

A 2008-as bajor fizika érettségi feladatok (Leistungskurs)

Munkaidő: 240 perc

(A vizsgázónak két, a szakbizottság által kiválasztott feladatsort kell kidolgoznia)

L Ph 1

1. Kozmikus részecskék mozgása a Föld mágneses terében

A napszél protonjait a Föld mágneses tere befogja, amelyek így egy ún. Van-Allen-féle sugárzási övet hoznak létre. Ez a sugárzási öv a Föld mágneses pólusai közötti légkör fölött nagy magasságban helyezkedik el. Egyszerűsített feltételek figyelembevételével 3,0 keV mozgási energiájú proton mozgását vizsgáljuk.

a) Számítsa ki proton v sebességét. [Ellenőrzésül:
 $v = 7,6 \cdot 10^5$ m/s] [4 pont]

Az Egyenlítő fölötti közelítőleg homogén földi mágneses térben a proton (a mágneses indukció nagysága $B = 4,4 \mu\text{T}$) a \mathbf{B} -vonalakkal $\alpha = 80^\circ$ szög alatt mozog.

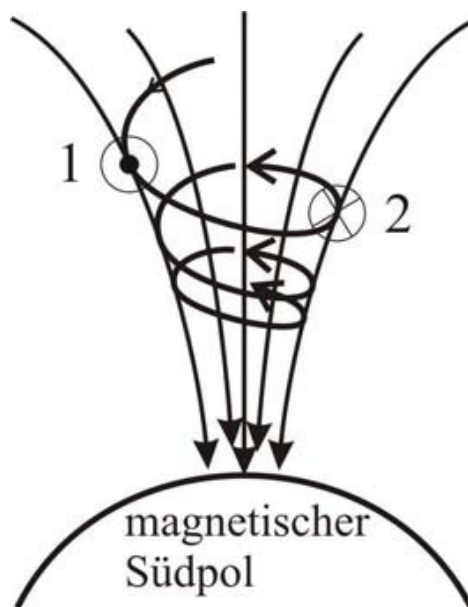
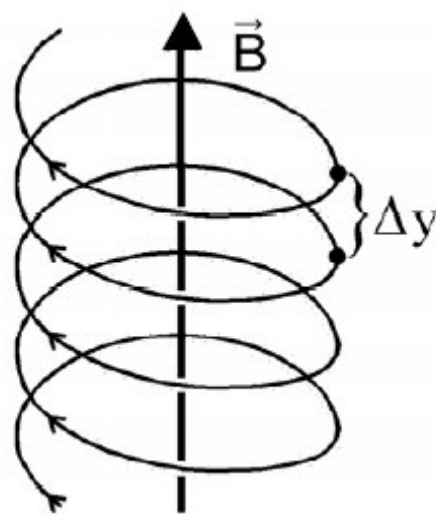
b) Indokolja meg, miért ír le a proton csavarpályát. [5 pont]

c) Számítsa ki a csavarpálya r sugarát, a keringés T idejét, valamint az egy fordulat során bekövetkező emelkedés Δy nagyságát. [10 pont]

d) Hogyan változna meg a protonok T keringési ideje, ha $v \gg 0,1c$ lenne? Válaszát indokolja! [5 pont]

A proton az erővonalak mentén haladva végül az erősen inhomogén mágneses déli póluson csapódik be (l. mellékelt ábra).

e) Indokolja meg, miért csökken az egy fordulat alatti emelkedési magasság és miért mozog a proton végül felfelé. Részletesen tárgyalja a bejelölt 1 és 2 pontban a Lorentz-erő irányát. Hogyan mozognak a protonok hosszabb időtartamokat figyelembe véve az eddigi megfontolások alapján, amennyiben semmilyen másfajta kölcsönhatás nem jön létre? [10 pont]



2. Kapacitív gyorsulásérzékelő

A mellékelt ábra egy kapacitív miniatűr gyorsulás-érzékelő elvi felépítését mutatja. A három fémlemezről (P_1 , M és P_2) álló szerkezet mindegyikének $0,34 \text{ mm}^2$ a területe. Az M lemez (tömege $m = 1,0 \text{ } \mu\text{g}$, vastagsága $b = 1,5 \text{ } \mu\text{m}$) a P_1 és P_2 között (távolság $3b$) középen helyezkedik el és rugalmas felfüggesztésű. A P_1 és P_2 közti elektromos feszültség $U_0 = 6,0 \text{ V}$, M -nek nincs töltése.

