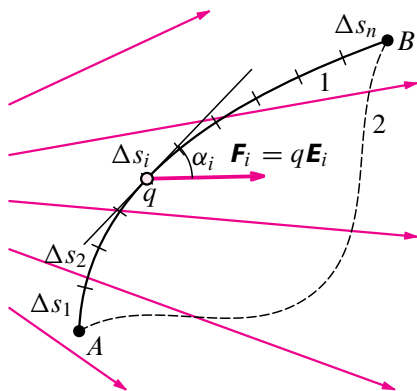


- 3** Ve dvou protilehlých vrcholech čtverce o straně 30 cm jsou umístěny bodové náboje $0,2 \mu\text{C}$. Určete intenzitu elektrického pole ve zbývajících vrcholech čtverce.
- 4** Vzdálenost mezi náboji 10 nC a -10 nC je 10 cm. Určete intenzitu elektrického pole v bodě A , který je vzdálen 6 cm od kladného náboje a 8 cm od záporného náboje.
- 5** Dva kladné náboje o velikosti Q a $9Q$ jsou ve vzájemné vzdálenosti 8 cm. Určete polohu bodu na jejich spojnici, v němž je intenzita elektrického pole nulová.

R1.2 Práce v elektrickém poli

V čl. 1.4 jsme se zabývali konáním práce při přemísťování kladného náboje v homogenním elektrickém poli. Řešení tohoto případu je jednoduché, poněvadž na náboj působí ve všech bodech pole stejná elektrická síla. Uvažujme však častější případ, kdy elektrická síla nemá stálou velikost a nepůsobí ve směru pohybu. Na obr. R1-7 je znázorněna situace při pohybu kladného bodového



R1-7 K výpočtu práce elektrické síly

náboje q z bodu A do bodu B po trajektorii 1. Dráhu s rozdělíme na malé úseky $\Delta s_1, \Delta s_2, \dots, \Delta s_n$, ve kterých můžeme elektrickou sílu považovat za konstantní. V každém úseku vypočítáme dílčí práci ΔW

$$\Delta W_i = F_i \Delta s_i \cos \alpha_i = q E_i \Delta s_i \cos \alpha_i,$$

a získané výsledky sečteme

$$W_{AB} = \sum_{i=1}^n \Delta W_i.$$

Kdybychom se vrátili z bodu B do bodu A , měla by práce elektrické síly opačnou hodnotu $W_{BA} = -W_{AB}$.

Práce W_{AB} nezávisí na trajektorii, po které se náboj q přemísťuje z bodu A do bodu B . Kdyby například práce W_{A1B} vykonaná na trajektorii 1 byla větší než práce W_{A2B} vykonaná na trajektorii 2, mohli bychom náboj q nechat obíhat po uzavřené křivce tvořené oběma trajektoriemi a při každém oběhu bychom získali výslednou práci $W = W_{A1B} - W_{A2B} > 0$, aniž bychom do soustavy přiváděli energii. Získali bychom tedy perpetuum mobile, což je v rozporu se zákonem zachování energie.

Potenciál v radiálním elektrickém poli

Současně s konáním práce se mění také potenciální energie E_p náboje, která tedy závisí na jeho poloze v elektrickém poli. Budeme uvažovat radiální elektrické pole kladného náboje Q , v němž se podél siločáry pohybuje souhlasný náboj q . Musíme si však uvědomit, že síla působící na náboj není konstantní, ale s rostoucí vzdáleností r od náboje Q se zmenšuje. Přímkovou trajektorii pohybu náboje rozdělíme na velmi malé úseky Δr a práce elektrické síly v každém úseku bude

$$\Delta W_i = qE_i \Delta r_i.$$

Celková práce vykonaná při přemístění náboje q z bodu A do bodu B radiálního pole:

$$W_{AB} = \sum_{i=1}^n qE_i \Delta r_i = \sum_{i=1}^n q \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_i^2} \Delta r_i = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta r_i}{r_i^2}.$$

Poznámka: Matematicky provedeme výpočet práce W_{AB} integrováním malých přírůstků práce při nepatrných posunutích dr náboje q v intervalu vzdáleností r_A až r_B :

$$W_{AB} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_A}^{r_B} \frac{dr}{r^2} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0} \left[-\frac{1}{r} \right]_{r_A}^{r_B} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right).$$

Z výsledku získaného integrováním je zřejmé, že práce potřebná k přemístění náboje do určitého bodu elektrického pole, a tedy i potenciální energie náboje v tomto bodě, je nepřímo úměrná vzdálenosti od náboje, který pole vytváří. Když

přibližujeme ve vakuu (popř. ve vzduchu) náboj q k souhlasnému náboji Q do vzdálenosti r , musíme překonat odpudivou sílu $\mathbf{F}_e$ elektrického pole (obr. 1-8). Vnější síla koná práci W a náboj získá elektrickou potenciální energii

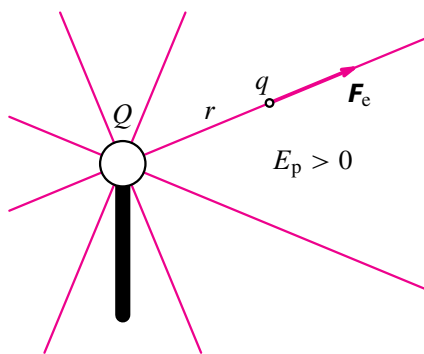
$$E_p = W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r}.$$

Ke stejnému výsledku dospějeme i v případě, že se náboj v elektrickém poli bude přemísťovat po libovolné trajektorii.

Pro potenciál φ v radiálním poli osamoceného bodového náboje Q ve vakuu plyne

$$\varphi = \frac{E_p}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}.$$

Pokud se náboj q přemísťuje působením elektrické síly $\mathbf{F}_e$ a od náboje Q se vzdaluje, konají práci síly pole. Potenciální energie náboje se zmenšuje a menší je také potenciál φ v místě, v němž se náboj nachází. Ve velké vzdálenosti ($r \rightarrow \infty$) od osamoceného bodového náboje je potenciál elektrického pole nulový.



R1-8 Bodový náboj q v elektrickém poli souhlasného náboje Q

Úlohy

- 1** Jakou práci vykonají vnější síly, které přemístí náboj $+10^{-2} \mu\text{C}$ z nekonečně velké vzdálenosti na povrch kulového vodiče o poloměru 3 cm? Kulový vodič má náboj $+1 \mu\text{C}$.
- 2** Dva stejně velké náboje 10 nC jsou ve vzájemné vzdálenosti 50 cm. Jakou práci musí vykonat elektrická síla působící na jeden z nábojů, aby se náboj přiblížil ke druhému náboji do vzdálenosti 20 cm?