

## 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, vagy tűzlabdáját, ahogy áthalad a Föld légkörén. Svédországban egy biztonsági kamera videófelvételt készített az eseményről, amit az 1.1(a) ábra mutat. A fényképek és szemtanúk beszámolóí alapján szűkíteni lehetett a becsapódás helyét, és hat héttel később a dél-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  $4,567 \times 10^9$  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  $285^\circ$ -os szöget bezárva repült a becsapódás helye felé, ahol később megtalálták, ahogy az 1.1 ábrán látható. A meteoritot a biztonsági kamerától 195 km-re, az északi irányhoz képest  $230^\circ$ -os szögben találták meg.

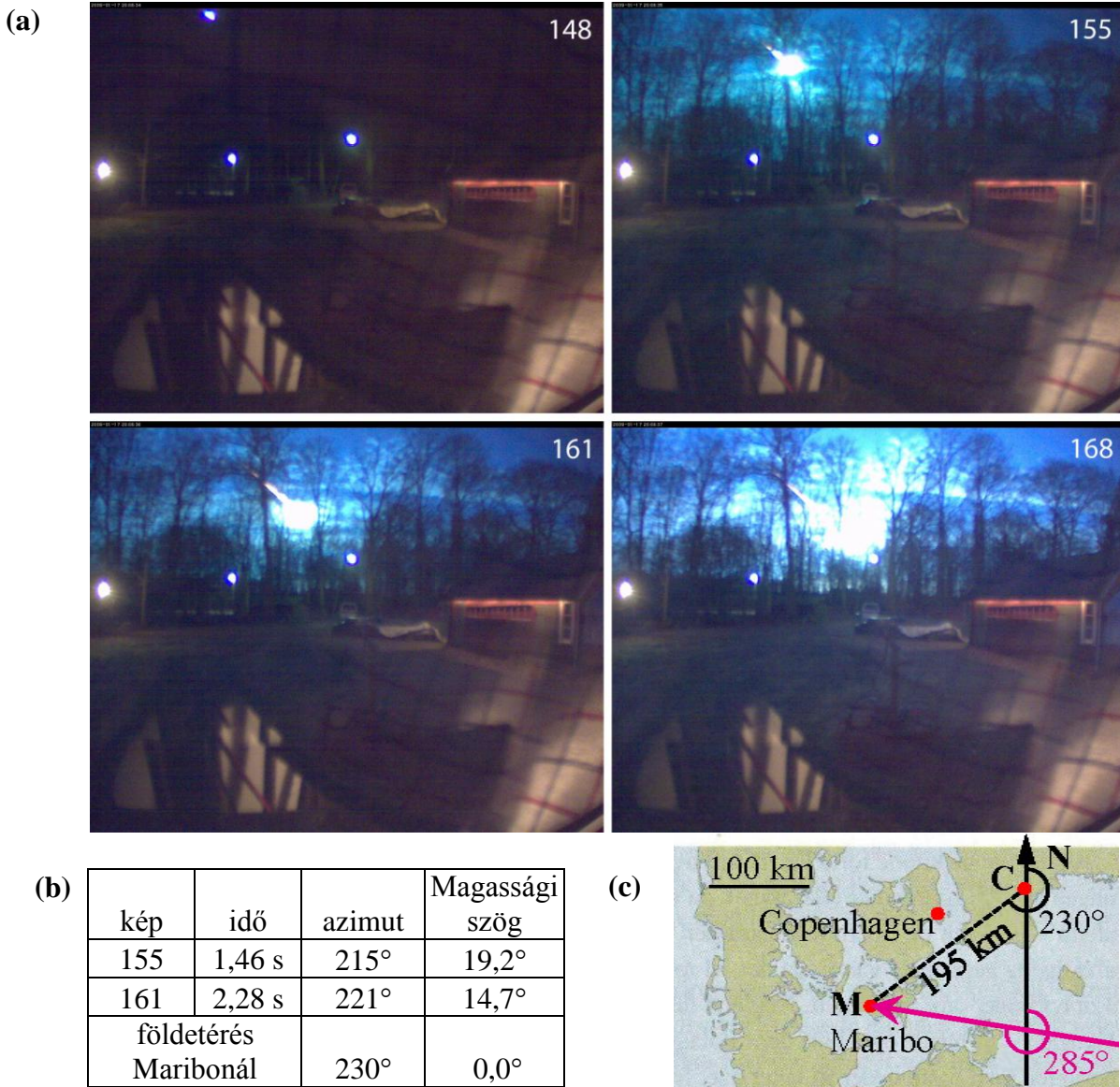
1.1	A fentiek valamint az 1.1 ábra adatainak a felhasználásával határozd meg a Maribo meteoroid átlagsebességét a 155. és a 161. képkocka között eltelt idő alatt! A Föld felszínének görbülete és a meteoroidra ható gravitációs erő elhanyagolható.	1,3
-----	---	-----

