

ciály začiatočných a koncových bodov siločiar (na obr. 1.12 body *A* a *B*) by boli rôzne, čo však nie je možné lebo — ako už vieme — povrch vodiča v ustálenom stave je ekvipotenciálnou hladinou.

Na tom, že v dutine vodiča nie je elektrostatické pole, zakladá sa tzv. *elektrostatické clonenie*. Dutina vo vodiči je vodičom dokonale chránená pred vplyvom akýchkoľvek vonkajších elektrických polí. V praxi sa môže plný vodič nahradiť dostatočne hustou kovovou sieťou (*Faradayova klietka*).

Naopak však kovový obal nechráni vždy okolie pred silovými účinkami elektrického náboja, ktorý sa nachádza vo vnútri dutiny. Keď do dutiny od okolia elektricky izolovaného vodiča vložíme náboj Q (napríklad na nejaké teleso do dutiny vložené a od kovového obalu elektricky izolované), elektrostatickou indukciou vznikne na vnútornej stene dutého vodiča absolútne rovnako veľký náboj $-Q$, lebo plošný integrál vektora $\mathbf{E}$, počítaný po ploche S (obr. 1.12), sa rovná nule. Ale pretože celkový náboj vodiča, ktorý podľa predpokladu je od svojho okolia izolovaný, pri tejto elektrostatickej indukcii sa stále rovná nule, značí to, že na vonkajšej stene dutého vodiča vznikol náboj $+Q$, ktorý v okolí vodiča vytvára svoje elektrické pole. Tento náboj $+Q$ je však „voľný“. Uzemnením dutého vodiča ho možno odviešť. Uzemnený kovový obal ochraňuje teda svoje okolie pred účinkami nábojov, ktoré obklopuje.

Úlohy na cvičenie

1. Dve rovnako nabité guľôčky s hmotnosťami po 0,5 g, zavesené na nitiach 1 m dlhých sa odpudzovaním vzdialili na 4 cm. Aké veľké sú ich náboje? ($q_1 = q_2 = 4,17 \cdot 10^{-9}$ As)

2. Na dvoch rovnakých kvapôčkach vody sa nachádza po jednom elektróne a sila elektrického odpudzovania kvapôčok vyrovnáva silu ich vzájomného gravitačného priťahovania. Aké veľké sú polomery kvapôčok? ($r = 0,076$ mm)

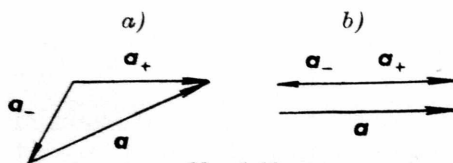
3. Dva súhlasné bodové náboje $q_1 = 8 \mu\text{As}$ a $q_2 = 5 \mu\text{As}$ sú vo vzdialenosti $d = 20$ cm. V ktorom bode na ich spojnici sa intenzita ich spoločného elektrostatického poľa rovná nule? V ktorom bode na ich spojnici sú potenciály buďené oboma nábojmi rovnaké? ($x_1 = 11,2$ cm, $x_2 = 12,3$ cm)

4. Aká veľká musí byť osamelá guľa, aby mohol na nej byť náboj 1 As bez toho, aby nastalo sršanie, keď maximálna intenzita poľa vo vzduchu, pri ktorej sršanie ešte nastáva, je 25 kV/cm? ($r = 60$ m)

5. Vypočítajte intenzitu elektrostatického poľa medzi dvoma súosovými valcovými plochami s kruhovým prierezom s polomeri r_0 a R_0 , prakticky nekonečne dlhými, keď vnútorný valec má potenciál V_0 a vonkajší je uzemnený! [$E = V_0/r (\ln R_0 - \ln r_0)$]

1.7. Polarizácia dielektrika. Na rozdiel od vodičov nie sú elektrické náboje v nevodičoch voľne pohyblivé; elektrické pole v nevodičoch sa preto udrží. Avšak aj nevodič obsahuje elektrické náboje, v neelektrickom stave v obje-

movej jednotke rovnako veľký náboj kladný q' a záporný $-q'$. Tieto náboje v nevodičoch sú však viazané na svoje rovnovážne polohy pomerne veľkými silami, takže sa v elektrickom poli len posunú, kladný o a_+ , záporný o a_-



Obr. 1.13.

(obr. 1.13a), pričom v izotropných vodičoch, avšak vo všeobecnosti len v týchto, vektor a_+ je so smerom intenzity vonkajšieho poľa súhlasne rovnobežný a vektor a_- nesúhlasne rovnobežný (obr. 1.13b). Vektor

$$\mathbf{P} = q'(\mathbf{a}_+ - \mathbf{a}_-) = q'\mathbf{a} \quad (1)$$

sa nazýva *vektor polarizácie*, alebo stručne len *polarizácia* nevodiča (*dielektrika*). Polarizácia izotropných nevodičov aj v silnejších poliach býva úmerná intenzite poľa. Veličina κ vo vzťahu

$$\mathbf{P} = \kappa \mathbf{E} \quad (2)$$

sa nazýva *polarizovateľnosť* alebo *dielektrická susceptibilita* (izotropného) nevodiča.

