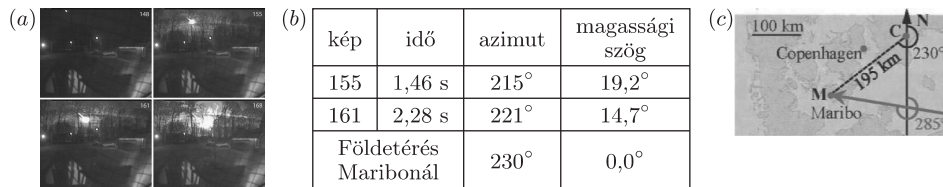


1. feladat. A Maribo-meteorit

Bevezetés. A meteoroid egy kisbolygóból vagy üstökösből kiszakadó kisméretű test (mérete kisebb 1 méternél). A talajba csapódott meteoroidot meteoritnak nevezzük.

2009. január 17-én este a Balti-tenger közelében sok ember látta egy meteoroid izzó csóváját (tűzlabdáját), ahogy áthalad a Föld légkörén. Svédországban egy biztonsági kamera videófelvételt készített az eseményről, amit az 1(a). ábra mutat. A fényképek és szemtanúk beszámolóai alapján szűkíteni lehetett a becsapódás helyét, és hat héttel később a dániai Maribo város szomszédságában megtalálták a 0,025 kg tömegű meteoritot, amit azóta *Maribonak* neveznek. A Maribon végzett mérések, és égi pályájának vizsgálata érdekes eredményt mutat. A meteoroid kivételesen nagy sebességgel hatolt be a légkörbe. A kora $4,567 \cdot 10^9$ év, ami azt mutatja, hogy röviddel a Naprendszer születése után keletkezett. A Maribo-meteorit esetleg az *Encke-üstökös* része volt.

A Maribo sebessége. A tűzgolyó közel nyugati irányban, az északi iránnyal 285° -os szöget bezárva repült a becsapódás helye felé, ahol később megtalálták, ahogy az 1. ábrán látható. A meteoritot a biztonsági kamerától 195 km-re, az északi irányhoz képest 230° -os szögben találták meg.



1. ábra. (a) A svédországi biztonsági kamera által készített képek sorozata a Maribo mozgását mutatja, ahogy tűzgömbként áthalad a légkörön. (b) A két fényképet jellemző adatok: idő, azimut (fokokban, ahogy a C pontban lévő kamera felől látni), és a magassági szög (szintén fokokban). Az azimut a horizont síkjában az északi iránytól az órajárással egyezően bezárt szög. A magassági szög a horizont síkjával bezárt szög. (c) Vázlat a Maribo mozgásának (az ábrán nyíllal jelölt) irányáról az északi irányhoz (N) viszonyítva és a dániai landolás helye (M), ahogy a kamera (C) látta.

(Lásd még a hátsó belső borító színes fényképeit!)

1.1. A fentiek, valamint az 1. ábra adatainak a felhasználásával határozd meg a Maribo-meteoroid átlagsebességét a 155. és a 161. képkocka között eltelt időtartamra! A Föld felszínének görbülete és a meteoroidra ható gravitációs erő elhanyagolható. (1,3 pont)

Megolvasd-e az atmoszférában? A meteoroid levegőben való mozgása miatt a felső légkörben fellépő súrlódást bonyolult formula írja le. A közegellenállási erő függ a meteoroid levegőhöz viszonyított sebességétől, valamint a légkör hőmérsékletétől és sűrűségétől. Elfogadható közelítést ad a légkör felső részében a közegellenállási erőre az $F = k \rho_{\text{atm}} A v^2$ kifejezés, ahol k egy állandó (közegellenállási együttható), ρ_{atm} a légkör sűrűsége, A a meteoroid sebességre merőleges keresztmetszete, és v a sebessége.

A következő egyszerűsítő feltevések felhasználásával vizsgáljuk a meteoroidot: amikor behatol a légkörbe a test, gömb alakú, tömege $m_M = 30$ kg, sugara $R_M = 0,13$ m, hőmérséklete $T_0 = 200$ K, és a sebessége $v_M = 2,91 \cdot 10^4$ m/s. A légkör sűrűsége állandó (a Föld felszíne felett 40 km magasságban), $\rho_{\text{atm}} = 4,1 \cdot 10^{-3}$ kg/m³, és a közegellenállási együttható $k = 0,60$.