Az egész érzékelőt vízszintesen (a lemezekre merőlegesen) a gyorsulással gyorsulásba hozzuk, így M – tehetetlensége révén x nagysággal kitér (1. ábra).

a) Számítsa ki a kitérés x mértékét ötszörös nehézségi gyorsulásnak megfelelő nagyságú,

vízszintes gyorsulás esetén, ha a rugórendszer rugóállandója $D = 61 \frac{\mu\text{N}}{\text{mm}}$.

[4 pont]

b) Indokolja meg, miért azonos nagyságú a P_1 -n, P_2 -n és az M P_1 , ill. P_2 felőli oldalán a felületi töltéssűrűség, valamint azt is, hogy ez miért marad fenn M helyzetétől függetlenül! Következtesen ebből arra, hogy az E elektromos térerősség az érzékelő mindkét felén, vagyis az M -től jobbra és balra azonos nagyságú.

[5 pont]

c) Mutassa meg, hogy U_0 és E között az alábbi összefüggés érvényes:
 $U_0 = U_1 + U_2 = E \cdot 2b$, ahol U_1 a P_1 és M , U_2 pedig az M és P_2 közti feszültség.

[5 pont]

A mellékelt ábra az érzékelő külső kapcsolását mutatja. Mindkét ohmos ellenállás azonos R nagyságú.

d) Számítsa ki az 1-es és 2-es pontban (1. ábra) az elektromos potenciált, valamint az ezen pontok közötti U_D feszültséget.

$$[\text{Ellenőrzésül: } U_D = \frac{U_0}{2} \cdot \frac{x}{b}]$$

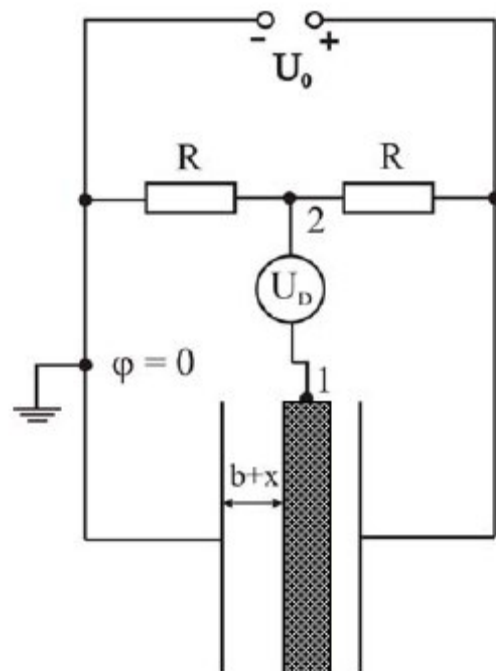
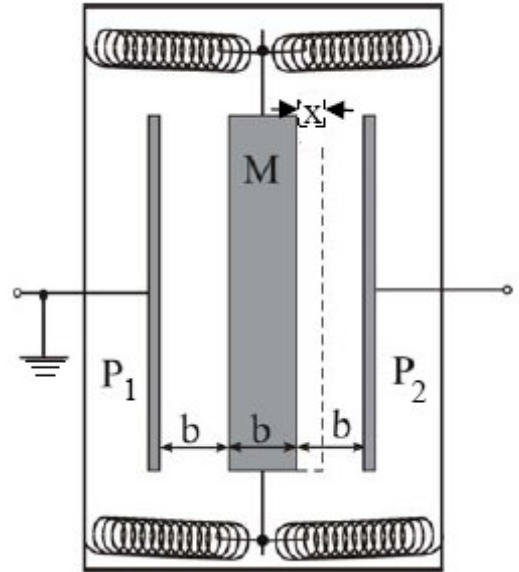
[5 pont]

e) Mutassa meg, hogy az a gyorsulás és az U_D feszültség egyenesen arányos.

[3 pont]

f) A gyorsulásérzékelőt a Föld nehézségi tere irányába állítva, vagyis úgy, hogy a lemezek vízszintesek, $U_D = 1,2 \text{ mV}$ feszültséget mérünk. Egy függőlegesen startoló rakétával végzett gyorsulási kísérletben a mért feszültségérték $U'_D = 5,4 \text{ mV}$. Számítsa ki a rakéta gyorsulását.

