

# Nemzetközi Csillagászati és Asztrofizikai Diákolimpia

## Szakkör 2020-21

### 3. Asztrofizika II.

Dálya Gergely, Benkóczy Levente, Császár Kornél, Knoch Júlia, Világos Blanka  
(Bécsy Bence, Csörnyei Géza, Kalup Csilla)

2020. október 24.

## 1. Bemelegítő feladatok

### B1. feladat

Mennyi idő alatt éri szemünket ugyanannyi fény a Vegából, mint a Napból 1 másodperc alatt?  
A Vega látszó fényessége  $m_V = 0,03^m$ , a Napé  $m_\odot = -26,74^m$ .

### B2. feladat

Határozzuk meg a Deneb ( $m = 1,25^m$ ,  $\pi = 2.29$  mas) luminozitását, ha tudjuk, hogy a Nap luminozitása  $3,846 \cdot 10^{26}$  W, abszolút fényessége pedig  $4,83^m$ !

### B3. feladat

A Nap becsült fősorozaton töltött ideje 10 milliárd év. Becsüljük meg ezt az időt egy olyan csillagra, amelynek tömege  $5 M_\odot$ !

*Tanács: Használjuk fel a tömeg-luminozitás relációt, amely szerint  $L \propto M^{3,5}$ !*

### B4. feladat

Égboltfelméréseink során meghatároztuk két, általunk érdekesnek talált fősorozatbeli csillag tömegét, mely értékek  $M_1 = 23,6 M_\odot$  és  $M_2 = 0,8 M_\odot$  voltak. Várhatóan melyik csillag fog tovább élni, illetve hányszor nagyobb a várható élettartama a másik csillagénál?

### B5. feladat

Az 1950-es években zajló rádióteleszkópos felmérések során találtak egy olyan objektumot, melyet a későbbi képalkotási felmérések során egy nem-felbontható csillagközi objektumhoz kapcsoláltak. Az objektumról később kiderült, hogy több milliárd fényévre van tőlünk, így a csillagászat egyre jobban érdekelte, vajon milyen objektummal találhatták szembe magukat.

Mivel az objektum nagy távolsága ellenére nagyon fényes volt, első közelítésben többen feltették, hogy egy nagyon nagy luminozitású csillagról lehet szó. Vizsgáljuk meg ezt az Eddington-limit segítségével!

Az Eddington-limit az a maximális luminozitás, melyet egy olyan csillagközi objektum elérhet, melyben egyensúly van a kifelé ható sugárzási nyomás és a befelé ható gravitációs erő között (ezt nevezik hidrosztatikai egyensúlynak). Ha a csillag luminozitása meghaladja az Eddington-limitet, a külső burkait egyszerűen lefújja az erős csillagszél, vagyis minden csillagtömeg esetére van egy felső luminozitási határ. Eddington-limit képlete a Nap értékeivel kifejezve:

$$L_{\text{Edd}} = 3.2 \cdot 10^4 \left( \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_{\odot}} \right) L_{\odot}.$$

Tegyük fel, hogy az objektum egy csillag. Mekkora lenne ekkor a tömege? Valóban csillagról lehet szó? Számítsd ki az objektum Schwarzschild-sugarát! Adatok:  $d = 749$  Mpc,  $m_V = 12.9$  mg.

*Megjegyzés: a kérdéses objektum tényleg létezik, katalógusszáma 3C 273*

## 2. Nehezebb feladatok

### N1. feladat

A Barnard-csillagot 2004-ben és 2014-ben is észleljük, és azt tapasztaljuk, hogy a pozíciója  $51,5''$ -cel megváltozott. Mennyi idő múlva lesz a Barnard-csillag a Naprendszerhez a legközelebb és ekkor mennyi lesz a távolsága? A Barnard csillag parallaxisa  $545,4$  mas, radiális sebessége  $-110,6$  km/s.

*Tanács: A gravitációs kölcsönhatást hanyagoljuk el, és vegyük úgy, hogy a Barnard csillag a Naprendszerből nézve egyenes vonalú egyenletes mozgást végez.*

(Előző feladatsorról)

### N2. feladat

A Vénusz  $-4,6^m$  maximális fényességével a legfényesebb bolygó. Azonban albedója mindössze  $\alpha = 0,65$ . Számítsd ki, hogy mennyi lenne a fényessége ha a rá eső fényt teljesen visszaverné, azaz ha albedója 1 lenne.

