



TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU
BİLİM İNSANI DESTEK PROGRAMLARI BAŞKANLIĞI

33. BİLİM OLİMPİYATLARI – 2025
İKİNCİ AŞAMA SINAVI

ASTRONOMİ ve ASTROFİZİK

Soru Kitapçığı Türü

A

16 Aralık 2025 Salı, 09.30 – 13.30

ADAYIN ADI SOYADI :
T.C. KİMLİK NO :
OKULU / SINIFI :

SINAVLA İLGİLİ UYARILAR:

- Bu sınav açık uçlu 10 sorudan (240 dk) oluşmaktadır.
- Sorular zorluk sırasında **değildir**. Dolayısıyla yanıtlamaya geçmeden önce bütün soruları gözden geçirmeniz önerilir.
- **Sınavda Yalnızca Mavi Tükenmez Kalem Kullanınız.**
- Okunmasını istemediğiniz kâğıtların üzerine, sayfayı kaplayacak şekilde çarpı (X) işareti çiziniz.
- Çözüm kâğıtlarınızda okunmasını istemediğiniz bölümleri kutu içerisine alıp üzerine çarpı (X) işareti çiziniz.
- Çözmediğiniz sorular için boş bir sayfaya sorunun numarasını yazıp **Soru Çözülmemiştir** notu düşününüz.
- Çözüm kâğıtlarının sadece ön yüzünü kullanınız ve üstteki bilgileri muhakkak doldurunuz.
- Sayfanın Sırası kutusunu doldururken;
“çözmekte olduğunuz sorunun kaçınıcı sayfasında olduğunuzu” ve “o sorunun toplam sayfa sayısını” üstteki tabloya giriniz. Örneğin 2. soruyu diyelim toplam 3 sayfada çözerseniz; her sayfada “Soru No: 2” yazıp her bir çözüm sayfası için “Sayfanın Sırası: 1/3”, “Sayfanın Sırası: 2/3” ve “Sayfanın Sırası: 3/3” ile doldurmalısınız.
- Sınav başladıktan sonraki ilk yarım saat içinde sınav salonundan ayrılmak yasaktır.
- Sınav süresince sınava giriş belgenizi ve geçerli bir kimlik belgesini masanızın üzerinde bulundurunuz.
- Sınav süresince görevlilerle konuşulması ve soru sorulması, öğrencilerin birbirlerinden kalem, silgi vb. şeyler istemeleri yasaktır.
- TÜBİTAK Bilim Olimpiyatı İkinci Aşama Sınavında sorulan soruların üçüncü kişiler tarafından kullanılması sonucunda doğacak olan hukuki sorunlardan TÜBİTAK ve Olimpiyat Komitesi sorumlu tutulamaz. Olimpiyat Komitesi, bu tip durumlarda sorular ile ilgili görüş bildirmek zorunda değildir.
- Sınav sırasında kopya çeken, çekmeye teşebbüs eden ve kopya verenlerin kimlikleri sınav tutanağına yazılacak ve bu kişilerin sınavları geçersiz sayılacaktır. Görevliler kopya çekmeye veya vermeye kalkışanları uyarmak zorunda değildir. Bu konuda sorumluluk adaya aittir.
- Sınav salonundan ayrılmadan önce cevap kağıdınızı ve soru kitapçığını görevlilere teslim etmeyi unutmayınız.

Başarılar dileriz.

Birimler

$$\begin{aligned}
1 \text{ Å (Angström)} &= 10^{-10} \text{ m} = 0.1 \text{ nm} \\
1 \text{ rad (radyan)} &= 206265'' \\
1 \text{ AB (Astronomik Birim)} &\simeq 1.5 \times 10^{11} \text{ m} \\
1 \text{ pc (parsek)} &= 206265 \text{ AB} \simeq 3.09 \times 10^{16} \text{ m} \\
1 \text{ erg s}^{-1} &= 10^{-7} \text{ J s}^{-1} = 10^{-7} \text{ W} \\
\text{Balmer Çizgileri : } H_{\alpha} &= 656.3 \text{ nm}, H_{\beta} = 486.1 \text{ nm}, H_{\gamma} = 434.0 \text{ nm}
\end{aligned}$$

