem, kterým teče proud 1 ampér.
Charles Augustin Coulomb (1736 – 1806) v roce 1785 zformuloval **Coulombův zákon**:

Síla, kterou na sebe působí dva bodové náboje, je přímo úměrná součinu jejich velikostí a nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti mezi nimi. Náboje stejného znaménka se odpuzují, náboje s různými znaménky náboje se přitahují.

$$F_e = k\frac{|Q_1||Q_2|}{r^2}, \tag{7.4}$$

kde Q_1 a Q_2 jsou velikosti obou nábojů a r je vzdálenost mezi nimi. k je konstanta, která závisí na prostředí mezi náboji. Ve vakuu k = 9,0.10^9 N.m^2.C^{-2}. Častěji než konstantou k bývají vlastnosti prostředí charakterizovány konstantou zvanou **permitivita**:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon}.$$

Permitivita vakua ε_0 = 8,854.10^{-12} C.V^{-1}.m^{-1}.

Slupkový teorém pro náboje

Kulová slupka nabitá rovnoměrně rozloženým nábojem přitahuje nebo odpuzuje vně ležící nabité částice stejně, jako kdyby veškerý náboj slupky byl soustředěn v jejím středu. Na částice uvnitř této slupky tato nepůsobí žádnou silou.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Intenzita gravitačního a elektrického pole

Už Newton se zabýval myšlenkou, jak je možné, že tělesa, která se nachází ve velké vzdálenosti od sebe a nedotýkají se, o sobě „ví“ a působí na sebe nějakou silou. Newton problém působení na dálku neřešil (Hypotheses non fingo - hypotézy nevymýšlím) a vyřešil ho až Michael Faraday (1791 –1867) představou silového pole. Podle Faradayovy představy vzniká kolem hmotného bodu nebo náboje gravitační nebo elektrické pole a toto pole působí na tělesa nebo náboje, které se v něm nachází. Pole se tedy projevuje silovým působením na objekty, které v něm leží. Pole lze charakterizovat právě tímto silovým působením – intenzitou pole $\boldsymbol{E}$.

Intenzita gravitačního pole $\boldsymbol{E}_g$ je fyzikální veličina, vyjadřující velikost a směr gravitačního pole. Je definována jako gravitační síla působící na hmotný bod o jednotkové hmotnosti.

$$\boldsymbol{E}_g = \frac{\boldsymbol{F}_g}{m}. \qquad (7.5)$$

Intenzita elektrického pole $\boldsymbol{E}_e$ je vektorová fyzikální veličina, vyjadřující velikost a směr elektrického pole. Je definována jako elektrická síla působící na kladný jednotkový elektrický náboj.

$$\boldsymbol{E}_e = \frac{\boldsymbol{F}_e}{Q}. \qquad (7.6)$$

Chceme-li určit intenzitu gravitačního (elektrického) pole v nějakém bodě, umístíme do tohoto bodu hmotný bod o jednotkové hmotnosti (jednotkový kladný elektrický náboj) a zjistíme sílu, která na něho působí.

Intenzita gravitačního pole hmotného bodu

Zjistěme intenzitu gravitačního pole ve vzdálenosti r od hmotného bodu o hmotnosti M. Umístíme do pole zkušební tělísko o hmotnosti m. Na tělísko působí gravitační síla (7.1)

$$F_g = G\frac{mM}{r^2}.$$

Velikost intenzity gravitačního pole je dána vztahem (7.5)

$$E_g = \frac{F_g}{m} = G\frac{M}{r^2}. \qquad (7.7)$$

Směr intenzity je stejný jako směr síly, tedy směrem k hmotnému bodu M. Upozorněme, že intenzita gravitačního pole je dána vztahem (7.5) a vztah (7.7) je speciální případ pro hmotný bod a (jak plyne ze slupkového teorému) kulové těleso.

Zcela analogicky lze odvodit pro velikost intenzity elektrického pole bodového náboje Q kombinací (7.4) a (7.6)

$$E_e = k\frac{|Q|}{r^2}. \qquad (7.8)$$

Je-li náboj Q kladný, směřuje intenzita od náboje, je-li záporný, směřuje k náboji Q.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Potenciál gravitačního a elektrického pole

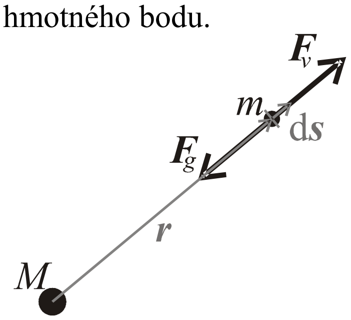
Gravitační i elektrické pole jsou plně popsány svými vektorovými intenzitami. Může však být jednodušší popsat pole veličinou, která by byla skalární. V mechanice jsme si ukázali, že výpočty využívající energie často vedou k elegantnějším řešením. Zavedeme proto skalární veličinu popisující pole a vycházející z potenciální energie objektů v poli.

