

## DUM č. 7 v sadě

### 11. Fy-2 Učební materiály do fyziky pro 3. ročník gymnázia

Autor: Vojtěch Beneš

Datum: 09.12.2013

Ročník: 2A, 2C

Anotace DUMu: Dokument je souborem cvičení z fyziky zaměřených na kapitulu vedení proudu v plynech a ve vakuu. Je určen k samostatné domácí přípravě žáků.

Materiály jsou určeny pro bezplatné používání pro potřeby výuky a vzdělávání na všech typech škol a školských zařízení. Jakékoliv další využití podléhá autorskému zákonu.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Elektrický proud v plynech a ve vakuu – cvičení

## Metodické pokyny

Dokument je souborem cvičení z fyziky zaměřených na kapitolu vedení proudu v plynech a ve vakuu. Je určen k samostatné domácí přípravě žáků.

Určeno pro 3. ročník čtyřletého gymnaziálního studia.

Samostatnému počítání příkladů by měl předcházet výklad v hodině doplněný experimenty a předvedení několika vzorových příkladů. Předpokládá se zvládnutí učiva o elektrickém poli, znalosti z kinematiky a dynamiky z 1. ročníku.

Jedná se o výběr cvičení, které autor považuje za základ, který by měl dobrý student zvládnout. Cvičení, kromě komplexního problému 7., nebyla opsána z učebnic či sbírek, ale nově vytvořena tak, aby co nejlépe doplňovala autorův výklad v hodinách. Snahou nebylo vymyslet co nejoriginálnější nejzapeklitější příklady, ale naopak poskytnout základní úlohy k procvičování probrané látky. Výjimku tvoří př. 7 vhodný pro studenty s talentem pro matematicko-fyzikální myšlení.

Autor usiloval o to, aby byla jednotlivá cvičení správně seřazena, totiž od lehčího k těžšímu, a aby zvládnutý problém v jednom cvičení byl pokud možno použit a rozšířen v některém z následujících. Je třeba poznamenat, že v současné době existuje několik velmi obsáhlých sbírek příkladů, které ovšem nerespektují výše zmíněnou pedagogickou zásadu. Často také množství příkladů k dispozici (desítky v jedné kapitole) žáky od počítání odradí. Autor se snažil udělat kompromis mezi kvalitou zvládnutí učiva a časovou náročností na domácí přípravu žáků.

Poznámka:

Příklad 7. byl převzat ze zadání maturitní písemné práce z fyziky na dvojjazyčných francouzsko-českých gymnáziích a autorem přeložen z francouzštiny a upraven.

Autorem použité fotografie je Miroslav Kubera.

# Elektrický proud v plynech a ve vakuu – cvičení

## Výboje v plynech

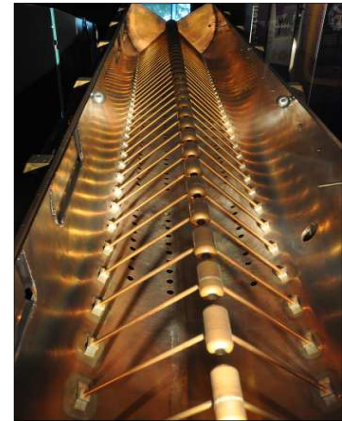
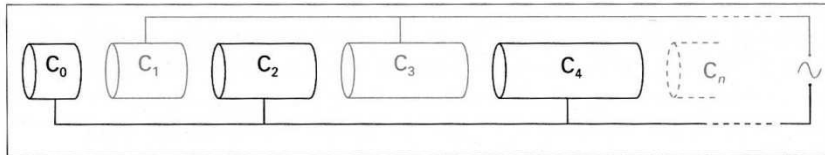
- Dielektrická pevnost suchého vzduchu je 30 kV/cm, dielektrická pevnost vlhkého vzduchu je 10 kV/cm.
  - Do jaké minimální vzdálenosti můžeme přiblížit elektrody v zadýchané místnosti, aby nedošlo k výboji, je-li mezi nimi napětí 5 kV?
  - Jaké napětí vytváří Wimshurstova indukční elektrika, jestliže k jiskrovému výboji dojde v zadýchané třídě při vzdálenosti koulí jiskřiště 3 cm?
  - Jaké je při bouřce napětí mezi mrakem ve výšce 1,5 km a zemí?[a) vzduch je vlhký, 0,5 cm; b) vzduch je vlhký, 30 kV; c) vzduch je vlhký, 1,5 GV]
- Svářečka. Obloukový výboj při sváření je napájen ze zdroje s příkonem 5,4 kW o napětí 48 V.
  - Jaký maximální proud může při výboji teoreticky téct? Jaký je odpor oblouku?
  - Vypočítejte teplo uvolněné při výboji, který trvá 5 s. Jakou hmotnost oceli (o běžné teplotě 20 °C) by bylo možné takovým teplem roztavit?Měrná tepelná kapacita oceli  $c = 470 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ , teplota tání oceli  $t_t = 1540 \text{ °C}$ , měrné skupenské teplo tání oceli  $l_t = 290 \text{ kJ}/\text{kg}$ .  
[a) 112,5 A; 0,43 Ω; b) 27 kJ; c) 26,9 g]