Sabitler

Işık hızı	$c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Işık yılı	$1 \text{ ly} = 9.46 \times 10^{12} \text{ km}$
Kütleçekim sabiti	$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
Stefan-Boltzmann sabiti	$\sigma = 5.6703992 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
Boltzmann sabiti	$k_B = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Planck sabiti	$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J Hz}^{-1}$
Güneş'in yüzey sıcaklığı	$T_{\odot} = 5800 \text{ }^{\circ}\text{K}$
Güneş'in ışıyım gücü	$L_{\odot} = 3.827 \times 10^{26} \text{ W}$
Güneş'in kütlesi	$M_{\odot} = 1.989 \times 10^{30} \text{ kg} = 333030 M_{\oplus}$
Güneş'in yarıçapı	$R_{\odot} = 696 \text{ 340 km}$
Güneş'in mutlak parlaklığı	$M_{\text{güneş}} = +4.83 \text{ kadir}$
Güneş'in bolometrik mutlak parlaklığı	$M_{\text{güneş,bol}} = +4.75 \text{ kadir}$
Güneş'in görünür parlaklığı	$m_{\text{güneş}} = -26.72 \text{ kadir}$
Yer'in kütlesi	$M_{\oplus} = 5.972 \times 10^{24} \text{ kg}$
Hubble sabiti	$H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$

Bağıntılar

Parlaklık Bağıntısı	$m_1 - m_2 = -2.5 \log (L_1/L_2)$
Wien yasası	$\lambda_{\text{max}} T = 2.897771955 \times 10^{-3} \text{ m K}$
Doppler Kayması	$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{V_r}{c}$
Kepler'in üçüncü yasası	$a^3 = \frac{G}{4\pi^2} (M_1 + M_2) P^2$
Elips Denklemi (Kutupsal Koord.)	$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos \theta}$
Ana kol $L - M$ Bağıntısı	$L/L_{\odot} = (M/M_{\odot})^{3.5}$
Piksel Ölçeği	$\frac{\text{piksel boyutu}}{f} \times 206265 \text{ (''/piksel)}$
Teleskop Bağıntıları	$m = f_t/f_o, \text{ } FOV = aFOV/m$
Standart Sapma	$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x - x_{\text{ort}})^2}{n - 1}}$

UYARI

Birimlere dikkat ediniz.

Tüm ara işlemler ve hesaplamalar cevap kağıdında gösterilmelidir.

Nereden geldiği belli olmayan yanıtlar (doğru olsalar bile) kabul edilmeyecektir.

Soru 1.**T11**

Bilinmeyen noktasal bir kaynağın gözlemlerinden, nesnenin parallaxı $p = 2$ mas (mili yaysaniyesi) ve soğurulmuş akısı $F_{\text{obs}} = 1.9 \times 10^{-16} \text{ W m}^{-2}$ olarak ölçülmüştür. Kaynak ile gözlem yapılan teleskop arasındaki yıldızlararası bölgede hidrojen atomlarının sayı yoğunluğunun $n = 1.0 \text{ cm}^{-3}$ olduğu bilinmektedir. Hidrojen için gözlenen banttaki ortalama etkin tesir kesiti $\sigma = 2.0 \times 10^{-22} \text{ cm}^2$ olarak verilmektedir.

- A) (8 puan)** Kaynağın soğurulmamış parlaklığını (L_{kaynak}) bulunuz.
- B) (5 puan)** Kaynağın etkin sıcaklığı $T_{\text{eff}} = 1.2 \times 10^4 \text{ K}$ olan bir “beyaz cüce” olduğunu ve yayılan parlaklığın termal ışımadan kaynaklı ve Stefan-Boltzman yasasına uygun olduğu varsayalım. Bu durumda, beyaz cücenin yarıçapını dünyanın yarıçapı cinsinden hesaplayınız.
- C) (12 puan)** Kaynağın kendi etrafında 10.0 s periyotla dönen, manyetik frenleme ile yavaşlayan bir “izole pulsar” olduğunu düşünelim ve manyetik dipol ekseninin dönme eksenine dik olduğunu ve manyetik alan şiddetinin $B_{\text{dip}} = 3.2 \times 10^{19} \sqrt{P\dot{P}} \text{ G}$ olarak hesaplandığını varsayalım. Pulsarın kinematik yaşını (yıl biriminde) ve iki kutuplu manyetik alan şiddetini (Gauss biriminde) hesaplayınız.

(A) İlk olarak kaynağın uzaklığı bulunur:

$$d = \frac{1}{p} = \frac{1}{2 \times 10^{-3}} = 500 \text{ pc} = 1.5 \times 10^{19} \text{ m} \quad (2 \text{ puan, } 1)$$

Homojen yıldızlararası ortam yoğunluğu ve sabit etkin tesir alanı için gözlemlenen akı, uzaklığa bağlı olarak üstel şekilde zayıflayacaktır:

$$F_{\text{obs}} = F_{\text{kaynak}} e^{-\sigma nd} \Rightarrow F_{\text{wd}} = \frac{F_{\text{obs}}}{e^{-\sigma nd}} \approx 2.6 \times 10^{-16} \text{ W m}^{-2} \quad (4 \text{ puan, } 2)$$

Akı ve parlaklık arasındaki ilişki uygulandığında:

$$L_{\text{kaynak}} = 4\pi d^2 F_{\text{kaynak}} = 7.8 \times 10^{25} \text{ W} \quad (2 \text{ puan, } 3)$$