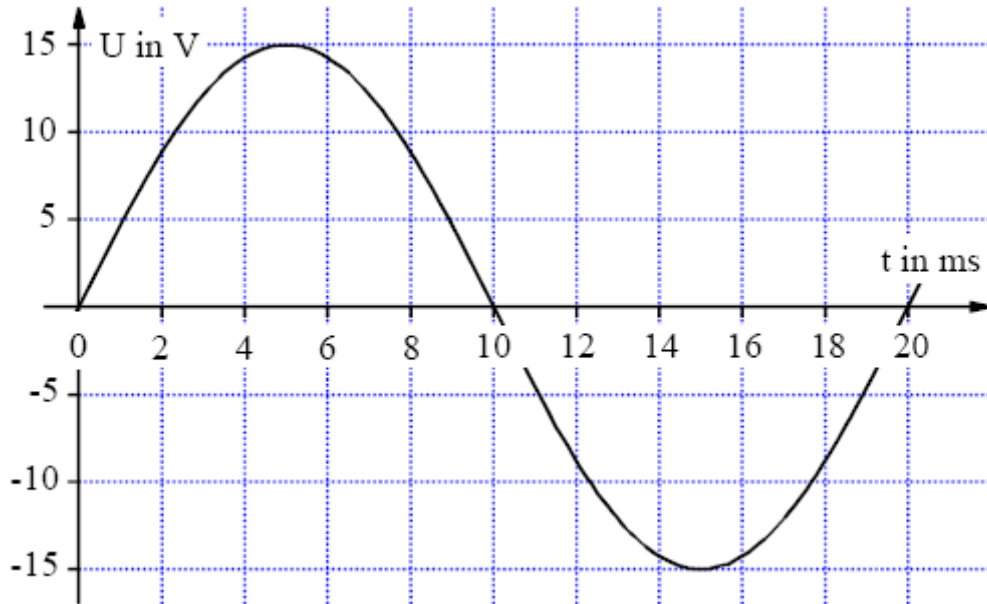
[4 pont]



L Ph 2

1. Tekercs és kondenzátor váltóáramú körben

Elhanyagolható ohmos ellenállású tekercset $U(t)$ szinuszos váltófeszültségre kapcsolunk. A feszültség időbeli változását mutatja az alábbi diagramm. A tekercsben az effektív áramerősség 4,8 mA.



- a) Számítsa ki az induktív ellenállást és a tekercs induktivitását. [Ellenőrzésül: $L = 7,0 \text{ H}$] [6 pont]
- b) Adja meg a tekercsben folyó áram $I(t)$ függvényét és rajzolja meg a t - I -diagrammot a $[0; 20 \text{ ms}]$ időintervallumra. [6 pont]

A tekercset helyettesítsük kondenzátorral.

- c) Mekkora a kapacitása annak a kondenzátornak, amellyel ugyanakkora 4,8 mA effektív áramerősség érhető el mint a tekercssel. [Ellenőrzésül: $C = 1,4 \text{ } \mu\text{F}$] [5 pont]
- d) Döntse el, hogy az alábbi állítások igazak-e vagy hamisak. Állítását indokolja!
- (α) Ha a kondenzátor kapacitása $1,4 \text{ } \mu\text{F}$, akkor az áramerősség t - I -diagrammja megegyezik az 1b)-ben rajzolttal.
 - (β) A fentebb megadott váltófeszültség esetén a kondenzátor kapacitása és az effektív áramerősség egyenesen arányos.
 - (γ) Azonosan tartott csúcsérték esetén a váltófeszültség frekvenciájának megduplázása a kondenzátorban az effektív áramerősség megnégyszerezését vonja maga után.

[9 pont]

2. Mikrohullámok

a) Adja meg, miben különböznek egymástól a longitudinális és transzverzális hullámok. Magyarázza meg, hogyan lehet kísérletileg megvizsgálni, hogy a mikrohullámok melyik kategóriába tartoznak. [6 pont]

b) Írjon le egy eljárást az álló mikrohullámok létrehozására és magyarázza meg, hogyan lehet ennek segítségével a hullámhosszat meghatározni. [6 pont]

2,6 cm hullámhosszúságú mikrohullám érkezik két függőleges párhuzamos résre. A rések közepe közti távolság 6,0 cm. Elegendően nagy távolságra a kettős rés középpontja körül vízszintesen forgatható vevődipól található.

c) Számítsa ki azt a szöveget, amelyet a két elsőrendű vételi maximum egymással bezár. [4 pont]

d) Hány maximum léphet összesen fel? [6 pont]

Ha egy d vastagságú üvegtéglátetet helyezünk a felső rés elé, akkor a nullarendű maximum az eredeti irányhoz képest α szöggel eltolódik (l. ábra). A mikrohullámok az üvegben kisebb (c') sebességgel terjednek mint a vákuumban.