Gravitační (elektrický) potenciál je skalární fyzikální veličina, která popisuje potenciální energii jednotkové hmotnosti (jednotkového elektrického náboje) v gravitačním (elektrickém) poli. Jedná se o množství práce potřebné pro přenesení jednotkové hmotnosti (jednotkového elektrického náboje) z bodu s nulovým potenciálem do daného místa. Za místo s nulovým potenciálem se obvykle bere buď bod v nekonečnu nebo povrch Země.

$$V_g = \frac{W}{m}, \qquad V_e = \frac{W}{Q}. \tag{7.9}$$

Potenciál gravitačního pole hmotného bodu

Zjistěme potenciál gravitačního pole ve vzdálenosti R od hmotného bodu o hmotnosti M (obr. 7.1). Místo s nulovým potenciálem definujme v nekonečnu. Potenciál je podle (7.9) práce vnější síly při přenesení zkušebního tělíska o hmotnosti m z místa s nulovým potenciálem (nekonečna) do vzdálenosti R od hmotného bodu.



Obr. 7.1: Práce vnější síly v gravitačním poli

Na tělísko m působí těleso M gravitační silou (7.1). Půjdeme z nekonečna do vzdálenosti R po nejkratší dráze (radiální přímce). Práce je definována (4.2). Uvědomme si, že vnější síla $\boldsymbol{F}_v$ (obr. 7.1) působí proti gravitační síle $\boldsymbol{F}_g$, tedy $\boldsymbol{F}_v = -\boldsymbol{F}_g$ (pro velikosti vektorů platí $F_v = F_g$), element dráhy d$\boldsymbol{s}$ = d$\boldsymbol{r}$. Vektory $\boldsymbol{F}_v$ a d$\boldsymbol{r}$ mají stejný směr, jejich skalární součin je součin jejich velikostí. Síla působí po dráze z nekonečna do vzdálenosti R:

$$W = \int_{\infty}^{R} \boldsymbol{F}_v d\boldsymbol{r} = \int_{\infty}^{R} F_v dr = \int_{\infty}^{R} G\frac{mM}{r^2} dr = GmM\left[-\frac{1}{r}\right]_{\infty}^{R} = -G\frac{mM}{R},$$

$$V_g = \frac{W}{m} = -G\frac{M}{R}. \tag{7.10}$$

Všimněme si, že potenciál gravitačního pole je nejvyšší v nekonečnu (je to logické, v nekonečnu je těleso „nejvýš“).
Analogicky lze odvodit pro potenciál ve vzdálenosti R od bodového náboje

$$V_e = k\frac{Q}{R}. \tag{7.11}$$

Potenciál v okolí kladného náboje je kladný, v okolí záporného náboje záporný. Podle zákona slupek platí vztah (7.11) i pro nabitou kouli.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Druhá kosmická rychlost

Druhá kosmická rychlost je rychlost, kterou když udělíme tělesu, tak doletí z daného místa do nekonečna. Nyní se pokusme vztah (7.3) odvodit. Platí zákon zachování mechanické energie. V nekonečnu má těleso nulovou kinetickou i potenciální energii. Ve vzdálenosti R od hmotného bodu (nebo středu koule) má podle (7.10) potenciální energii

$$W_p = mV_g = -G\frac{mM}{R}$$

a kinetickou energii (4.6). Součet obou energií ale musí zůstat nulový

$$\frac{1}{2}mv_{k2}^2 = G\frac{mM}{R},$$

m se vykrátí a pro 2. kosmickou rychlost platí

$$v_{k2} = \sqrt{G\frac{2M}{R}},$$

což je vztah (7.3).

