

64. ročník Fyzikálnej olympiády

v školskom roku 2022/2023

Kategória A

Krajské kolo – text úloh v maďarskom jazyku

1. Gyorsulásmérő

Egy regényíró olyan gyorsulásmérőt képzelt el az űrhajójába, amely a vízpára kondenzációján alapul. Az elképzelésben egy homogén fémcsőben $d = 20,0$ mm átmérőjű és 5,50 m hosszúságú hengeralakú üreg van. Az üregben egy tökéletesen záró dugattyú mozdítható el hosszanti irányban. A cső tengelye a rakéta mozgási irányában áll, és a dugattyú kezdeti helyzetében hátul helyezkedik el. Az üreg hátsó része egy üveglap, rajta egy vízcseppel – amint a dugattyú előre mozdul, az ablakon lévő víz kezd elpárologni, és vízgőz tölti ki a dugattyúval zárt részt. Mérés közben a cső hőmérséklete $t_0 = 20,0$ °C, és állandó. A dugattyú lassú előretolásával a víz lassan elpárolog, kitöltve a dugattyúval határolt üreget. Amíg a víz teljesen el nem párolog, a csőben uralkodó nyomás $p_1 = p_n$ a telített vízgőz nyomásával egyenlő. A telített vízgőz nyoma eltérő hőmérsékleteken a következő táblázatban van feltüntetve.

hőmérséklet t_0 /°C	19,9	20,0	20,1
nyomás p_n /hPa	23,226	23,371	23,516

- Határozzák meg a vízcsepp kezdeti m_0 tömegét, hogy $t_0 = 20,0$ °C-on a dugattyú $x_1 = 5,000$ m elmozdításakor teljesen elpárologjon!
- Mekkora x_{11} ill. x_{12} elmozdulásnál párologna el az m_0 tömegű vízcsepp $t_{01} = 19,9$ °C ill. $t_{02} = 20,1$ °C hőmérsékleten?
- Mekkora Δx -vel kell a dugattyúnak x_1 -ből x_2 -be elmozdulnia t_0 hőmérsékleten, hogy a vízgőz nyomása az üregben $p_2 = \eta p_n$ -re csökkenjen, ahol $\eta = 0,999$?
A rakéta a gyorsulásával a vízgőz nyomáseloszlása a cső mentén megváltozik. Amint az üveglapnál a nyomás p_2 -ről p_n -re nő, a vízgőz kondenzál az üveglapon, egy nagyon vékony vízréteget létrehozva. A gyorsulás további növekedésével a vízréteg vastagsága h -ra nő, és ezt javasolja mérni a regényíró a vékony vízrétegen létrejövő fényinterferencia segítségével.
- Mekkora az a legkisebb a_m gyorsulás, amelynél megindul a vízgőz kondenzációja?
- Fejezzék ki a vízréteg h vastagságát, mint az a gyorsulás függvényét! Határozzák meg a vízréteg h_{10} vastagságát $a_{10} = 10$ g gyorsulásnál!
- Döntsék el, és indokolják meg (a kapott eredményekből kiindulva), hogy életképes volt-e a regényíró ötlete!

A víz sűrűsége $\rho_v = 1,00 \times 10^3$ kg · m⁻³, a gázállandó $R = 8,314$ J · K⁻¹ · mol⁻¹. Tétélezzék fel, hogy vízgőz ideális gáz! A dugattyú helyzetének minden beállítása után, az már az üregben nem mozog. Az űrhajó saját anyagának gravitációja elhanyagolhatóan kicsi.

A számításokban használható az exponenciális függvény közelítőlegese kifejezését:

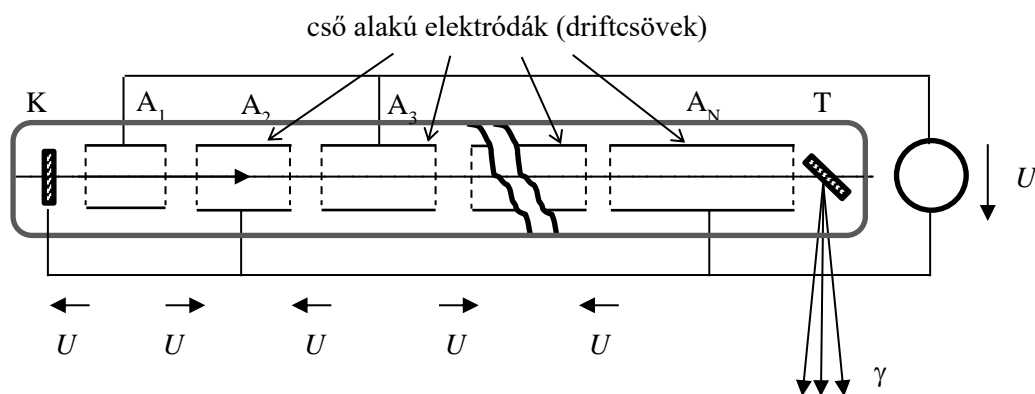
$$e^x \approx 1 + x + \frac{1}{2}x^2, \text{ ahol } |x| \ll 1.$$