(B) Stefan-Boltzman yasasını kullanırsak:

$$L_{\text{kaynak}} \Rightarrow L_{\text{wd}} = 4\pi R_{\text{wd}}^2 \sigma_{\text{sb}} T_{\text{eff}}^4 \Rightarrow R_{\text{wd}} = \sqrt{\frac{L_{\text{wd}}}{4\pi \sigma_{\text{sb}} T_{\text{eff}}^4}} \approx 7.2 \times 10^6 \text{ m} \approx 1.1 R_{\oplus} \quad (5 \text{ puan, } 4)$$

(C) Pulsar sadece dipol frenlemesi ile ışıma yaptığında kinetik enerji kaybı:

$$L_{\text{kaynak}} \Rightarrow L_{\text{ns}} = -\dot{E}_{\text{rot}} = -I\omega\dot{\omega} = \frac{4\pi^2 I \dot{P}}{P^3} \quad (4 \text{ puan, } 5)$$

Önce pulsarın yavaşlama oranı ($\dot{P}$) hesaplanmalı:

$$\dot{P} = \frac{L_{\text{ns}} P^3}{4\pi I} = 6.2 \times 10^{-11} \text{ s/s} \quad (2 \text{ puan, } 6)$$

İzole pulsarın kinematik yaşı:

$$\tau = \frac{P}{2\dot{P}} = 8.1 \times 10^{10} \text{ s} \sim 2557 \text{ yr} \quad (\mathbf{3 \text{ puan, } 7})$$

Manyetik dipol frenlemesi denklemi ile manyetik alan şiddeti:

$$B = 3.2 \times 10^{19} \sqrt{P\dot{P}} = 8.0 \times 10^{14} \text{ G} \quad (\mathbf{3 \text{ puan, } 8})$$

Soru 2.	T09
----------------	------------

- A) (20 puan)** 3C273 kuazarı $z = 0.158$ kırmızıya kaymaya sahip aktif bir galaksidir. Bu kuazarın ışıınımgücünün, merkezindeki süper-kütleli karadeliğe aktarılan maddeden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kuazarın 12.9 kadir görünen parlaklığa sahip olması için yılda kaç Güneş kütlesinin merkezdeki karadeliğe aktarılması gerektiğini bulunuz.

** Karadeliğin kütle-enerji dönüşüm verimliliğini %10 kabul edebilirsiniz.*

- B) (10 puan)** Samanyolu'nun yıldız oluşum hızının yaklaşık $\text{SFR} = 1.5 \text{ M}_{\odot} \text{ yıl}^{-1}$ olduğu bilinmektedir.

Kennicutt (1998) tarafından verilen aşağıdaki bağıntıyı gözönüne alarak Virgo Galaksi Kümesindeki ($d_{\text{Virgo}} = 16.5 \text{ Mpc}$) bir gözlemcinin Samanyolu'ndan elde edeceği H_{α} akısını hesaplayınız.

$$\text{SFR}(\text{M}_{\odot} \text{ yıl}^{-1}) = 7.9 \times 10^{-42} L(H_{\alpha}) \text{ erg s}^{-1} \quad (1)$$

(A) Hubble-Lemaitre Kanunu kullanarak kuazarın uzaklığını, Pogson bağıntısı kullanarak da kuazarın mutlak parlaklığını bulalım:

$$d_q = \frac{c \cdot z}{H_0} = 677.14 \text{ Mpc} \quad (2)$$

$$12.9 - M_q = 5 \times \log(d) - 5 \Rightarrow M_q = -26.25 \quad (3)$$

Kuazarın ışıınımgücü için Güneş'in mutlak parlaklığı ve ışıınımgücü kullanılır:

$$M_q - M_{\odot} = (-26.25 - 4.83) = -2.5 \times \log\left(\frac{L_q}{L_{\odot}}\right) \quad (4)$$

$$\left(\frac{L_q}{L_{\odot}}\right) = 2.7 \times 10^{12} \Rightarrow L_q = 1.03 \times 10^{39} \text{ J s}^{-1} \quad (5)$$

Kuazarın ışıınımgücü karadeliğe aktarılan maddeden kaynaklanıyordu ve enerji dönüşüm verimliliği (ϵ) %10 olarak verilmişti:

$$L_q = \epsilon m_{\text{acc}} c^2 \Rightarrow m_{\text{acc}} = 1.14 \times 10^{23} \text{ kg (1 saniyede)} \quad (6)$$

$$= 3.59 \times 10^{30} \text{ kg (1 yılda)} \quad (7)$$

$$= 1.81 \text{ M}_{\odot} \quad (8)$$

(B) SFR bağıntısı kullanılarak Samanyolu galaksisinin H_{α} ışıınımgücü bulunur:

$$L(H_{\alpha}) = 1.9 \times 10^{41} \text{ erg s}^{-1} \quad (9)$$

Virgo Galaksi Kümesinin uzaklığı kullanılarak akı hesabı yapılır:

$$F(H_{\alpha}) = \frac{L(H_{\alpha})}{4\pi d^2} = 5.81 \times 10^{-12} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \quad (10)$$