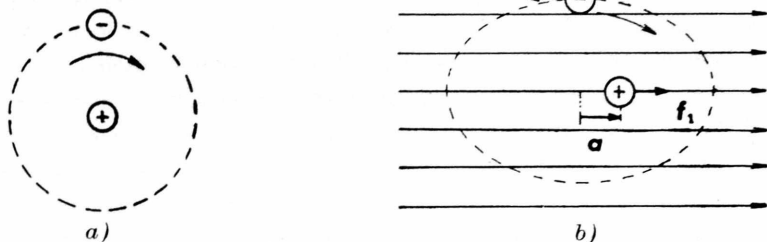
Podiel κ/ϵ_0 sa nazýva *relatívna susceptibilita*.

Poznámka: V anizotropných nevodičoch, napríklad v kryštáloch, možno najčastejšie písať: $\mathbf{P} = \boldsymbol{\chi} \cdot \mathbf{E}$, kde však $\boldsymbol{\chi}$ nie je už skalárny činiteľ, ale príslušný nevodič charakterizujúci symetrický tenzor druhého stupňa, tzv. *tenzor elektrickej susceptibility* takéhoto nevodiča. Podľa vzťahu $\mathbf{P} = \boldsymbol{\chi} \cdot \mathbf{E}$ a v zhode s tým, čo sme povedali vyššie o posunutíach a_+ a a_- , vektor polarizácie anizotropného nevodiča vo všeobecnosti nie je rovnobežný s intenzitou polarizujúceho elektrického poľa.

V polarizovanom dielektriku náboje posunuté proti sebe prispievajú tiež k intenzite elektrického poľa. Nevodič pre svoju polarizovateľnosť elektrické pole pozmeňuje.

Aj keď polarizácia dielektrika vo svojej podstate je vždy určité vzájomné posunutie v dielektriku prítomných viazaných nábojov, atomárny mechanizmus vzniku polarizácie nie je vždy rovnaký. Voľné atómy všetkých prvkov a tzv. *nepolárne molekuly* sú útvary, ktoré za neprítomnosti vonkajšieho poľa sú elektricky neutrálne. Elektrické náboje, ktoré sú v nich prítomné, v časovom priemere nevytvárajú elektrické pole vo svojom okolí. Pri atónoch možno to vysvetliť tak, že elektróny obiehajúce veľkou rýchlosťou okolo jadra atómu, ktorého elektrický náboj je kladný, pôsobia na okolie atómu, ako keby sa nachádzali v strede svojich dráh, a môže sa stať, že stred pôsobenia záporného náboja všetkých elektrónov splýva so stredom účinku kladného náboja jadra. Podobne je to aj pri nepolárnych molekulách, t. j. pri molekulách s tzv. *nepolárnymi väzbami*.

Na najjednoduchšom prípade atómu vodíka vyšetříme, ako sa správajú atómy a nopolárne molekuly vo vonkajšom elektrickom poli. Model vodíkového atómu je znázornený na *obr. 1.14a*. Okolo jadra (protónu), nesúceho kladný náboj, obieha tu jeden elektrón. V okolí sú ich polia vzájomne kompenzované. Vo vonkajšom elektrickom poli intenzity $\mathbf{E}$ pôsobia však na protón a elektrón vodíkového atómu sily $\mathbf{f}_1$ a $\mathbf{f}_2$ opačných smerov (*obr. 1.14b*). Pôsobením



Obr. 1.14.

týchto síl je dráha elektrónu zdeformovaná a vzhľadom na jadro odsunutá. Stredu elektrických účinkov elektrónu a protónu nie sú už súmiestne, a vo svojom okolí sa už atóm vodíka javí ako dipól, t. j. sústava dvoch rovnakých nábojov opačného znamienka, q a $-q$, posunutých proti sebe o dĺžku a , ktorého moment je $\mathbf{p} = q\mathbf{a}$.

Podobnej deformácii ako atóm vodíka podliehajú v elektrickom poli aj zložitejšie atómy a všetky nopolárne molekuly. Účinkom elektrického poľa posunujú sa ich kladné náboje v smere intenzity poľa, a náboje záporné v smere opačnom. Molekuly dielektrika sa takto stávajú dipólmi a hovoríme, že dielektrikum je polarizované deformačne.