2. Elektrongyorsító

Az elektronok gyorsítására, ill. nagy energiájú elektromágneses sugárzás létrehozásához több fajta részecskegyorsítót használnak. Egyszerű gyorsító a röntgenlámpákban, elektronmikroszkópokban, katódsugárcsöves képernyőkben használatos. Az ilyen gyorsító csak egy katódból és anódból áll, amelyek közt állandó gyorsító feszültség van.

- Mekkora az $U_{01} = 40,0$ kV gyorsítófeszültséggel gyorsított elektronok v_1 sebessége és E_e energiája egy egyszerű gyorsítóban? Az energiát J és eV egységekben fejezzék ki!
- Mekkora U_{02} gyorsítófeszültség szükséges az egyszerű gyorsítóban, hogy az elektronok $v_2 = 0,99 c$ sebességre gyorsuljanak (c a fény sebessége vákuumban)?

Az elektronok fénysebesség közeli értékekre gyorsítása nagyon nagy feszültséget kíván. Ezt a gondot oldja meg a magasfrekvenciás lineáris részecskegyorsító – a gyorsítás elve az A–1 ábrán látható.



A–1 ábra

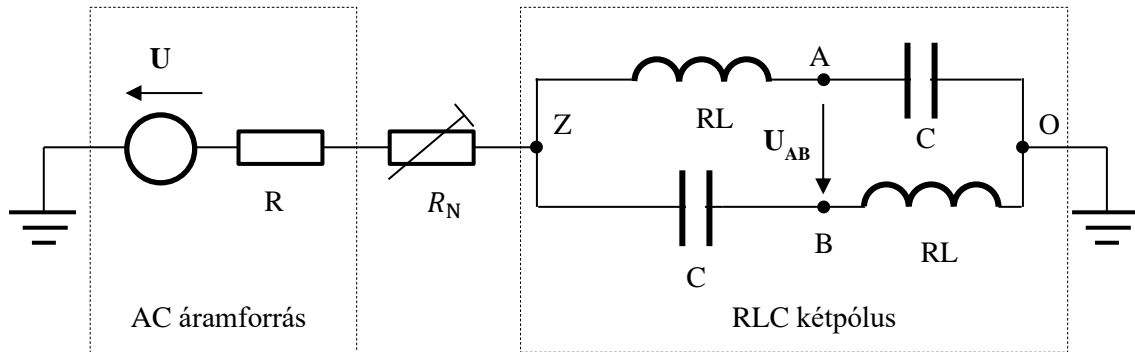
A gyorsító cső alakú elektródok A_1, \dots, A_n sorozatából áll (ún. driftcsövek), amelyek váltakozva csatlakoznak az $U = U_m \sin(\omega t)$ feszültségű áramforrás ellentétes pólusaihoz. A driftcsövekben nincs elektromos tér és az elektronok állandó sebességgel haladnak bennük. A szomszédos driftcsövek közti feszültség U , és az elektromos tér a résben gyorsítja az elektronokat. Optimális esetben az elektron mindig akkor halad át a résen, amikor a csövek közti gyorsítófeszültség U_m , és végül N résen áthaladva az elektron gyorsulása NU_m gyorsítófeszültségnek felel meg (N a driftcsövek száma). A hézagok szélessége akkora, hogy az U harmonikusan változó feszültség fázisa az U_m érték körüli $\pm 0,05$ rad tartományban legyen (ebben a tartományban $\cos \varphi \approx 1$). Az idő többi részében az elektron, a driftcső belsejében, állandó sebességgel halad. Az elektronok sebessége minden átmenet után nő, ezért a driftcsövek hossza is így van kialakítva (növekszik).