Nullarendű maximum jön létre, ha a szomszédos részhullámoknak útjuk megtételéhez ugyanannyi időre van szükségük.

e) Az $E \rightarrow D$, valamint $A \rightarrow B \rightarrow C$ utakhoz tartozó futamidők segítségével vezesse le a nullarendű interferenciamaximum alábbi feltételét:

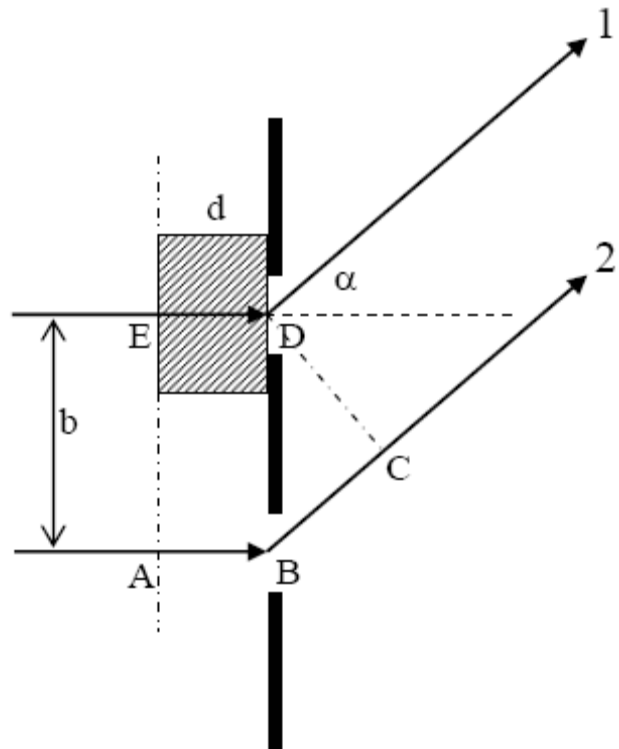
$$\frac{d}{c'} = \frac{d + b \sin \alpha}{c}.$$

[7 pont]

f) 3,0 cm vastagságú üvegtéglátet

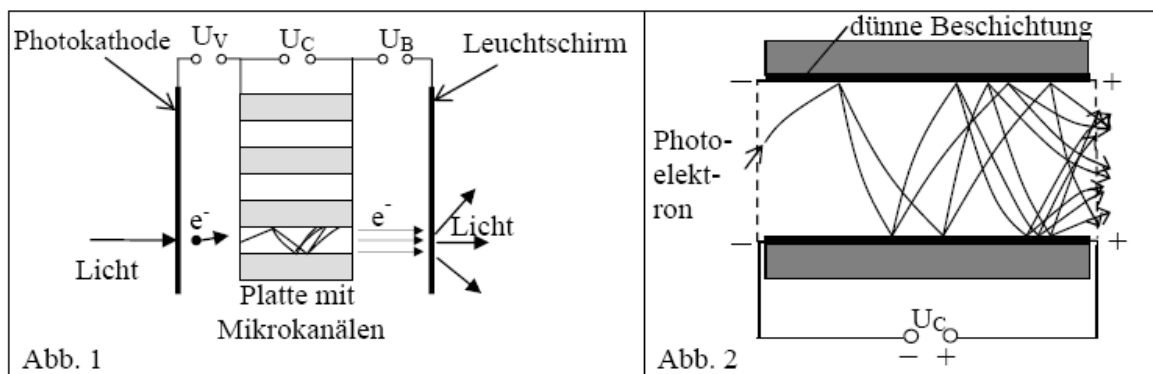
alkalmazásakor a nullarendű maximumot $\alpha = 35^\circ$ -nál mérjük. Számítsa ki ebből a c' terjedési sebességet az üvegben!

[5 pont]



L Ph 3

1. Maradék-fény-erősítő (Éjjellátó-készülék)



A bal oldali ábrán (Abb. 1) egy maradék-fény-erősítő felépítésének sematikus képe látható: a tárgyról beeső maradék-fény a fotókatódban elektronokat vált ki. Ezek az elektronok ezt követően elérnek egy úgynevezett mikrocsatorna-lemezt és ott a másodlagos elektronok egész lavináját hozzák létre (jobb oldali ábra, Abb. 2). Ezeket egy világítóernyő felé gyorsítják, ahol megérkezésükkor az atomok gerjesztésével fénykvantumok kibocsátását idézik elő. A felerősített kép a világítóernyőn megfigyelhető.

a) Magyarozza el a fotóeffektust a fény kvantumelmélete segítségével! Adja meg a fotóeffektusnál előforduló, a klasszikus hullámelmélettel való ellentmondásokat!