## Lineární urychlovač částic

- Elektronvolt (1 eV) je často používaná vedlejší jednotka energie. Jeden elektronvolt se rovná energii, kterou získá elektron, je-li urychlen napětím 1 V. Převedte 1 eV na jouly. Jakou rychlostí se pohybuje elektron s energií 15 eV? Hmotnost elektronu činí  $9,11\cdot 10^{-31} \text{ kg}$ .  
[1 eV =  $1,602\cdot 10^{-19} \text{ J}$ ;  $2,30\cdot 10^6 \text{ m/s}$ ]
- Proton (hmotnost  $1,67\cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ) pronikne se zanedbatelnou rychlostí mezi desky kondenzátoru nabitě napětím 5 kV a vzdálené 2 cm. Vypočítejte:
  - intenzitu elektrického pole  $E$  mezi deskami,
  - elektrickou sílu  $F$  působící na proton,
  - zrychlení protonu  $a$ ,
  - dobu  $t$ , za kterou vyletí ven z kondenzátoru,
  - rychlost  $v$ , na jakou bude urychlen,
  - práci  $W$ , kterou při urychlování vykonalo elektrické pole a
  - kinetickou energii  $E_k$  po urychlení.[ $E = 2,5\cdot 10^5 \text{ V/m}$ ,  $F = 4,01\cdot 10^{-14} \text{ N}$ ,  $a = 2,40\cdot 10^{13} \text{ m/s}^2$ ,  $t = 4,08\cdot 10^{-8} \text{ s}$ ,  $v = 9,79\cdot 10^5 \text{ m/s}$ ,  $W = E_k = 8,01\cdot 10^{-16} \text{ J}$ ]
- Proton vletí rychlostí 20 000 m/s do kondenzátoru nabitěho napětím 10 kV. Jaká bude jeho rychlost po urychlení elektrickým polem? Hmotnost protonu je  $1,67\cdot 10^{-27} \text{ kg}$ . [ $v = 1,39\cdot 10^6 \text{ m/s}$ ]
- Elektron vletí do nabitěho kondenzátoru rychlostí 10 000 m/s a vyletí urychlen pětisíckrát. Určete napětí na kondenzátoru  $U$ . Hmotnost elektronu je  $9,11\cdot 10^{-31} \text{ kg}$ . [ $U = 7,1 \text{ kV}$ ]

## 7. Lineární urychlovač – Maturitní příklad přeložený z francouzštiny (upraveno VB)

Lineární urychlovač se skládá se z několika válcových elektrod o stejném průřezu a o zvětšujících se délkách, umístěných na společné ose (viz obrázek a fotka pořízená Mirkem Kubrou v CERNu). Uvnitř každé válcové elektrody je vždy nulové elektrické pole (bez ohledu na jejich nabití), elektrické pole *existuje* v prostoru *mezi* sousedními válci. Tím pádem se uvnitř válce proton pohybuje rovnoměrně a mezi válci je urychlován. Celá aparatura je umístěna v pracovní komoře, ze které je dokonale vyčerpán vzduch.