### N3 feladat

Egy fedési kettőscsillagról többszöri megfigyelések alapján megállapítottuk, hogy a rendszer fényessége  $3.52$  mg amikor nincs fedés, viszont fedésekkor a rendszer fényessége  $4.1$  illetve  $3.7$  mg. Tudjuk ezen felül, hogy az egyik csillag fluxusa  $F_1 = 42000 F_{\odot}$ , míg a másiké  $F_2 = 6500 F_{\odot}$ , ezen felül ismerjük az egyik csillagok sugarait:  $R_1 = 8R_{\odot}$ ,  $R_2 = 4.2R_{\odot}$ . A mért fénygöréből tudjuk továbbá, hogy részleges fedés történik. Határozd meg az átfedő területet! ( $R_{\odot}^2$  egységekben)

*Tipp: A nagyobb fényességcsökkenéssel járó fedésnél a fényesebb csillag lett elfedve.*

## N4. feladat

A bolygók légkörét alkotó gázcsepscik sebessége széles tartományban változik. Ha a részecskék hőmozgásból származó közepes sebessége a szökési sebesség  $1/6$  részét meghaladja, ennek a gáznak nagy része a világűrbe távozik. Ideális egyatomos gázt feltételezve mi a minimális relatív atomtömeg ( $A_{\min}$ ), ami esetén a gáz részecskéi a Titán légkörében maradnak? A Titán tömege  $M_T = 1,23 \cdot 10^{23}$  kg, sugara  $R_T = 2575$  km, felszíni hőmérséklete pedig  $T_T = 93,7$  K.

## N5. feladat

A PNLF (Planetary Nebula Luminosity Function) egy távolságmérési módszer, melynek lényege, hogy a megfigyelések szerint a környező galaxisokban a planetáris ködök fényessége felülről korlátos; azaz van egy érték amelynél a ködök nem lehetnek fényesebbek és ez az érték minden galaxisra ugyanannyi. A mérések alapján ez a maximális abszolút fényesség  $M^* = -4,48$ . Az elmélet fontos részét képezi az is, hogy a különböző galaxisokban a planetáris ködök számának abszolút fényesség szerinti eloszlása leírható az

$$N(M) \sim e^{0.307M}(1 - e^{3(M^*-M)})$$

képlettel, ahol  $M$  az abszolút magnitúdó. Ez a képlet a látszó magnitúdókra is teljesül, mivel az észlelt planetáris ködöket azonos távolságban látjuk. Azonban ekkor  $m^*$ -ba már nem helyettesíthetjük be a fent említett maximális fényességértéket. A kettő képlet között a különbség csak egy állandó értékű szorzó lesz. Ha egy galaxisra meg tudjuk határozni az  $m^*$  értéket (a maximális fényességű planetáris köd látszó fényességét), akkor ennek segítségével, és a távolságmodulus képlet használatával ki tudjuk számolni a galaxis távolságát.

Az NGC55 jelű galaxisban mérték a planetáris ködök számának fényesség szerinti eloszlásának vizsgálatokor  $m_1 = 22.90^{mg}$  fényességű planetáris ködből 3-at,  $m_2 = 23.38^{mg}$  fényességűből 5-öt észleltek. Milyen távol van a galaxis, feltételezve, hogy ezen értékek pontosan illeszkednek a galaxis PNLF függvényére?

*Tanács: A fentiek szerint arányosság áll fenn a ködszám és a függvény között, az arányossági tényező nem ismert, de egy galaxisra ugyanaz, így ha képezzük két ilyen kifejezés hányadosát, akkor ez az ismeretlen állandó ki fog esni! A két egyenletben az  $m^*$  ugyanaz.*

## 3. Diákolimpiai szintű feladatok

### D1. feladat

Legyen egy csillagrendszer olyan, hogy 1 db 1 magnitúdós, 2 db 2 magnitúdós, stb. csillag van benne egészen odáig, hogy 5 magnitúdós csillagból 5 van a halmazban. Mekkora az összfényessége a rendszernek? *Extra kérdés: Mekkora lenne a rendszer fényessége ha folytatnánk, úgy hogy  $n$  db  $n$  magnitúdós csillag van, és  $n$ -nel tartanánk a végtelenhez?*

## D2. feladat

Az M74 spirálgalaxis vizuális fényessége  $9,2^m$ . (a) Becsüljük meg a galaxis felületi fényességét, ha tudjuk, hogy a galaxisra lapjáról látunk rá és látszó átmérője  $d = 10'$ .