[7 pont]

Az 1,7 eV kilépési munkájú ólomszulfid fotókatódra 450 nm hullámhosszúságú monokromatikus fény bocsátanak $1,70 \cdot 10^{-8}$ W teljesítménnyel. Ennek során a „kvantumzákmány” 10 %, vagyis a beérkező fotonok 10,0 %-a vált ki mindenkor egy elektront.

b) Számítsa ki az alkalmazott fotókatód határhullámhosszát! Indokolja, miért alkalmazhatók nagyon rosszul a látható fény erősítésére szolgáló erősítőkben mind az 1,70 eV kilépési munkánál lényegesen nagyobb ill. lényegesen kisebb kilépési munkájú anyagok! Miért kell az anyag kvantumzákmányának lehetőleg nagyoknak lennie?

[8 pont]

c) Határozza meg a másodpercenként kibocsátott fotóelektronok számát! Milyen értékek között mozog a fotókatód közvetlen közelében a kibocsátott fotóelektronok mozgási energiája?

[8 pont]

A fotóelektronokat felgyorsítják ($U_v = 40$ V), majd azok az egymáshoz szorosan csomagolt üvegcsövecskékből álló mikro-csatorna lemezbe jutnak. Ezek belső oldalát vékony, elektromosan gyenge vezető réteg borítja. Az elektronokat a csövek hosszában felgyorsítják és így kaszkádszerűen másodlagos elektronokat váltanak ki, vagyis az elektronok száma a csatorna végéig megsokszorozódik (l. jobb oldali ábra, Abb. 2).

d) Leegyszerűsítve a mikro-csatornában lezajló folyamatokat a következőképpen tekinthetjük: egy 40 eV-os elektron a csatorna falának ütközve leadja mozgási energiáját és ennek során egy további elektront vált ki. Ezután mindkét elektron ismét gyorsul. 40 V potenciálkülönbség átrepülése után mindegyik elektronnak van annyi energiája, hogy egy további elektront váltson ki. Ezen feltétel alapján becsülje meg,

legalább mekkora U_c feszültségre van ahhoz szükség, hogy egyetlen, a csatornába belépő elektron átlagosan 10^4 kilépő elektront eredményezzen! [6 pont]

- e) Adjon meg egy lehetséges okot arra, miért kell a mikro-csatornákban lévő rétegnek elektromosan enyhén vezetőnek lennie! [3 pont]
- f) Mekkora összfényerősítést lehet a leírt készülékkel elérni 450 nm hullámhosszúságú fény esetén, ha a készülék a d) részfeladat U_c feszültségével üzemel? [4 pont]

2. Világító anyagok

Fénycsövek alacsony nyomású gázkisülési lámpák, amelyeket gyakran higanygőzzel töltenek. Üzem közben a higanyatomok többek között ultraviola-sugárzást bocsátanak ki.

- a) Magyarozza meg röviden, hogyan jön létre ez a sugárzás! [4 pont]

A fénycsövek bevonatán olyan molekulák találhatók, amelyek a higanyatomok UV-sugárzását látható fénné alakítják át. A világító anyag molekuláinak gerjesztett állapotai jó közelítéssel az egydimenziós potenciálgödör modelljével írhatók le.

- b) Magyarozza el az elektron modelljét a végtelen mély, egydimenziós potenciálgödörben és mutassa meg, hogy ebben a modellben az energianívók az

$$E_n = \frac{h^2}{8m_e L^2} \cdot n^2 \text{ összefüggéssel írható le, ahol } L \text{ a potenciálgödör hossza! [7 pont]}$$

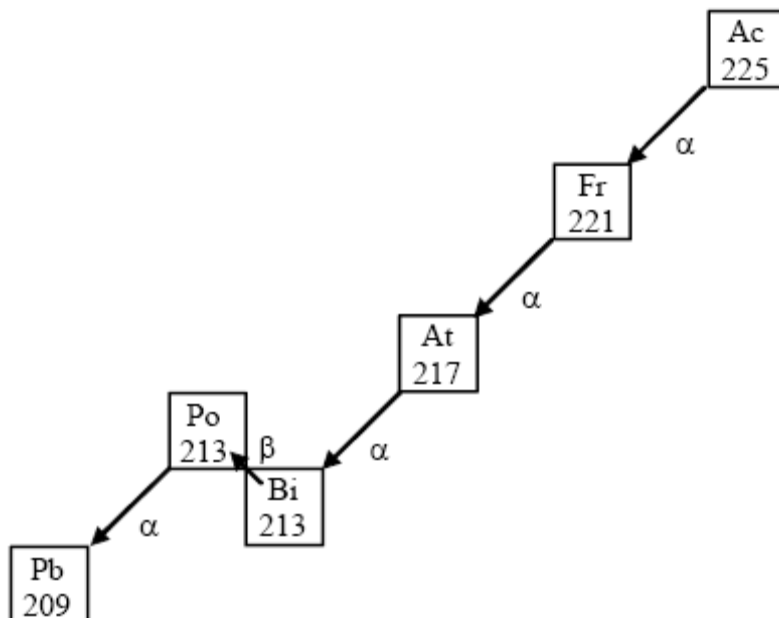
253 nm hullámhosszúságú ultraviola sugárzás a világítóanyag molekuláját alapállapotból a második gerjesztett állapotba juttatja.

