

## 4.1.5 Práce v elektrickém poli, napětí

**Předpoklady:** 4102, 4104, mechanická práce

**Pomůcky:** Monočlánek, plochá baterie, Van Der Graaffův generátor.

**Př. 1:** Spočítej sílu, která působí náboj o velikosti  $2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ , který se nachází v elektrickém poli o intenzitě  $2500 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$ .

Nejjednodušší vztah z minulé hodiny:  $F = E \cdot Q$

$$F = E \cdot Q = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 2500 \text{ N} = 0,05 \text{ N}$$

Na náboj zadané velikosti působí v zadaném elektrickém poli síla 0,05 N.

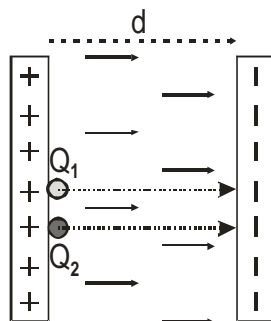
### Opakování:

Práce se koná při posunutí předmětu po určité dráze za vynaložení síly. Pokud se síla během posouvání nemění, platí vzorec:  $W = F \cdot s$

Pokud je mezi posunutím a působící silou jiný úhel než nulový, platí vzoreček  $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$ , kde  $\alpha$  vyjadřuje úhel mezi posunutím a silou.

Jak to bude s konáním práce v elektrickém poli?

Prozkoumáme nejjednodušší případ. V homogenním elektrickém poli mezi dvěma nabitými deskami o intenzitě  $E$ , jsou na kladně nabitě desce dva kladné náboje  $Q_1$  a  $Q_2$ . Urči, jakou práci vykoná elektrické pole při přemístění nábojů na záporně nabitou desku.



Síla, kterou pole působí na náboje má všude stejný směr, stejnou velikost a svírá s posunutím nulový úhel. Platí:  $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha = F \cdot s \cdot \cos 0 = F \cdot s$  a  $s = d$  (vyznačeno v obrázku).

Pro náboj  $Q_1$ :  $F_1 = Q_1 \cdot E \Rightarrow W_1 = F_1 \cdot s = Q_1 \cdot E \cdot d$

Pro náboj  $Q_2$ :  $F_2 = Q_2 \cdot E \Rightarrow W_2 = F_2 \cdot s = Q_2 \cdot E \cdot d$

Podobně jako u sil při zavedení elektrické intenzity:

Vztah pro práci lze rozdělit na dvě části:

- část  $E \cdot d$  charakterizuje pole, jak velká práce se musí konat při přenášení náboje v poli (v závislosti na jeho intenzitě a vzdálenosti desek) a je pro oba náboje stejná,
- část  $Q_1$  (respektive  $Q_2$ ) nám předává informace o nábojích (a pro oba náboje se logicky liší).

Protože náboje se od sebe liší, je práce pro každou velikost náboje jiná, ale součin  $E \cdot d$  je v tomto případě u všech nábojů, které se pohybují z kladné na zápornou desku stejný.

**Př. 2:** Jaký je význam součinu  $E \cdot d$  v předchozím výkladu?

Součin  $E \cdot d$  násobíme při výpočtu práce velikostí přemístěvaného náboje  $\Rightarrow$  udává, jak velkou práci pole vykoná při přemístění náboje 1 C z kladné na zápornou desku.

Práci určené součinem  $E \cdot d$  říkáme **elektrické napětí**, značíme **U**, jednotkou je **1 Volt [1 V]**.

- Elektrické napětí má smysl určovat jen mezi dvěma body  $\Rightarrow$  občas se používá značení  $U_{AB}$  (elektrické napětí mezi body A a B).
- Hodnota  $U_{AB}$  udává, jak velkou práci pole vykoná při přemístění náboje 1 C z místa A do místa B.
- V homogenním poli při posunutí ve směru elektrických siločar platí:  $U = E \cdot d$ , v jiných případech je výpočet složitější.

**Př. 3:** Urči místa, ke kterým se vztahuje údaj o napětí:

- a) u monočlánku,                      b) ploché baterie,                      c) zásuvky.