Vztah mezi intenzitou a potenciálem

Intenzita a potenciál jsou dvě různé veličiny charakterizující totéž pole. Musí mezi nimi existovat souvislost. Rozdíl potenciálů mezi body A a B je podle (7.9) dán vztahem

$$\Delta V_{AB} = \frac{\Delta W_{AB}}{m}. \tag{7.12}$$

Uvažujeme gravitační pole, pro elektrické pole bude postup stejný, pouze ve jmenovateli (7.12) bude místo zkušební hmotnosti m zkušební náboj Q. Za práci dosadíme podle (4.2) a dále si uvědomíme definici intenzity (7.5) . Pak

$$\Delta V_{AB} = \frac{1}{m}\int_A^B \boldsymbol{F}d\boldsymbol{s} = \int_A^B \frac{\boldsymbol{F}}{m}d\boldsymbol{s} = \int_A^B \boldsymbol{E}d\boldsymbol{s}. \tag{7.13}$$

Vztah (7.13) umožňuje výpočet potenciálu z intenzity. Opačný vztah lze napsat ve formě

$$\boldsymbol{E} = -\operatorname{grad}V = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}, \frac{\partial V}{\partial y}, \frac{\partial V}{\partial z}\right). \tag{7.14}$$

Podle geometrického významu operátoru grad lze konstatovat, že intenzita má směr nejprudšího poklesu potenciálu.

Siločáry a ekvipotenciální plochy

Siločáry a ekvipotenciální plochy slouží ke znázornění silového pole. Intenzita je znázorněna siločárami, potenciál pak ekvipotenciálními plochami.

Siločáry charakterizují směr intenzity v každém bodě.
- směr tečny k siločáře udává směr vektoru intenzity
- siločáry vystupují z kladného náboje a vstupují do záporného
- siločáry jsou spojité a každým bodem prochází jen jedna siločára (neprotínají se)
- počet siločar procházející jednotkovou plochou kolmou na siločáry je úměrný intenzitě pole v daném místě.

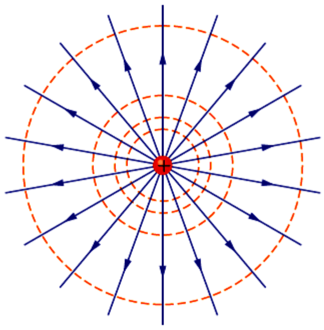
Ekvipotenciální plochy jsou plochy, které spojují místa stejného potenciálu.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

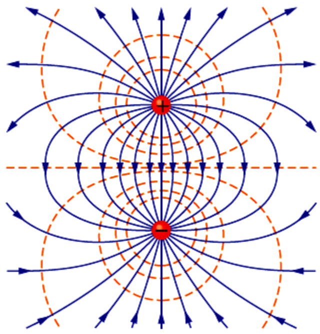
EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

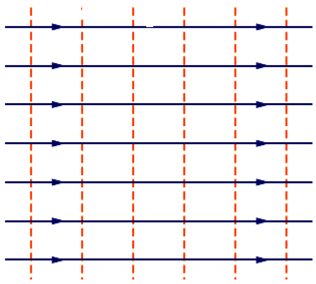
Na obrázcích 7.2-7.4 jsou zakreslena elektrická pole. Siločáry jsou plnou modrou čarou, ekvipotenciální plochy čárkovanou červenou čarou. Ekvipotenciální plochy jsou (v každém bodě) kolmé na siločáry.
Na obrázku 7.2 je pole kladného bodového náboje. Pole, tedy i siločáry jsou radiální, vychází z kladného náboje (vektor intenzity směřuje v každém bodě od směrem kladného náboje). Ekvipotenciální plochy nejsou v konstantních intervalech – potenciál bodového náboje je úměrný $1/r$.
Obrázek 7.3 znázorňuje pole dvojice stejně velkých nábojů, kladného a záporného. Siločáry vystupují z kladného náboje a vstupují do záporného. Intenzita pole je největší v místech, kde jsou siločáry nejhustší. Stejně tak je nejsilnější pole v místech, kde je mezi ekvipotenciálními plochami nejmenší vzdálenost.
V homogenním poli je intenzita ve všech bodech stejná. Tento případ zobrazuje obrázek 7.4. Siločáry jsou rovnoběžné stejně jako na ně kolmé ekvipotenciální plochy.