- c) Igazolja, hogy a potenciálgödör hossza $7,83 \cdot 10^{-10}$ m! [6 pont]
- d) Rajzolja fel a világítóanyag molekulájának energiaszint-sémáját (energia eV-ban) a második gerjesztett állapotig és mutassa meg, hogy a látható fénné való átalakulás lehetséges! [7 pont]

L Ph 4

1. Rákos sejtek elpusztítása ^{213}Bi Bizmut-izotóppal

Bizonyos típusú rákos megbetegedések gyógyítására a rövid hatótávolságú α -sugárzás rendkívül alkalmas. Különös szerepe van ezekben az eljárásokban a ^{213}Bi Bizmut-izotópnak, amely rátapadva bizonyos antitestekre közvetlenül a rákos sejtekhez jut el.



Miként a fenti ábra mutatja, ^{213}Bi az ^{225}Ac actinium-izotópból nyerhető (felezési idő $T_{Ac} = 10$ d). ^{225}Ac pedig a ciklotronokban előállított energiadús protonok segítségével ^{226}Ra -ból hozható létre.

- Egy ábra segítségével írja le, hogyan működik a ciklotron és magyarázza meg, hogyan lehetséges az, hogy a részecskék gyorsításához állandó frekvenciájú váltófeszültséget használnak! [7 pont]
 - Írja fel az ^{225}Ac -nak ^{226}Ra -ból való előállításához tartozó magreakció egyenletét! Adja meg mind a kiindulási maghoz, mind pedig a reakciótermékhez, hogy melyik bomlási sorhoz tartoznak és indokolja meg, miért fordul elő ^{226}Ra a természetben, míg ^{225}Ac egyáltalán nem! [7 pont]
 - Meddig kell a ^{226}Ra -célpontot protonokkal besugározni, hogy egy $5,0 \cdot 10^9$ Bq-es ^{225}Ac -aktivitás jöjjön létre, ha a protonsugár áramerőssége $100 \mu\text{A}$ és a protonok 1,2 %-a hozza létre a kívánt magreakciót? [7 pont]
- A ^{213}Bi nuklid szinte kivétel nélkül $T_{Bi} = 46$ perces felezési idővel, β -bomlással az α -sugárzó ^{213}Po -má alakul át, melynek felezési ideje $T_{Po} = 4,2 \mu\text{s}$. Az α -részek mozgási energiája $E_{\alpha} = 8,38$ MeV .
- A ^{213}Bi -ot az antitestek a mintegy $2 \cdot 10^{-4}$ m átmérőjű rákos sejtekbe szállítják. A testszövetben a β -sugárzás hatótávolsága néhány mm, az α -részecske μm -enként mintegy 100 keV-ot veszít. Mutassa meg, hogy a ^{213}Bi -bomlás következtében fellépő α - és β -sugárzás a környező szövetet összességében gyengén terheli, míg a rákos sejt az α -sugárzás révén erősen sérül! [7 pont]
 - Számítsa ki a ^{213}Po szóban forgó Q bomlási energiáját és magyarázza meg kvalitatív módon a számított értéknek az E_{α} mozgási energiától való eltérését! [6 pont]

- f) Klasszikus becslés szerint a ^{213}Po -bomlásakor a mag felszínéről leváló és elektromosan eltaszított α -részecskének kereken 22 MeV mozgási energiájának kellene lennie. Alkalmos modell segítségével magyarázza meg, hogy valójában miért ennél lényegesen kisebb α -energiák lépnek fel! A modell segítségével indokolja meg, hogy az α -sugárzó anyagok rendszerint annál nagyobb felezési idővel rendelkeznek, minél kisebb a bomlási energiájuk. [7 pont]

2. Kőzetminta kormeghatározása

A kálium-argon módszer alkalmas kőzetminták kormeghatározására. Az $1,28 \cdot 10^9$ a felezési idejű ^{40}K bomlásakor a bomlások 10,7 %-a a stabil ^{40}Ar -t hozza létre, míg a többi esetben stabil ^{40}Ca keletkezik. A kőzet felmelegedésekor (pl. vulkáni tevékenység következtében) a keletkezett argon elillan. A kőzet megszilárdulása utáni időpontban keletkező argon elzárul a kőzet belsejében és radioaktív órát indít el.