## Megolvad-e az atmoszférában?

A meteoroid levegőben való mozgása miatt fellépő súrlódást bonyolult formula írja le a felső légkörben. A közegellenállási erő függ a meteoroid levegőhöz viszonyított sebességétől, valamint a légkör hőmérsékletétől és sűrűségétől. Elfogadható közelítést ad a légkör az felső részében az  $F$  közegellenállási erőre az  $F = k\rho_{\text{atm}}Av^2$  kifejezés, ahol  $k$  egy állandó (közegellenállási együttható),  $\rho_{\text{atm}}$  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  $v_M = 2,91 \times 10^4$  m/s. A légkör sűrűsége állandó (a Föld felszíne felett 40 km magasságban),  $\rho_{\text{atm}} = 4,1 \times 10^{-3}$  kg/m<sup>3</sup>, 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
1.2b	Számold ki, hányszor nagyobb a légkörbe hatoló meteoroid $E_{\text{kin}}$ mozgási energiája a teljes megolvasztásához szükséges $E_{\text{melt}}$ energiánál (az adatokat a táblázatból keresd ki)!	0,3



**Ábra 1.1 (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 irányáról (bíbor nyíl) az északi irányhoz (N) viszonyítva és a dániai landolás helye (M), ahogy a kamera (C) látta.

## A Maribo melegedése a légkörön való áthatolás alatt

Amikor a Maribo meteoroidkő szuperszonikus 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  $\rho_{sm}$ , fajhője  $c_{sm}$ , és hővezetési tényezője  $k_{sm}$  (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.

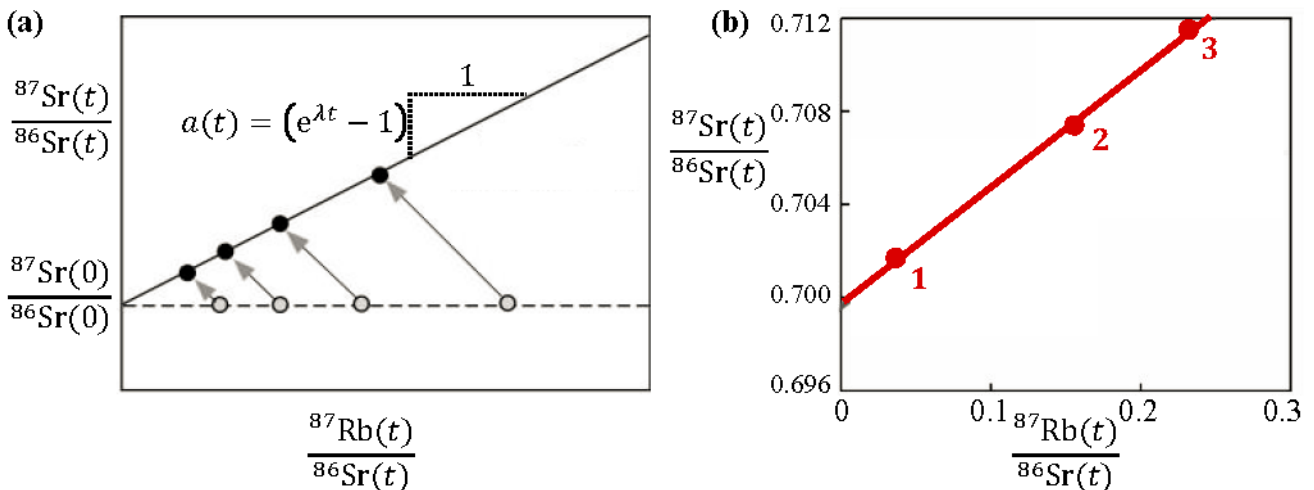
Miután a légkörben már  $t$  ideig esett, a Maribo felszínén egy  $x$  vastagságú réteg hőmérséklete válik  $T_0$ -nál jóval melegebbé. Ez a vastagság dimenzióanalízis segítségével megbecsülhető. Feltételezhető, hogy a vastagság nagyságrendje egyszerűen a termodinamikai paraméterek ismeretlen hatványainak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

