

Iné vyjadrenie intenzity elektrického poľa v okolí dvojvrstvy vyplýva priamo zo vzorca (2), ktorý bezprostredne vyjadruje intenzitu elektrického poľa len v okolí dipólu. Keď v tomto vzorci dipólový moment $\mathbf{p}$ nahradíme dipólovým momentom $h \, d\mathbf{S}$ plošného elementu dvojvrstvy, integráciou takto získaného výrazu po celej ploche dvojvrstvy dostávame:

$$\mathbf{E} = \frac{h}{4\pi\epsilon_0} \int \left(\frac{3\mathbf{r}\mathbf{r}}{r^5} - \frac{\mathbf{I}}{r^3} \right) \cdot d\mathbf{S} \quad (9)$$

Podľa vzorcov (5) a (9) elektrická dvojvrstva s plošnou hustotou dipólového momentu h účinkuje na inú dvojvrstvu s plošnou hustotou dipólového momentu h' silou

$$\begin{aligned} \mathbf{f} &= \int_{S'} h' \, d\mathbf{S}' \cdot \text{grad } \mathbf{E} = h' \int_{S'} d\mathbf{S}' \cdot \text{grad } \frac{h}{4\pi\epsilon_0} \int_S \left(\frac{3\mathbf{r}\mathbf{r}}{r^5} - \frac{\mathbf{I}}{r^3} \right) \cdot d\mathbf{S} = \\ &= \frac{hh'}{4\pi\epsilon_0} \int_{S'} d\mathbf{S}' \cdot \int_S \nabla \left(\frac{3\mathbf{r}\mathbf{r}}{r^5} - \frac{\mathbf{I}}{r^3} \right) \cdot d\mathbf{S} \end{aligned} \quad (10)$$

1.6. Vodič v elektrickom poli. O vodičoch elektriny vieme, že obsahujú elektrické náboje, ktoré sú v nich aspoň čiastočne voľne pohyblivé. V kovoch sú to elektróny, ktorých náboj v elektricky neutrálnom stave kovu je kompenzovaný kladnými nábojmi viazanými na kryštálovú mriežku telesa. V elektricky vodivých roztokoch a plynch sú to aj kladné a záporné ióny. Vo vnútri vodiča v ustálenom stave, aj keď sa vodič nachádza vo vonkajšom elektrickom poli, intenzita elektrostatičného poľa sa všade rovná nule, lebo inakšie by sa v ňom elektrický náboj pohyboval: kladný v smere intenzity záporný proti smeru intenzity. Ale $\mathbf{E} = -\text{grad } V$, teda vo vnútri vodiča v ustálenom stave je $\text{grad } V = 0$, t. j. $V = \text{const.}$ *Vo vnútri vodiča v ustálenom stave má elektrický potenciál všade rovnakú hodnotu, akú má na povrchu vodiča.*

Keďže vo vnútri vodiča v ustálenom stave je $\mathbf{E} = 0$, i výtok vektora $\mathbf{E}$ z vnútra na vonkajšiu stranu ľubovoľnej vo vnútri vodiča myslenej uzavretej plochy sa rovná nule, teda — podľa Gaussovej vety — vo vnútri vodiča v ustálenom stave niet vcelku elektrického náboja. Elektrický náboj sídli len na povrchu vodiča. Smer intenzity elektrického poľa v okolí vodiča je kolmý na povrch vodiča, ktorý je ekvipotenciálnou hladinou.

Obklopmo plošný element $d\mathbf{S}$ povrchu vodiča, ktorý sa nachádza vo vákuu, nízkym valcom (obr. 1.11). V jeho mieste nech je plošná hustota náboja σ . Výtok vektora $\mathbf{E}$ cez povrch tohto valca sa rovná, podľa vety Gaussovej, náboju vo vnútri valca, delenému permitivitou vákua ϵ_0 . K celkovému toku

prispieva však len vonkajšia základňa valca lebo v mieste vnútornej základne niet intenzity a plášťom valca siločiarly neprechádzajú. Preto

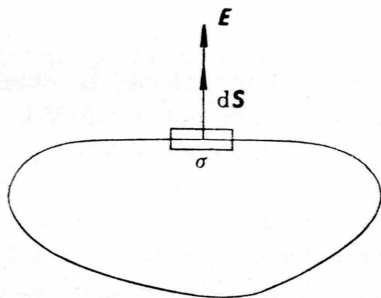
$$\frac{\sigma}{\epsilon_0} dS = \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} dS = E dS$$

kde E značí veľkosť priemetu intenzity poľa pri povrchu vodiča na normálu k povrchu vodiča, orientovanú z telesa von.

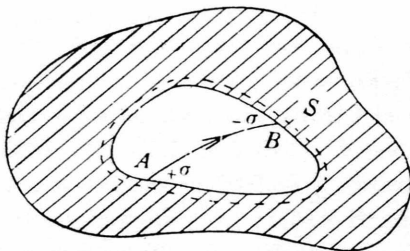
Z posledného vzťahu dostávame *Coulombovu vetu* (zatiaľ len pre vákuum):

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (1)$$

Podľa tohto vzorca v mieste, kde plošná hustota elektrického náboja na povrchu vodiča je kladná, je aj $E > 0$, čiže tu elektrické siločiarly z povrchu vodiča vystupujú, avšak v mieste, kde je $\sigma < 0$, je aj $E < 0$, takže tu siločiarly do povrchu vstupujú, a to v oboch prípadoch na povrch vodiča kolmo, lebo povrch vodiča za rovnováhy elektrických síl v telese je ekvipotenciálnou hladinou.



Obr. 1.11.



Obr. 1.12.

V tomto článku mali sme zatiaľ na mysli len plné vodivé telesá. Predstavme si teraz, že v telese je dutina (obr. 1.12), v ktorej nie sú nijaké elektrické náboje. Obklopme ju myšlenou uzavretou plochou S , ktorá sa nachádza celá vo vodivej hmote. Na obr. 1.12 je vyznačená čiarkovane. Pretože vo vodivom prostredí v ustálenom stave je všade $\mathbf{E} = 0$, podľa Gaussovej vety celkový elektrický náboj vo vnútri tejto plochy sa rovná nule. Tento výsledok však pripúšťa ešte, že v niektorých miestach na rozhraní vodiča a dutiny v ňom plošná hustota elektrického náboja je kladná a v iných miestach záporná, pričom $\oint \sigma dS = 0$. Lahko sa však presvedčíme, že ani to nie je možné. Keby to totiž tak bolo, podľa Coulombovej vety by siločiarly z miest, kde je $\sigma > 0$, vystupovali a končili by v miestach s plošnou hustotou zápornou. To by však značilo, že by sa integrál pozdĺž ani jednej z nich nerovnal nule, takže poten-

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 odviesť. 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 buzené 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-