Egy vulkáni kőzetből származó próba esetén először a benne lévő ^{40}K (atomtömeg $m_a = 39,96 \text{ u}$) tömegét 2,18 mg-nak mérik. Ezt követően erős hevítéssel kivonják a próbában lévő ^{40}Ar -t és megméri annak tömegét, amelyre 184 μg adódik.

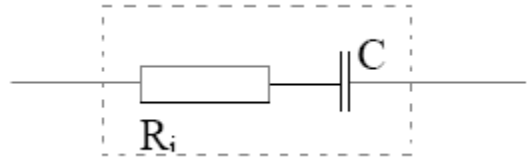
- a) Milyen korú a kőzetminta? [10 pont]
- b) Túlságosan fiatalnak vagy túlságosan öregnek besülnének a mintát, ha a ^{40}Ar a vulkáni tevékenység révén nem távozott volna el teljesen? Indokolja választát! [4 pont]
- c) A Föld légköre az ismert arányokban az alábbi izotópok formájában tartalmaz argont: ^{36}Ar , ^{38}Ar és ^{40}Ar . Ennélfogva fennáll az a veszély, hogy a kormeghatározás rossz lesz, amennyiben a kőzet az idők során ^{40}Ar -t vett fel a levegőből. Magyarázza meg, hogyan lehet elkerülni ezt a problémát a próbából származó argon tömegspektroszkópiai vizsgálata segítségével! Milyen feltétel teljesülését vesszük ennek során alapul? [5 pont]

L Ph 5

1. Power-kondenzátor

Az autóban a 12 V-os üzemi feszültség stabilizálására a rövid ideig tartó megnövekedett áramfelhasználás esetén power-kondenzátort használnak. A kondenzátor előállításakor többek között nagy hangsúlyt fektetnek a nagy w_e energiasűrűsége:

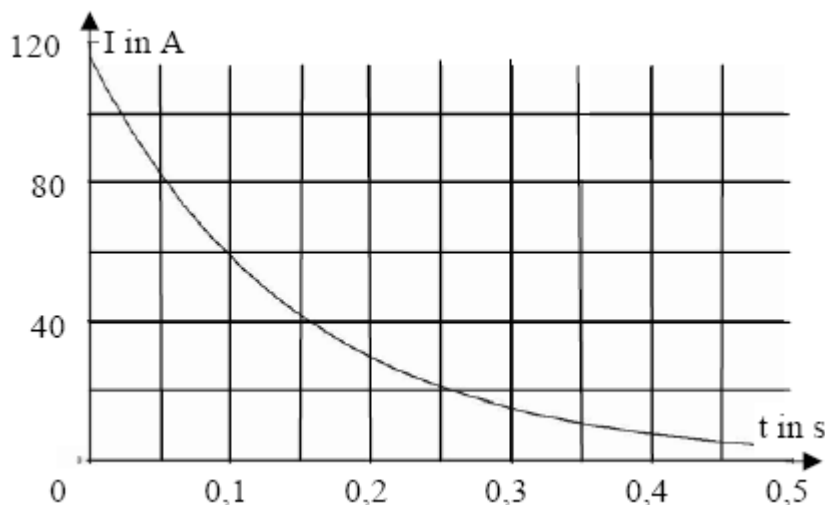
$$w_e = \frac{\text{tárolt elektromos energie}}{\text{kondenzátor térfogata}}.$$



A kondenzátor adatai: henger alakú (átmérő $d = 8,0$ cm , magasság $h = 28$ cm), kapacitás $C = 1,50$ F , belső ellenállás $R_i = 2,0$ m Ω , töltőfeszültség $U = 12,0$ V).

- a) Mekkora a teljesen feltöltött kondenzátorban tárolt energia és az energiasűrűség? [5 pont]
- b) Mekkora kellene választani a kör alakú lemezekből álló kondenzátor D átmérőjét, ha annak belsejét levegő tölti ki, lemezeinek d' távolsága 1,0 mm és kapacitása szintén 1,50 F nagyságú? Mekkora lenne az elektromos mező energiasűrűsége ennek a síkkondenzátornak a belsejében 12,0 V feszültség esetén? [5 pont]

A feltöltött Power-kondenzátort egy terhelő ellenálláson (R_a) keresztül kisütjük. Az alábbi diagramm a kisülési áramerősséget mutatja az idő függvényében.