Vždy jde o napětí mezi místy, kterými připojujeme zařízení do elektrického obvodu.

a) Napětí monočlánku  $U = 1,5 \text{ V}$  je napětí mezi jeho póly = prostřední cvoček a vnější obal (jsou odděleny izolační vrstvou)

b) Napětí baterie  $U = 4,5 \text{ V}$  je napětí mezi jejími póly = plíšky na horní straně (jsou odděleny vzduchem).

c) Napětí zásuvky  $U = 230 \text{ V}$ , znamená, že napětí mezi jejími dvěma dírkami je rovno 230V. Mezi pravou dírkou a zemí je napětí 0 V. Mezi levou dírkou a zemí 230 V.

**Dodatek:** Napětí v zásuvce je střídavé a jeho hodnota se neustále mění, udávaných 230 V je pouze charakteristickou hodnotou.

Všechny tři uvedené zdroje dodávají elektrickým obvodům energii - konají práci při zdvihání elektronů od kladného pólu k zápornému. Zdvihnutím získají elektrony energii, kterou pak odevzdávají v obvodu. Větší napětí = větší energie elektronů (proto jsou elektrony ze zásuvky nebezpečnější).

**Př. 4:** Rozeber libovolnou plochou baterii a vysvětli, jak souvisí její napětí s napětím monočlánků.

Plochá baterie se skládá ze tří monočlánků. Každý z nich by vykonal při zvedání elektronů práci 1,5 V, elektron je zvedán postupně ve všech třech článcích, dohromady o  $3 \cdot 1,5 \text{ V} = 4,5 \text{ V}$ .

**Pedagogická poznámka:** Předchozí příklady jsou důležité. Termín napětí studenti samozřejmě znají, jde o to, aby jej propojili s definicí, která je jejich znalostem reality bohužel cizí. Sloveso zdvihát je použito schválně, pomáhá u studentů vzbuzovat asociaci s baterií jako zařízením, které elektronům dodává zdviháním energii.

Jaký je vztah napětí a práce?

$$W = Q \cdot E \cdot d = Q \cdot U \Rightarrow U = \frac{W}{Q}$$

Vyjádření 1 V:  $U = \frac{W}{Q} \Rightarrow 1 \text{ V} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}}$

$\Rightarrow$  **Definice voltu:** Mezi body A, B je napětí 1V, jestliže síly elektrického pole při přenesení náboje 1C vykonají práci 1J.

**Práci, kterou vykoná elektrické pole při přemístění elektrického náboje (a tedy i energii, kterou při přesunutí získá nebo ztratí nabitá částice) vyjadřujeme pomocí elektrického napětí**

## ve voltech.

**Př. 5:** Elektrický vaříč o výkonu 2200 W je připojen k napětí 230 V. Urči, kolik coulombů proteče mezi dírkami zásuvky za každou sekundu.

Musíme určit vykonanou práci:  $P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = Pt$ .

Ted' určíme  $Q$ :  $U = \frac{W}{Q} \Rightarrow Q = \frac{W}{U} = \frac{Pt}{U}$

Dosadíme:  $Q = \frac{Pt}{U} = \frac{2200 \cdot 1}{230} \text{ C} = 9,57 \text{ C}$

Vaříčem ze zadání proteče každou sekundu náboj 9,57 C.

**Dodatek:** V zásuvce neteče proud jedním směrem, situace je trochu složitější, více později. Každopádně je vidět, že takový náboj bychom tyčí nenatřeli.

**Pedagogická poznámka:** Pokud hodina nejde rychle kupředu, stačí následující příklad jenom ukázat (bez opisování) a jít dál. Následující příklady jsou cennější.

**Př. 6:** Jakou práci vykoná elektrická síla v homogenním elektrickém poli o intenzitě  $1000 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$  při přemístění kladného náboje  $1 \mu\text{C}$  do vzdálenosti 10 cm  
a) ve směru elektrických siločar                      b) proti směru elektrických siločar  
c) kolmo na směr elektrických siločar

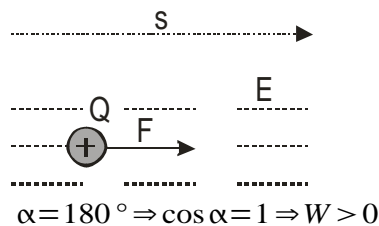
a)

$$W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$

$$W = E \cdot Q \cdot s \cdot \cos \alpha$$

$$W = 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot 1 \text{ J}$$

$$W = 10^{-4} \text{ J}$$



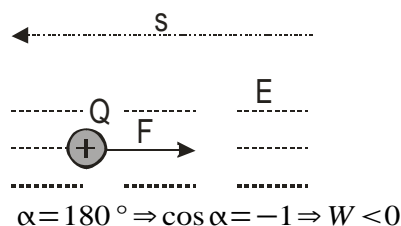
b)

$$W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$

$$W = E \cdot Q \cdot s \cdot \cos \alpha$$

$$W = 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot (-1) \text{ J}$$

$$W = -10^{-4} \text{ J}$$



Aby se náboj takhle pohyboval, musí na něj působit ještě jiná síla kromě elektrické  $\Rightarrow$  elektrické pole naopak působí proti tomu, aby se náboj pohnul vyznačeným směrem  $\Rightarrow$  škodí síle, která koná práci  $\Rightarrow$  práce elektrického pole je záporná.