Priradíme každému elektrónu, ktorý sa nachádza v molekule (v najjednoduchšom prípade v atóme) nevodiča, absolútne rovnako veľkú časť kladného náboja niektorého atómového jadra prítomného v molekule. Tým sme rozložili všetok elektrický náboj molekuly na náboje dipólov. Ak polohové vektory kladného a záporného pólu i -tého takého dipólu sú $\mathbf{r}_i^+$ a $\mathbf{r}_i^-$, celkový dipólový moment molekuly je

$$\mathbf{p} = \sum_i e(\mathbf{r}_i^+ - \mathbf{r}_i^-) = \sum_i e\mathbf{r}_i^+ - \sum_i e\mathbf{r}_i^-$$

príčom e značí absolútnu hodnotu náboja elektrónu.

Zavedme ťažiská celkového kladného (q) a záporného ($-q$) náboja molekuly vzorcami

$$\mathbf{r}_+^* = \frac{\sum e\mathbf{r}_i^+}{q}, \quad \mathbf{r}_-^* = \frac{\sum -e\mathbf{r}_i^-}{-q} = \frac{\sum e\mathbf{r}_i^-}{q}$$

podľa ktorých $\sum e r_i^+ = q r_+^*$, $\sum e r_i^- = q r_-^*$. Dipólový moment polarizovanej molekuly bude potom tiež $\mathbf{p} = q(\mathbf{r}_+^* - \mathbf{r}_-^*) = q\mathbf{a}$. Je teda daný rovnakým vzorcom ako dipólový moment polarizovaného atómu vodíka, avšak vektor $\mathbf{a}$ v poslednom vzorci je polohový vektor ťažiska kladného náboja molekuly vzhľadom na ťažisko jej záporného náboja. Ak v objemovej jednotke nevodiča je n takýchto molekúl, jej dipólový moment je $n\mathbf{p} = nq\mathbf{a} = \rho'\mathbf{a} = \mathbf{P}$. Touto podrobnejšou úvahou vychádzajúcou z vnútornej štruktúry nevodiča sme sa presvedčili, že vektor polarizácie $\mathbf{P}$, ktorý sme zaviedli vzorcom (1), má význam elektrického dipólového momentu objemovej jednotky nevodiča. Súčasne sme spresnili aj význam vektora $\mathbf{a}$.

Sú však známe aj také nevodivé látky, ktorých molekuly sa vyznačujú nenulovým elektrickým momentom aj za neprítomnosti vonkajšieho elektrického poľa. Nazývajú sa *polárnymi*. K nim patrí napríklad chlorovodík HCl, ktorého molekuly sa skladajú z kladného iónu vodíkového a záporného iónu chlórového, ktoré sú v určitej vzdialenosti od seba, takže tvoria dipól. V dôsledku tepelného pohybu dipóly chlorovodíka sú však v náhodilých vzájomných polohách a ich elektrické polia v okolí priestore sa vzájomne rušia. Keď sa však takáto látka vloží do vonkajšieho elektrického poľa, na jej dipóly pôsobia v ňom sily, ktoré sa snažia stotožniť osi dipólov so siločiarami poľa. Tomu však bráni tepelný pohyb molekúl, takže nastane len čiastočné natočenie osí dipólov do smeru siločiar poľa. Aj to však už značí polarizáciu prostredia, ktorá sa rovná geometrickému súčtu elektrických momentov dipólov v objemovej jednotke ako vektorov. K tejto orientačnej polarizácii pristupuje obyčajne už vyššie opísaná *deformačná* polarizácia. Z pokusov vyplýva, že v poliach, s ktorými sa obyčajne stretávame, polarizácia nevodičov s polárnymi molekulami je tiež úmerná intenzite poľa. Odchýlky od tejto priamej úmernosti sa pozorujú až vo veľmi silných poliach, keď sa začína uplatňovať vplyv *nasýtenia*, pri ktorom osi skoro všetkých dipólov sú už rovnobežné so siločiarami poľa.

1.8. Seignettoelektrické, piezoelektrické a pyroelektrické látky. Relatívna dielektrická susceptibilita väčšiny nevodivých pevných látok je v intervale čísiel 1 až asi 10. Sú však známe kryštalické pevné látky, ktorých relatívna susceptibilita dosahuje mimoriadne veľké hodnoty 10^3 až 10^4 . Keďže jav bol pozorovaný najskôr na Seignettovej soli (hydrát vinanu sodnodraselného), látky s mimoriadne veľkou dielektrickou susceptibilitou sa nazývajú *seignettoelektrickými*.

Podrobné štúdium vlastností seignettoelektrických látok ukázalo, že príčinou ich ľahkej polarizovateľnosti je existencia tzv. *domén*, t. j. malých oblastí, v ktorých je látka samovoľne a silno polarizovaná, a to prakticky až do