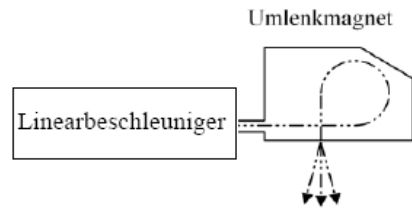


- c) A diagrammról olvassa le a kisülési áram nagyságát a $t_1 = 0$ és $t_2 = 0,30$ s között 50 ms-onként! Készítsen megfelelő értéktáblázatot és rajzolja fel a $t - \ln\left(\frac{I(t)}{I_0}\right)$ -diagrammot! [7 pont]
- d) A kisülési folyamatot az $I(t) = I_0 e^{-kt}$ függvény írja le, ahol $k = \frac{1}{(R_a + R_i)C}$. Hogyan erősíthető meg ez az összefüggés az 1c) feladatban kapott diagramm segítségével? Határozza meg a diagramm a k állandó értékét és számítsa ki R_a értékét! [Ellenőrzésül: $R_a = 96$ m Ω] [6 pont]

- e) Adjon becslét annak az elektromos energiának a nagyságára, amelyet a Power-kondenzátor az első 50 ms-ben a kisülés során lead. [4 pont]

2. Sugárterápia

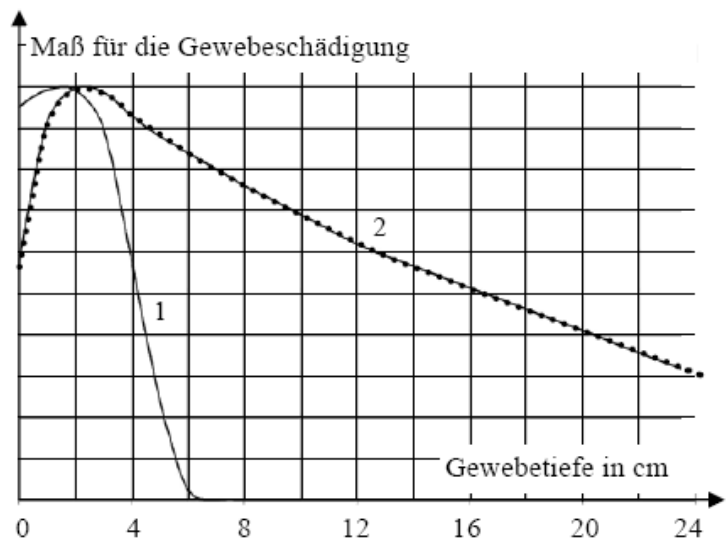
Daganatok sugárterápiájához modern lineáris gyorsítókat alkalmaznak nagyenergiájú sugárzás előállítására. Ennek során elektronokat 10,0 MeV mozgási energiára gyorsítanak, majd eltérítő mágnes segítségével a daganatra irányítva besugároznak.



- a) Határozza meg az elektronok sebességének a fénysebességtől való százalékos eltérését! [7 pont]
- b) Adjon becslést a mágneses indukció nagyságára az eltérítő mágnesben, ha annak geometriai kiterjedése 1 m nagyságrendű! [6 pont]
- Amennyiben az eltérítő mágnesből kilépő elektronok útjába fém targetet (célt) helyeznek, akkor besugárzás céljára nagyenergiájú fotonok (ultra-kemény röntgensugárzás) állíthatók elő.

- c) Magyarozza meg ezeknek a fotonoknak a keletkezését és határozza meg hullámhosszuk alsó határát! [5 pont]

A mellékelt diagramm a szövetkárosodás mértékét mutatja a szövetbe való behatolás mélységének függvényében nagyenergiájú elektronok (1), ill. ultrakemény röntgensugárzás (2) esetén. A szövetkárosodás növekedése egy bizonyos mélységig ultrakemény röntgensugárzás esetén lényegében a Compton-effektus következményeként megjelenő energiában gazdag elektronok megjelenésére vezethető vissza.



- d) Magyarozza meg röviden a Compton-effektusnál fellépő fizikai folyamatokat! [4 pont]
- e) Számítsa ki azt a maximális mozgási energiát, amelyet egy kezdetben nyugvó elektron a Compton-effektus révén 8,0 MeV fotonenergia esetén kaphat! [7 pont]
- f) Sugárterápia esetén mindig egészséges szövet is károsodik. Milyen kijelentések tehetők a terápiás hatékonyság, valamint a lehetséges mellékhatások tekintetében a két sugárzás esetén a fentebbi diagramm alapján? [4 pont]