1.2a. Becsüld meg, hogy a meteoroid légkörbe való behatolását követően mennyi idő múlva változik a sebessége 10%-nyit, azaz csökken v_M -ről 0,90 v_M -re. A gravitációs erő meteoroidra való hatását elhanyagolhatod, és felteheted, hogy a meteoroid alakja és tömege nem változik. (0,7 pont)

1.2b. Számold ki, hányszor nagyobb a légkörbe hatoló meteoroid E_{kin} mozgási energiája a teljes megolvasztásához szükséges E_{olv} energiánál! (Az adatokat a mellékelt táblázatból¹ keresd ki)! (0,3 pont)

A Maribo melegedése a légkörön való áthatolás alatt. Amikor a Maribo-meteoroidkő (röviden: kő) szupersonikus sebességgel elérte a légkört, akkor egy tűzgömbnek látszott, mert a körülötte levő levegő felizzott. Ennek következtében a Maribo csak a legkülső, felszíni rétegén keresztül vett fel hőt. Tekintsük a Maribot egy homogén gömbnek, amelynek sűrűsége $\rho_{k\delta}$, fajhője $c_{k\delta}$ és hővezetési tényezője $k_{k\delta}$ (az adatokat a táblázatból keresd ki)! Továbbá, a légkörbe lépéskor a meteoroid hőmérséklete $T_0 = 200$ K volt. A súrlódás miatt a meteoroid felszíni hőmérséklete a légkörben való esés alatt állandó $T_s = 1000$ K. Ennek következtében a meteoroid belseje is fokozatosan felmelegszik.

Miután a légkörben már t ideig esett, a Maribo felszínén egy x vastagságú réteg hőmérséklete válik T_0 -nál jóval melegebbé. Ez a vastagság *dimenzióanalízis* segítségével megbecsülhető. Feltételezhető, hogy a vastagság nagyságrendje egyszerűen a termodinamikai paraméterek ismeretlen hatványainak szorzata, azaz $x \approx t^\alpha \rho_{k\delta}^\beta c_{k\delta}^\gamma k_{k\delta}^\delta$.

1.3a. Dimenzióanalízis segítségével határozd meg az α , β , γ és δ kitevők értékét! (0,6 pont)

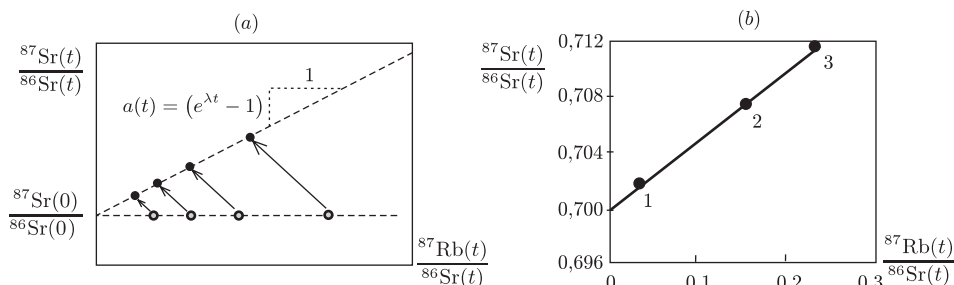
1.3b. Ez alapján számold ki, hogy mekkora az x vastagság $t = 0,5$ s idővel a légkörbe történő belépés után, valamint határozd meg az x/R_M arányt! (0,4 pont)

A meteorit kora. A radioaktív izotópok kémiai tulajdonságai különbözhetnek, és így egy adott meteoritban az ásványok kristályosodása során egyes kristályszemcsékben bizonyos radioaktív izotópok koncentrációja magasabb,

¹ A táblázat a feladatsor végén található.

másokban alacsonyabb. Ez a különbség lehetővé teszi a meteorit korának meghatározását a radioaktív ásványtartalmának elemzésével.

Konkrét példaként vizsgáljuk a ^{87}Rb izotóp (37-es rendszámú elem) bomlását, amelynek felezési ideje $T_{1/2} = 4,9 \cdot 10^{10}$ év, és végterméke a ^{87}Sr stabil izotóp (38-as rendszámú elem). Ennek mennyiségét viszonyítjuk a meglevő, ugyancsak stabil ^{86}Sr izotóphoz. Az ásványok kristályosodásakor a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ arány minden ásványszemcsében azonos volt, míg a $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ arány különbözött. Az idő múlásával azonban a ^{87}Rb izotóp mennyisége csökkent, és ennek következtében a ^{87}Sr izotóp mennyisége nőtt. Így az ásványszemcsékben mostanra a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ arány különbözővé vált. A 2. ábra vízszintes tengelyein a kristályosodás időpontjában fennállt $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ arány van feltüntetve.



