

Nemzetközi Csillagászati és Asztrofizikai Diákolimpia

Szakkör 2020-21

4. Kozmológia

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

2020. november 21.

1. Bemelegítő feladatok

B1. feladat

Megfigyelünk egy galaxist, aminek 0,37 a vöröseltolódása. Mennyivel nőtt meg az Univerzum, mióta a most észlelt fény elhagyta a galaxist?

B2. feladat

Vegyük a skálaparaméter mai értékét 1-nek! Mekkora volt a skálaparaméter értéke 5, illetve 10 milliárd évvel ezelőtt? Tegyük fel, hogy ezalatt az Univerzum anyagdominált volt!

B3. feladat

Milyen z^* vöröseltolódásnál láthatjuk azokat a galaxisokat amiknek a most látott fénye kibocsátásakor az Univerzumban ugyanannyi volt az anyag és a sötét energia energiasűrűsége ($\Omega_\Lambda = \Omega_m$)? A sűrűségparaméterek mai értékei: $\Omega_{\Lambda,0} \approx 0,7$, $\Omega_{m,0} \approx 0,3$, $\Omega_{r,0} \approx 0$.

B4. feladat

Az M58 galaxist észlelve azt tapasztaljuk, hogy az ionizált magnézium színképvonala 2813,26 angströmnél látható. Ugyanezen vonal laboratóriumi hullámhossza 2799,1 angström. Mekkora a galaxis látóirányú sebessége? Becsüljük meg az M58 távolságát is! Milyen galaxishalmaz tagja lehet ez alapján az M58?

2. Nehezebb feladatok

N1. feladat

Vesto Slipher 1917-es mérései alapján az NGC 3627 jelű galaxis távolodási sebessége 650 km/s. Mekkora lehet a benne lévő 27,4 látszó magnitúdójú cefeida periódusideje?

Segítség: A Hubble-űrtávcső mérései alapján a klasszikus cefeidák periódus-fényesség relációja: $M = -2,43 \cdot (\log_{10}(P) - 1) - 4,05$, ahol P a periódus napokban megadva

N2. feladat

A kozmológiai modellek szerint az Univerzumban a ρ_r sugárzási energiasűrűség $(1+z)^4$ -nel, a ρ_m anyagsűrűség pedig $(1+z)^3$ -nal arányos, ahol z a vöröseltolódás. Az Ω dimenzió nélküli sűrűségparaméter: $\Omega = \rho/\rho_c$, ahol ρ_c az Univerzum kritikus energiasűrűsége. A sugárzásnak és az anyagnak megfelelő sűrűségparaméterek mai értékei $\Omega_{r,0} = 10^{-4}$, illetve $\Omega_{m,0} = 0,3$.

1. Számítsd ki azt a z_e vöröseltolódást, amelynél a sugárzás és az anyag energiasűrűsége egyenlő!
2. Feltéve, hogy a korai Univerzumból származó sugárzás spektruma a 2,732 K hőmérsékletű feketetest-sugárzásával modellezhető, határozd meg a sugárzás T_e hőmérsékletét a z_e vöröseltolódásnál!
3. Határozd meg a z_e vöröseltolódásnál kibocsátott sugárzás fotonjainak jellemző E_ν energiáját eV-ban!

N3. feladat

A kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás spektruma olyan, mint egy fekete testé. Határozzuk meg, hogy $z = 8$ vöröseltolódásnál mekkora hőmérsékletű fekete testnek felel ez meg, ha tudjuk, hogy ma a háttérsugárzás hőmérséklete $T_0 = 2,73$ K!

N4. feladat

A Tully-Fisher távolságmérési módszer alapját a hidrogén 21 cm-es spektrumvonala alkotja. Ez a vonal a hidrogénatom elektronjának (nagyon kicsi valószínűséggel végbemenő) spinváltása folyamán jön létre. Mivel a galaxisok túlnyomó részt hidrogénből állnak, ez a vonal lehetőséget ad azok távolságának meghatározására. Ismert, hogy a tőlünk távolodó, illetve hozzánk közeledő forrásokból származó fény hullámhossza megváltozik, ez a vörös- (illetve kék-) eltolódás jelensége. Galaxisok esetében ez két részből tevődik össze: egyrészt a galaxis megfigyelőhöz képesti mozgása miatti, másrészt a galaxis forgása miatti részre. Az ismert, hogy a galaxisok (a továbbiakban spirálgalaxisokra korlátozva) forgási sebessége a centrális dudortól távolodva állandósul, a sötét anyag miatt, tehát a forgási sebességet meg tudjuk határozni a vöröseltolódásnak a galaxis mindkét oldalán történő mérésével. A forgás miatt különböző vöröseltolódások hatására a spektrumvonal kiszélesedik, 21 cm-es spektrumvonal esetén két csúcs jelenik meg. A kiszélesedést

jellemezhetjük a sáv szélességre vonatkozó W paraméterrel, melyet a következő módon írhatunk fel:

$$W = \frac{2 \Delta \lambda}{\lambda} \approx \frac{2 V_{\max} \sin i}{c}$$

ahol λ a hullámhossz, V_{\max} a forgási sebesség, i a galaxis látóirányunkhoz képesti dőlésszöge és c a fénysebesség. A Tully-Fisher reláció ezen sáv szélességek mérésén alapul: megfigyelték, hogy minél nagyobb egy galaxis abszolút fényessége, annál nagyobb ez a sáv szélesség, így a forgási sebessége is. A reláció egy tipikus alakja:

$$M = -9,5 \lg \frac{W \cdot c}{2 \sin i} + 2$$

Tehát egyszerűen a sáv szélesség, a dőlésszög és a látszó fényesség ismeretében meg tudjuk határozni a galaxis távolságát.

Határozzuk meg azon galaxis távolságát, melynek a két oldalán mért vöröseltolódás különbsége $1,18 \cdot 10^{-6}$. A galaxis tányérjára 45° -os szögben látunk rá, valamint a galaxis látszó fényessége $+10^m$. Határozzuk meg a távolságát!

3. Diákolimpia szintű feladatok

D1. feladat

A tőlünk 3 Gpc-re lévő G jelű galaxisból kimérték az F jelű galaxis távolságát és pozícióját. A számítások alapján az F a Tejútól 2,5 Gpc-re található, és onnan szemlélve az eget a G és a Tejútrendszer egymástól $65,38^\circ$ -ra látjuk. A G galaxisból az F galaxis spektrumát felvéve hol fog látszani a hidrogén α -vonala?

Segítség: A $H\alpha$ -vonal laboratóriumi hullámhossza 656,28 nm.

D2. feladat

A Voyager-1 űrszonda a Naprendszer elhagyva 17 km/s sebességgel távolodik tőlünk nagyjából a Tejútrendszer középpontja felé. Mekkora lesz a Hubble-állandó akkorra, amikor a Voyager űrszonda áthalad a Tejútrendszeren, és elhagyja azt a másik oldalon? A Tejútrendszer átmérője 30 kpc, a Naprendszer távolsága pedig 8 kpc a galaxisunk középpontjától. Tegyük fel, hogy anyagdominált az Univerzum, és az űrszonda sebessége útja során állandó!

D3. feladat

Mekkora egy sík Univerzum átlagos sűrűsége?

Segítség: A sík Univerzum átlagos sűrűsége éppen a kritikus sűrűség, vagyis az Univerzum folyamatosan tágul, de egyre lassuló ütemben. Ha nincsen ötletünk az elinduláshoz, gondoljunk a szökési sebességre!