Obr. 7.2: Siločáry a ekvipotenciální plochy elektrického pole v okolí bodového náboje



Obr. 7.3: Siločáry a ekvipotenciální plochy elektrického pole v okolí dvojice opačných nábojů



Obr. 7.4: Siločáry a ekvipotenciální plochy homogenního elektrického pole

Poznámka: Obrázky 7.2, 7.3 a 7.4 byly převzaty z učebnice Halliday, Resnick, Walker – Fyzika, VUT v Brně, 2000.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Elektrické napětí

Řekneme-li, že hodnota elektrického potenciálu v nějakém místě je např. V = 100 N.m.C^{-1}, není informace obsažená v tomto tvrzení příliš velká. Záleží totiž, jak jsme definovali hladinu s nulovým potenciálem. Pro chování elektrických nábojů mezi dvěma místy je podstatný spíše rozdíl potenciálů ΔV, který nazýváme **elektrické napětí** a značíme U

$$U = \Delta V = V_2 - V_1.$$

Jednotkou elektrického napětí je volt, značka V (1 V = 1 N.m.C^{-1}).

Práce W, kterou elektrické pole vykoná při přechodu elektrického náboje Q mezi body, mezi kterými je napětí U , je

$$W = QU. \tag{7.15}$$

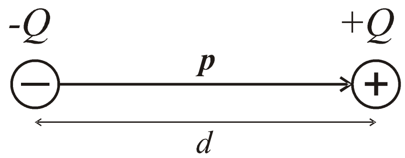
Vzhledem k tomu, že nejmenším množstvím (**kvantem**) náboje je náboj elektronu, který má energii e = 1,602.10^{-19} C, je jeden joule příliš velká jednotka v atomovém měřítku. V této oblasti se proto používá jednotka elektronvolt.

Jeden elektronvolt [eV] je energie, kterou získá elektron při průchodu potenciálovým rozdílem 1 volt.

Podle (7.15) platí 1 eV = 1,602.10^{-19} J. Zdůrazněme ještě jednou, že elektronvolt není jednotkou napětí, ale energie.

Elektrický dipól

V přírodě se poměrně zřídka setkáváme se samostatnými náboji. Izolovaný náboj totiž k sobě přitahuje náboje opačného znaménka a náboje s opačnými znaménky se navzájem ruší. Často se však setkáváme s dvojicí stejně velkých nábojů opačného znaménka nacházejících se blízko sebe. Například molekula HCl vzniká reakcí vodíku, který má jeden valenční elektron a chlóru, kterému jeden elektron do zaplněné slupky chybí. Při reakci předá vodík jeden elektron chlóru, ovšem tím se vodík nabije kladně a přitahuje atom chlóru, který se nabije záporně.



Obr. 7.5: Elektrický dipól

Dvojici stejně velkých bodových nábojů s opačným znaménkem, které jsou navzájem ve vzdálenosti d, nazýváme elektrický dipól (obr 7.5). Dipól charakterizujeme vektorovou veličinou **dipólový moment** $\boldsymbol{p}$:

$$\boldsymbol{p} = Q\boldsymbol{d}, \tag{7.16}$$

kde směr vektorů $\boldsymbol{d}$ i $\boldsymbol{p}$ je od záporného náboje ke kladnému.

Elektrické pole dipólu

Elektrické pole dipólu je zakresleno na obrázku 7.3. Je tvořeno součtem elektrických polí obou jeho nábojů. Pro velikost intenzity v ose dipólu ve vzdálenosti z od jeho středu lze odvodit za podmínky $z \gg d$ vztah

$$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon}\frac{p}{z^3}. \tag{7.17}$$

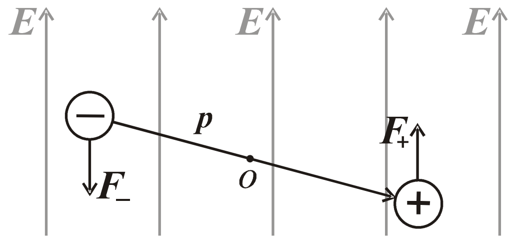
Zatímco intenzita elektrického pole bodového náboje klesá se čtvercem, intenzita pole v okolí dipólu klesá se třetí mocninou vzdálenosti. Pole dipólu se vzdáleností slábne velmi rychle (při pohledu z velké vzdálenosti jsou oba náboje velmi blízko a jejich pole se ruší).