1.3a	Dimenzióanalízis segítségével határozd meg az $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ , és $\delta$ kitevők értékét!	0,6
1.3b	Ez alapján számold ki az $x$ vastagságot $t = 5$ s idővel a légkörbe lépés után, valamint határozd meg az $x/R_M$ arányt!	0,4

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

Konkrét példaként vizsgáljuk a  $^{87}\text{Rb}$  izotóp (37-es rendszámú elem) bomlását, amelynek felezési ideje  $T_{1/2} = 4,9 \times 10^{10}$  év, és végterméke a  $^{87}\text{Sr}$  stabil izotóp (38-as rendszámú elem). Ennek mennyiségét viszonyítjuk a meglévő, ugyancsak stabil  $^{86}\text{Sr}$  izotóphoz. Az ásványok kristályosodásakor a  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  arány minden ásványzsemcsében azonos volt, míg a  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  arány különbözött. Az idő múlásával azonban a  $^{87}\text{Rb}$  izotóp mennyisége csökkent, és ennek következtében a  $^{87}\text{Sr}$  izotóp mennyisége nőtt. Így az ásványzsemcsékben mostanra a  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  arány különbözővé vált. Az 1.2(a) ábrán a vízszintes tengelyén a kristályosodás időpontjában fennállt  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  arány van feltüntetve.



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

1.4a	Írd le a ${}^{87}_{37}\text{Rb}$ izotóp ${}^{87}_{38}\text{Sr}$ -ra való bomlásának egyenletét!	0,3
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, $\lambda$ pedig a bomlási állandó, amely fordítottan arányos a $T_{1/2}$ felezési idővel!	0,7
1.4c	Határozd meg a meteorit $\tau_M$ életkorát az 1.2(b) ábrán látható egyidejűségi vonal alapján!	0,4

## Az Encke-üstökös, ahonnan a Maribo meteorit származhat

A Nap körül keringő Encke-üstökös Naptól mért legnagyobb és legkisebb távolsága:  $a_{\min} = 4,95 \times 10^{10}$  m és  $a_{\max} = 6,16 \times 10^{11}$  m.

1.5	Számítsd ki az Encke-üstökös $t_{\text{Encke}}$ keringési idejét!	0,6
-----	---	-----

## Aszteroida-becsapódás hatása a Földre

65 millió évvel ezelőtt egy óriási aszteroida csapódott a Földbe, amelynek sűrűsége  $\rho_{\text{ast}} = 3,0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ , sugara  $R_{\text{ast}} = 5,0 \text{ km}$  és becsapódási sebessége  $v_{\text{ast}} = 2,5 \times 10^4 \text{ m/s}$  volt. Ez a becsapódás 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 tehetlenségi nyomatéka 0,83-szor akkora, mint egy ugyanolyan tömegű és sugarú homogén gömbé. Az  $M$  tömegű,  $R$  sugarú homogén gömb tehetlenségi nyomatéka  $\frac{2}{5}MR^2$ . Az ütközéskor a Föld pályájának változásától tekintünk el.

1.6a	Tegyük föl, hogy az aszteroida az északi póluson csapódik be. Határozd meg a Föld forgástengelyének maximális lehetséges szögeltérülését a becsapódás után!	0,7
1.6b	Tegyük föl, hogy az aszteroida az Egyenlítőre csapódik be radiális (függőleges) irányból. Határozd meg a Föld forgási periódusának $\Delta\tau_{\text{vrt}}$ megváltozását az ütközés után!	0,7
1.6c	Tegyük föl, hogy az aszteroida az Egyenlítőre csapódik be a felszín érintő (vízszintes) irányból, az egyenlítő síkjában. Határozd meg Föld forgási periódusának $\Delta\tau_{\text{tan}}$ megváltozását az ütközés után!	0,7

## Maximális becsapódási sebesség

Tekintsünk egy olyan égitestet, amely gravitációsan kötött a Naprendszerhez, és  $v_{\text{imp}}$  sebességgel becsapódik 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 $v_{\text{imp}}$ becsapódási sebesség legnagyobb lehetséges $v_{\text{imp}}^{\max}$ értékét!	1,6
-----	---	-----