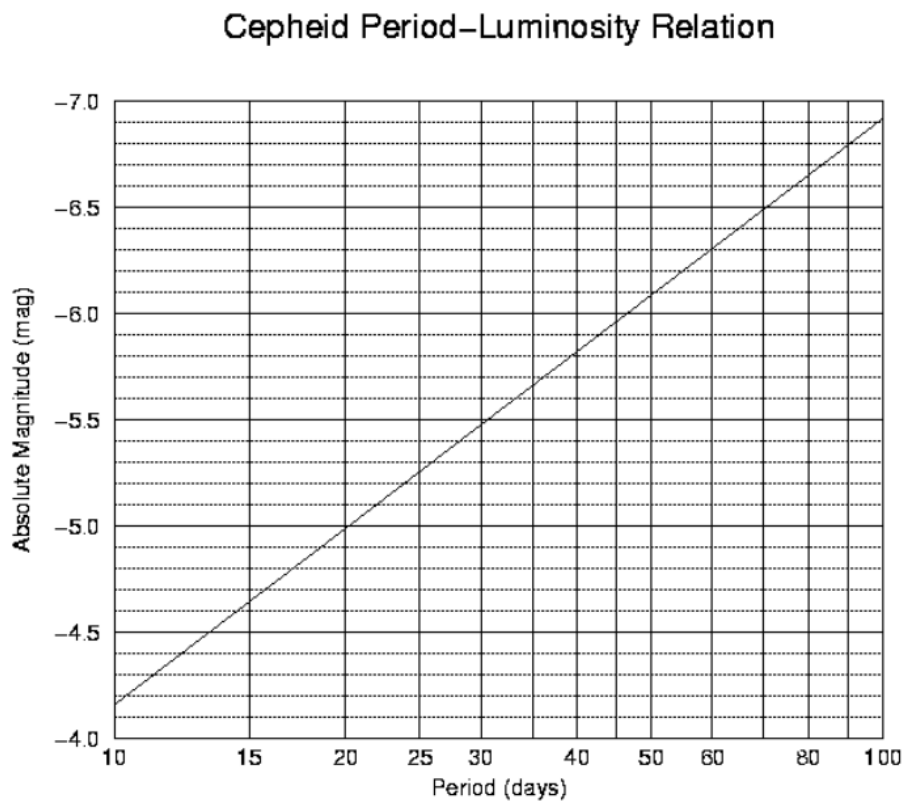
*Tanács: Tételezzük fel, hogy a galaxis fényességeloszlása egyenletes.*

(b) Tegyük fel, hogy a galaxis fényét a Napunkkal azonos felszíni hőmérsékletű csillagok sugárzása adja. Becsüljük meg ekkor, hogy a csillagok a mögöttük lévő égterület mekkora részét „takarják ki”. A nap Földről látszó szögátmérője  $30'$ , fényessége  $-26,74^m$ .

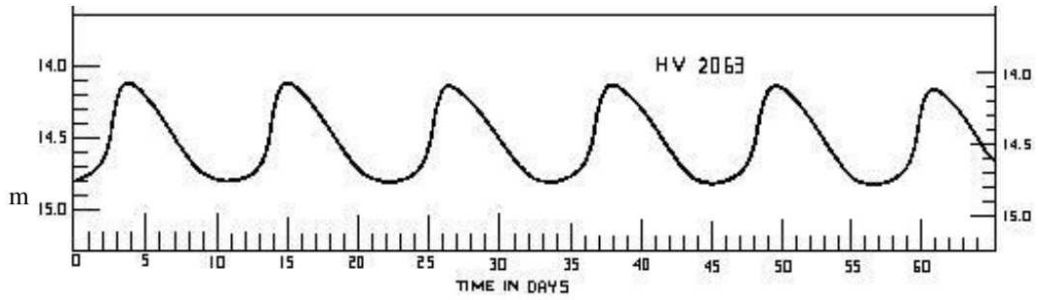
*Tanács: Gondoljuk meg, hogy a felületi fényesség hogyan függ a távolságtól.*

## D3. feladat

A 1. ábra a klasszikus cefeidákra érvényes periódus–fényesség relációt mutatja. A 2. ábrán egy Lokális Csoport-beli galaxisban észlelt cefeida fénygörbéje (látszó fényesség az idő függvényében) látható. (a) A két ábra felhasználásával becsüld meg a cefeida tőlünk mért távolságát. (b) Ismételd meg a becslést azt feltételezve, hogy a cefeida irányában a csillagközi extinkció értéke  $A = 0,25^m$



1. ábra: Periódus–luminozitás reláció



2. ábra: Fénygörbe

#### D4. feladat

Tekintsük a Napot abszolút fekete testnek! Vegyük a Vénuszt is ugyanígy, egy  $T_V$  hőmérsékletű fekete testnek, ami ráadásul hőmérsékleti egyensúly állapotában van (azaz kb. ugyanannyi energiát kap a Naptól, mint amennyit kisugároz), és legyen 0,72 CSE távolságban a Naptól! A Föld legnagyobb megközelítésekor a Vénusz látszó átmérője 66 ívmásodperc. Mekkora lesz a Vénusz fluxussűrűsége a Föld legnagyobb megközelítésekor, egy 5 GHz frekvencián érzékeny rádiótávcsővel észlelve?

*Segítség: A Rayleigh–Jeans formula (a Planck törvény nagy hullámhosszakra érvényes közelítése):*

$$B_\nu(T) = \frac{2kT\nu^2}{c^2}.$$