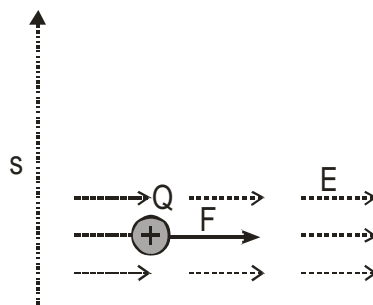
c)  $\alpha = 90^\circ \Rightarrow \cos 90^\circ = 0 \Rightarrow W = 0$

$$W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$

$$W = E \cdot Q \cdot s \cdot \cos \alpha$$

$$W = 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot 0 \text{ J}$$

$$W = 0 \text{ J}$$



$$\alpha = 90^\circ \Rightarrow \cos 90^\circ = 0 \Rightarrow W = 0$$

**Př. 7:** Jak by se předchozí příklad změnil, kdyby přesunovaný náboj měl záporné znaménko?

Síla, kterou by na něj působilo elektrické pole by změnila směr  $\Rightarrow$  změnila by se znaménka vykonané práce. Ve vzorcích toho dosáhneme tím, že u záporného náboje dosadíme jako záporné číslo.

**Př. 8:** Urči intenzitu elektrického pole mezi dírky domácí jednofázové zásuvky (předpokládej, že pole je homogenní).

Vzdálenost dírek  $d = 1,8 \text{ cm} = 0,018 \text{ m}$ , napětí  $U = 230 \text{ V}$ ,  $E = ?$

$$U = E \cdot d$$

$$E = \frac{U}{d} = \frac{230}{0,018} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} = 12800 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

Elektrické pole mezi dírky normální zásuvky má přibližně intenzitu  $12800 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$

**Př. 9:** Urči intenzitu elektrického pole mezi drátem velmi vysokého elektrického napětí a stožárem. U dálkového přenosu se používá napětí 220 kV. Tloušťka porcelánové hlavy mezi drátem a stožárem je přibližně 5 cm.

$U = 220000 \text{ V}$ ,  $d = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$ ,  $E = ?$

$$E = \frac{U}{d} = \frac{220000}{0,05} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} = 4400000 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

Elektrické pole mezi stožárem a drátem velmi vysokého napětí má velikost  $4400000 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ .

**Př. 10:** Vzduch za normálních podmínek nevede elektrický proud  $\Rightarrow$  neumožňuje pohyb elektrických nábojů. Pokud však intenzita elektrického pole přesáhne určitou hodnotu (takzvanou elektrickou pevnost  $E_p$ ), vzduch začne proud vést (přeskočí jiskra). Najdi způsob, jak určit přibližně velikost napětí, na které je možné nabít Van Der Graffův generátor.

Stačí když změříme vzdálenost, na kterou již přeskočí jiskra, a dosazením do vzorce pro elektrické napětí získáme jeho hodnotu.

$$E_p = 3 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \quad d = 1,5 \text{ cm} = 0,015 \text{ m} \quad U = ?$$

Předpokládám, že pole je homogenní (to není pravda, ale pro řádový odhad, homogennost předpokládat můžeme).

$$U = E \cdot d = 3 \cdot 10^6 \cdot 0,015 \text{ V} = 45000 \text{ V}$$

Van Der Graffův generátor je možné nabít přibližně na napětí 45 000 V.

Napětí Van Der Graffova generátoru je obrovské, přesto nezpůsobí smrt jako daleko nižší napětí zásuvky  $\Rightarrow$  napětí má vliv na průběh úrazu, ale nezáleží pouze na něm.

**Shrnutí:** Práci, kterou vykoná elektrické pole při přemístování elektrického náboje (a tedy i energii, kterou při přesunutí získá nebo ztratí nabitá částice) vyjadřujeme pomocí elektrického napětí ve voltech.