Všechny sudé elektrody jsou zapojeny k jedné svorce zdroje vysokého napětí, všechny liché elektrody ke druhé svorce. Napětí dodávané zdrojem má sinusový průběh a lze je popsat rovnicí  $u_z = U_m \cdot \cos(2\pi f t)$ .

Do prvního válce  $C_0$  vnikají protony (náboj  $q$ , hmotnost  $m_p$ ) s vektorem rychlosti  $\vec{v}_0$  rovnoběžným s osou soustavy válců.

- 1) Důkladně vysvětlete, jakým způsobem se během pohybu protonu aparaturou musí měnit polarita válcových elektrod, aby byl opakovaně urychlován.
- 2) Doba průletu protonu prostorem mezi válcovými elektrodami je mnohem menší než perioda střídavého napětí. Tím je dáno, že napětí mezi elektrodami  $U \cong U_m$ . Vyjádřete pomocí zadaných hodnot a pak spočítejte, o kolik ( $\Delta E_k$ ) se zvýší kinetická energie protonu (v J a v eV) během průchodu mezi dvěma sousedními válci.
- 3) Vyjádřete pomocí zadaných veličin kinetickou energii protonu  $E_{kn}$  po průchodu  $n$ -tým válcem.
- 4) Vyjádřete pomocí zadaných veličin rychlost protonu  $v_n$  po průchodu  $n$ -tým válcem.
- 5) a) Vypočítejte periodu napětí zdroje  $T$  a dobu pohybu  $t$  protonu uvnitř válce nutnou k tomu, aby byl opakovaně urychlován.  
b) Jaký je vztah mezi délkou  $n$ -tého válce  $l_n$  a dobou průletu  $t$  protonu válcem?  
c) Vyjádřete pomocí zadaných veličin délku  $n$ -tého válce  $l_n$ .
- 6) Jaký počet válců  $n$  potřebujeme, abychom na výstupu z posledního získali proton o kinetické energii  $E_{kn} = 5,0 \cdot 10^6$  eV?

Číselné hodnoty:  $v_0 = 4,5 \cdot 10^6$  m/s,  $U_m = 1,0 \cdot 10^5$  V,  $f = 2,5 \cdot 10^7$  Hz,  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg

Řešení:

- 1) Je-li proton uvnitř válce, nemá náboj válce vliv na jeho pohyb, neboť elektrické pole uvnitř je podle zadání nulové. K urychlování dochází pouze mezi sousedními válci. V okamžiku, kdy kladný proton opustí  $n$ -tý válec, musí být tento  $n$ -tý válec nabit kladně a  $(n + 1)$ ní válec nabit záporně, aby proton přitahoval. Během průletu protonu válcem se polarita válce musí změnit na opačnou, aby se urychlení mohlo opakovat v následující mezeře mezi válci  $(n + 1)$  a  $(n + 2)$ .
- 2)  $\Delta E_k = W = U \cdot q = U_m \cdot q = 1,6 \cdot 10^{-14}$  J = 500 keV
- 3)  $E_{kn} = E_{k0} + n \cdot \Delta E_k = \frac{1}{2} m_p v_0^2 + n \cdot U_m q$
- 4)  $v_n = \sqrt{v_0^2 + n \cdot \frac{2U_m q}{m_p}}$ ,
- 5) a)  $T = 4 \cdot 10^{-8}$  s,  $t = 2 \cdot 10^{-8}$  s, b)  $l_n = v_n \cdot t$ , c)  $l_n = \frac{1}{2f} \sqrt{v_0^2 + n \cdot \frac{2U_m q}{m_p}}$ ,
- 6)  $n = \left( E_{kn} - \frac{1}{2} m_p v_0^2 \right) \cdot \frac{1}{U_m q} = 49$