- A lineáris részecskegyorsító $U_m = 50$ kV feszültségamplitúdójú, $f = 750$ MHz frekvenciájú áramforrást használ, és $E = 1,00$ MeV energiájú elektronok lépnek ki belőle. Határozzák meg a driftcsövek N számát, az első driftcső d_1 és utolsó driftcső d_N hosszát! Végezzenek becslést a gyorsító L teljes hosszára!
- A felgyorsított elektronok a T céltárgyba csapódnak, és fékezési sugárzás keletkezik. Mekkora a keletkező fékezési sugárzás legkisebb λ_{\min} hullámhossza, és hogyan nevezzük ezt az elektromágneses sugárzást?

A feladat megoldásakor a következő értékeket használják: az elektron tömege $m = 9,109 \times 10^{-31}$ kg, az elemi töltés $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C, a fény sebessége vákuumban $c = 2,998 \times 10^8$ m \cdot s⁻¹, a Planck-állandó $h = 6,626 \times 10^{-34}$ J \cdot s!

3. Az áramkör

Az A–2 ábrán sematikusan ábrázolt RLC kétpólus az RL indukciós tekercsekből és C kondenzátorokból áll. Mindegyik tekercs indukciója $L = 60 \text{ mH}$, ellenállása $r = 40 \Omega$, mindegyik kondenzátor kapacitása $C = 470 \text{ nF}$. A kétpólust egy $U = 120 \text{ V}$ effektív feszültségű és $R = 50 \Omega$ belső ellenállású áramforrás táplálja egy közbeiktatott változtatható R_N ellenállású rezisztoron keresztül.



A–2 ábra

- Vezessék le az áramforrás I áramának I effektív értékét! Határozzák meg milyen f_0 frekvenciánál maximális az I áramerősség és mekkora a maximális I_m értéke, ha $R_N = 0 \Omega$!
- Határozzák meg a kétpólus P hőteljesítményét és a P_m maximális értékét, ha $R_N = 0 \Omega$!
- Vezessék le a kétpólus A és B pontjai közti effektív U_{AB} feszültséget, valamint az U_{AB} feszültség és az áramforrás U feszültsége közti φ_{AB} fáziskülönbséget!

Az $U_{AB}(\omega)$ amplitúdó frekvenciafüggését jelentősen lehet változtatni az R_N ellenállás változtatásával.

- Határozzák meg az R_{N1} értéket, amelynél U_{AB} nem függ a forrás frekvenciájától! Bizonyítsák, hogy az $U_{AB}(\omega)$ feszültség értéke bizonyos R_N ellenállásokra és f_1 frekvenciára extrémális! Határozzák meg az f_1 frekvenciát és R_N értékeit, amelyekre $U_{AB}(\omega)$ értéke maximális, és amelyekre minimális!
- Határozzák meg U_{AB} és φ_{AB} értékeit az f_1 frekvenciára, és az R_{N1} (lásd d) részfeladat), $R_{N2} = 0,0 \Omega$ valamint $R_{N3} = 1,0 \text{ k}\Omega$ értékekre!

Megjegyzés: Az $u(x)$ és $v(x)$ függvények $u(x)/v(x)$ hányadosának derivációja

$$\left(\frac{u(x)}{v(x)}\right)' = \frac{u'(x)v(x) - u(x)v'(x)}{v^2(x)},$$

ahol az aposztróf az adott függvény x -szerinti derivációját jelöli.

4. A plutónium átalakulása

Az egyik gyakran használatos radioaktív anyag a plutónium $^{239}_{94}\text{Pu}$ izotópja, amely atomreaktorokban az $^{235}_{92}\text{U}$ hasadásakor jön létre. A fűtőelemekben a hasadóanyagon kívül nagy mértékben jelen van az uránium $^{238}_{92}\text{U}$ izotópja is, amely elnyeli a láncreakcióban hasadásakor keletkező neutronokat.

- a) Az A–3 ábrán látható a periódusos rendszer egy része. Tételezzék fel, hogy egy $^{238}_{92}\text{U}$ elnyel egy neutron! Milyen izotóp keletkezik? Írják le a fokozatos magátalakulások egyenleteit, amelyekben ebből az izotópból végül az említett plutóniumizotóp jön létre! Nevezzék meg az átalakulásokat, és a közbeni reakciókban keletkező melléktermékeket!