2. ábra. (a) A különböző ásványszemcsékben fennálló $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ arány a kristályosodás $t = 0$ időpontjában (üres körök), illetve jelenleg (tele körök). (b) A meteorit három ásványszemcséjében mért, a jelenlegi adatokra illeszkedő egyidejűségi vonal

1.4a. Írd le a ^{87}Rb izotóp ^{87}Sr -ra való bomlásának egyenletét! (0,3 pont)

1.4b. Mutasd meg, hogy ugyanabból a meteoritból, különböző ásványi szemcsékből származó minták esetén egyenest kapunk, ha a jelenlegi $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ arányt a jelenlegi $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ arány függvényében ábrázoljuk! Ezt az egyenest egyidejűségi vonalnak nevezzük. Mutasd meg továbbá, hogy az egyidejűségi vonal meredeksége $a(t) = (e^{\lambda t} - 1)$, ahol t a kristályosodás óta eltelt idő, λ pedig a bomlási állandó, amely fordítottan arányos a $T_{1/2}$ felezési idővel! (0,7 pont)

1.4c. Határozd meg a meteorit τ_M életkorát az 2(b). ábrán látható egyidejűségi vonal alapján! (0,4 pont)

Az Encke-üstökös, ahonnan a Maribo-meteorit származhat. A Nap körül keringő Encke-üstökös Naptól mért legnagyobb és legkisebb távolsága:

$$a_{\min} = 4,95 \cdot 10^{10} \text{ m} \quad \text{és} \quad a_{\max} = 6,16 \cdot 10^{11} \text{ m}.$$

1.5. Számítsd ki az Encke-üstökös t_{Encke} keringési idejét! (0,6 pont)

Aszteroida-beccapódás hatása a Földre. 65 millió évvel ezelőtt egy óriási aszteroida csapódott a Földbe. Az aszteroida sűrűsége $\rho_{\text{aszt.}} = 3,0 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$, sugara $R_{\text{aszt.}} = 5,0 \text{ km}$ és beccapódási sebessége $v_{\text{aszt.}} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ m/s}$ volt. Ez a beccapódás a földi élet nagy részének kihalását eredményezte, és létrehozta a hatalmas Chicxulub krátert. Képzeld el, mi történne, ha ma ütközne tökéletesen rugalmatlanul egy ugyanilyen aszteroida a Földnek. Tudjuk, hogy a Föld tehetetlenségi nyomatéka 0,83-szor akkora, mint egy ugyanolyan tömegű és sugarú homogén gömbé. Az M tömegű, R sugarú homogén gömb tehetetlenségi nyomatéka $(2/5)MR^2$. Az ütközéskor a Föld pályájának változásától tekintsünk el.

1.6a. Tegyük föl, hogy az aszteroida az északi póluson csapódik be. Határozd meg a Föld forgástengelyének maximális lehetséges szögeltérülését a beccapódás után! (0,7 pont)

1.6b. Tegyük föl, hogy az aszteroida az Egyenlítőre csapódik be radiális (függőleges) irányból. Határozd meg a Föld forgási periódusának $\Delta\tau_{\text{függ.}}$ megváltozását az ütközés után! (0,7 pont)

1.6c. Tegyük föl, hogy az aszteroida az Egyenlítőre csapódik be a felszínt érintő (vízszintes) irányból, az Egyenlítő síkjában. Határozd meg Föld forgási periódusának $\Delta\tau_{\text{érintő}}$ megváltozását az ütközés után! (0,7 pont)

Maximális beccapódási sebesség. Tekintsünk egy olyan égitestet, amely gravitációsan kötött a Naprendszerhez, és $v_{\text{becc.}}$ sebességgel beccapódik a Föld felszínére! Kezdetben elhanyagolhatjuk a Földnek a testre gyakorolt gravitációs hatását. Tekintsünk el továbbá a légköri súrlódástól, a többi égitest hatásától és a Föld forgásától!

1.7. Határozd meg a $v_{\text{becc.}}$ beccapódási sebesség legnagyobb lehetséges $v_{\text{becc.}}^{\max}$ értékét! (1,6 pont)