Elektrický dipól v homogenním elektrickém poli

Nachází-li se dipól v homogenním elektrickém poli (obr. 7.6), působí toto pole na kladný náboj silou $\boldsymbol{F}_+$ a na záporný silou $\boldsymbol{F}_-$. Protože je intenzita v místech obou nábojů stejná, mají síly $\boldsymbol{F}_+$ a $\boldsymbol{F}_-$ stejnou velikost a opačný směr ($\boldsymbol{F}_+ = -\boldsymbol{F}_-$). Výslednice sil je tedy nulová, dipól zůstává z hlediska translačního pohybu v klidu, ale dvojice sil má nenulový moment, který bude dipól otáčet, aby vektor $\boldsymbol{p}$ byl rovnoběžný s vektorem $\boldsymbol{E}$. Moment síly vzhledem k ose otáčení o je

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{M}_+ + \boldsymbol{M}_- = \boldsymbol{d}/2 \times \boldsymbol{F}_+ + -\boldsymbol{d}/2 \times \boldsymbol{F}_- = 2(\boldsymbol{d}/2 \times Q\boldsymbol{E}) = \boldsymbol{p} \times \boldsymbol{E}. \qquad (7.18)$$

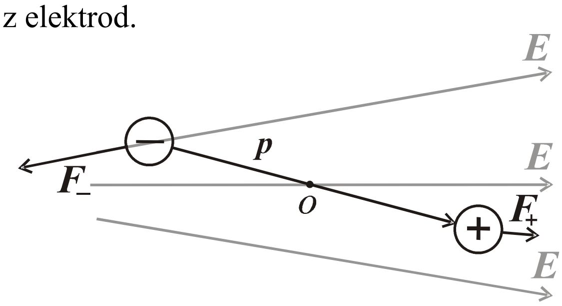
Na dipól působí homogenní elektrické pole momentem sil, který natáčí dipól ve směru intenzity elektrického pole.



Obr. 7.6: Elektrický dipól v homogenním elektrickém poli

Elektrický dipól v nehomogenním elektrickém poli

Nachází-li se dipól v nehomogenním elektrickém poli (obr. 7.7), působí toto pole opět na kladný náboj silou $\boldsymbol{F}_+$ a na záporný silou $\boldsymbol{F}_-$. Podle obrázku je intenzita pole v místě záporného náboje větší (siločáry jsou hustší), a proto pro velikosti sil platí $F_- > F_+$. Moment sil jednak natočí dipól tak, aby vektor $\boldsymbol{p}$ byl rovnoběžný s vektorem $\boldsymbol{E}$, ale síly se nevyruší a na dipól bude působit výslednice, která ho bude urychlovat do míst s vyšší intenzitou elektrického pole. Tohoto principu se využívá například v odlučovačích prachu v komínech, kdy se kouř nechá procházet mezi elektrodami, mezi kterými je vytvořeno silné elektrické pole, která přitahuje částice k jedné z elektrod.



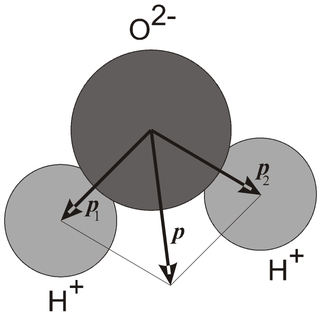
Obr. 7.7: Elektrický dipól v nehomogenním elektrickém poli

Mikrovlnný ohřev

Podle (7.18) působí na dipól v elektrickém poli moment sil, které se jím pokouší otáčet. Na obr. 7.8 je znázorněna molekula vody. Úhel mezi vazbami O-H je 104° a molekula vody tedy vykazuje dipólový moment.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 7.8: Dipólový moment molekuly vody

Jsou-li dipóly vloženy do proměnného elektrického pole, například pole mikrovln v mikrovlnné troubě, kde dochází ke změně polarity s frekvencí 2450 MHz, tzn. 2,45 miliardkrát za sekundu, polární molekuly se otáčí ve směru pole, rozkmitají se a to vede k zahřátí látky. Na druhé straně je energie mikrovln malá, aby dokázaly narušovat atomové vazby. Frekvence elektrického pole 2450 MHz je zvolena tak, aby byla blízká rezonanční frekvenci molekul vody a rozkmitání bylo co největší. Protože tuky a cukry vykazují také dipólový moment, je do jisté míry možné ohřát i je. Jejich dipólový moment je ale menší než u vody a také frekvence není vyladěna na jejich kmity, proto není jejich zahřívání tak výrazné. Elektrické pole proniká do objemu potraviny a k ohřívání dochází v celém objemu. Jak ukážeme v další kapitole, intenzita pole uvnitř vodiče je nulová. Je-li tedy potravina v mikrovlnné troubě v kovové nádobě, elektrické pole nepronikne do nádoby a potravina se nezahřeje. Proto se v mikrovlnné troubě nesmí používat elektricky vodivé nádobí.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