6	lantanoidák	138,91 ^{57}La 1,10 Lanthan	140,12 ^{58}Ce 1,10 Cer	140,91 ^{59}Pr 1,10 Praseodym	144,24 ^{60}Nd 1,10 Neodymium	~145 ^{61}Pm 1,10 Promethium	150,36 ^{62}Sm 1,10 Samarium	151,96 ^{63}Eu 1,00 Europium	157,25 ^{64}Gd 1,10 Gadolinium	158,93 ^{65}Tb 1,10 Terbium	162,50 ^{66}Dy 1,10 Dysprosium	164,93 ^{67}Ho 1,10 Holmium	167,26 ^{68}Er 1,10 Erbium	168,93 ^{69}Tm 1,10 Thulium	173,04 ^{70}Yb 1,10 Ytterbium	174,04 ^{71}Lu 1,10 Lutetium
7	aktinoidák	227,03 ^{89}Ac 1,00 Aktinium	232,04 ^{90}Th 1,10 Thorium	231,04 ^{91}Pa 1,10 Protaktínium	238,03 ^{92}U 1,20 Urán	237,05 ^{93}Np 1,20 Neptúnium	[244] ^{94}Pu 1,20 Plutónium	~243 ^{95}Am 1,20 Americium	~247 ^{96}Cm 1,20 Curium	~247 ^{97}Bk 1,20 Berkelium	~251 ^{98}Cf 1,20 Kalifornium	~252 ^{99}Es 1,20 Einsteinium	~257 ^{100}Fm 1,20 Fermium	~258 ^{101}Md 1,20 Mendelevium	~259 ^{102}No 1,20 Nobelium	~260 ^{103}Lr 1,20 Lawrencium

A–3 ábra

A plutóniumot használják magreaktorokban is. Más felhasználása a plutónium spontán bomlásakor felszabaduló hőenergia hasznosítása hosszú élettartamú termoelektrikus áramforrásokban (pl. űrszondákban). A spontán α -bomlásának felezési ideje $t_{1/2} = 24\,110$ év, a felszabaduló energia $E = 5,244$ MeV bomlási termékek kinetikus energiájában jelenik meg.

- b) Írják le az adott plutónium izotóp α -bomlásának egyenletét, és nevezzék meg a keletkező leánymagot!

- c) Mekkora a keletkező α -részecske E_α kinetikus energiája, ha a bomlás kezdetén a plutóniummag nyugalomban volt?

A tiszta plutónium jó elektromos vezetőképeségű szürkés fém. Tételezzünk fel egy golyónyi, $d = 40$ mm átmérőjű plutóniummintát egy vezetőben kialakított gömb alakú üreg közepén! Az üregben vákuum van, és az üreg falának hőmérséklete $T_0 = 273$ K. A plutónium minta felülete elhanyagolhatóan kicsi az üreg felületéhez viszonyítva.

- d) Határozzák meg a plutóniumminta P hőteljesítményét, valamint a plutóniumminta T állandósult hőmérsékletét, ha a plutóniumminta felületének emisszióképesége $\varepsilon = 0,15$!

- e) A plutóniumminta idővel elektromosan feltöltődik a felületi rétegeből kirepülő α -részecskéknek köszönhetően. Mekkora lesz a végső U feszültség a nulla potenciálon levő fémüreg fala és a plutóniumminta között?

A számításoknál a következő értékekkel dolgozzanak: az elemi elektromos töltés $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C, az Avogadro-állandó $N_A = 6,023 \times 10^{23}$ mol $^{-1}$, a plutónium sűrűsége $\rho_{\text{Pu}} = 19,82 \times 10^3$ kg \cdot m $^{-3}$, az uránium ^{239}U moláris tömege $M_{\text{mU}} = 239$ g \cdot mol $^{-1}$, a Stefan-Boltzmann-állandó $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ W \cdot m $^{-2}$ \cdot K $^{-4}$.

Megjegyzés: Az emisszióképeség az adott felület által kisugárzott teljesítmény és az azonos nagyságú abszolút feketetest felülete által kisugárzott teljesítmény aránya a testek azonos hőmérsékletén.

Tételezzék fel, hogy a vákuumban nem következik be korona-kisülés, tehát a plutóniummintából nincsenek elektronok kiszakítva a külső elektromos tér által!

64. ročník Fyzikálnej olympiády – Úlohy krajského kola kategórie A

Autori návrhov úloh:

Lubomír Konrád (1), Ivo Čáp (2, 3, 4),

Recenzia:

Aba Teleki, Lubomír Mucha

Preklad textu úloh do maďarského jazyka:

Aba Teleki

Redakcia:

Ivo Čáp

Vydal:

Slovenská komisia fyzikálnej olympiády

Národný inštitút vzdelávania a mládeže, Bratislava 2023