Soru 3.**T03**

Bir açık kümedeki tekil bir anakol yıldızı için atmosfer düzeltmesi yapılmış fotometrik görünür parlaklıklar aşağıdaki gibi ölçülmüştür:

$$m_B = 16.10, \quad m_V = 14.85, \quad m_I = 13.00 \quad (1)$$

Yıldızın tayf türü B8 V'dir. Bu yıldızlar için verilen kalibrasyonlar aşağıdaki gibidir.

$$(B - V)_0 = -0.11 \quad M_V = -0.20 \quad (2)$$

$$(V - I)_0 = -0.23 \quad BC_V = -0.85 \quad (3)$$

- A) (4 puan)** $(B - V)_{\text{gözlenen}}$, $(V - I)_{\text{gözlenen}}$ renk indekslerini, ve $E(B - V)$ ve $E(V - I)$ renk artıklarını hesaplayınız.
- B) (2 puan)** $A_I/A_V = 0.60$ oranını kullanarak görsel bant sönümünü (A_V) hesaplayınız.
- C) (4 puan)** Seçici sönüm katsayısını (R_V) hesaplayınız.
- D) (5 puan)** A_B , A_I ve sönümden arındırılmış parlaklıklarını ($m_{B,0}$, $m_{V,0}$, $m_{I,0}$) hesaplayınız.
- E) (4 puan)** Yıldızın pc cinsinden uzaklığını (d) hesaplayınız.
- F) (5 puan)** M_{bol} , $L/L_{\odot}$, L (W) değerlerini hesaplayınız.
- G) (6 puan)** Yıldızın Yer'e ulaşan V -band akısının, Güneş'in 1 AB'deki V -band akısına oranı ($F_V/F_{V,\odot}$) hesaplayınız.

(A)

$$(B - V)_{\text{obs}} = m_B - m_V = 16.10 - 14.85 = 1.25 \quad (1 \text{ puan, } 4)$$

$$(V - I)_{\text{obs}} = m_V - m_I = 14.85 - 13.00 = 1.85 \quad (1 \text{ puan, } 5)$$

$$E(B - V) = 1.25 - (-0.11) = 1.36 \quad (1 \text{ puan, } 6)$$

$$E(V - I) = 1.85 - (-0.23) = 2.08 \quad (1 \text{ puan, } 7)$$

(B)

$$E(V - I) = A_V - A_I = 0.40A_V \quad \Rightarrow \quad A_V = \frac{E(V - I)}{0.40} = \frac{2.08}{0.40} = 5.20 \quad (2 \text{ puan, } 8)$$

(C)

$$R_V = \frac{A_V}{E(B - V)} = \frac{5.20}{1.36} = 3.82 \quad (4 \text{ puan, } 9)$$

(D)

$$A_I = 0.60 \times 5.20 = 3.12 \quad (1 \text{ puan, } 10)$$

$$A_B = 5.20 + 1.36 = 6.56 \quad (1 \text{ puan, } 11)$$

$$m_{V,0} = 14.85 - 5.20 = 9.65 \quad (1 \text{ puan, } 12)$$

$$m_{B,0} = 16.10 - 6.56 = 9.54 \quad (m_{B,0} - m_{V,0} = -0.11) \quad (1 \text{ puan, } 13)$$

$$m_{I,0} = 13.00 - 3.12 = 9.88 \quad (m_{V,0} - m_{I,0} = -0.23) \quad (1 \text{ puan, } 14)$$

(E)

$$m_{V,0} - M_V = 5 \log_{10}(d/10) \quad (1 \text{ puan, } 15)$$

$$9.85 = 5 \log_{10}(d/10) \quad (1 \text{ puan, } 16)$$

$$d = 10 \times 10^{1.97} \approx 933.25 \text{ pc} \quad (2 \text{ puan, } 17)$$

(F)

$$M_{\text{bol}} - M_{\text{bol},\odot} = -2.5 \log_{10}(L/L_{\odot}) \quad (1 \text{ puan, } 18)$$

$$(M_V + BC_V) - M_{\text{bol},\odot} = -2.5 \log_{10}(L/L_{\odot}) \quad (1 \text{ puan, } 19)$$

$$\log_{10}(L/L_{\odot}) = 2.32 \quad (1 \text{ puan, } 20)$$

$$L \approx 208.93 L_{\odot} \approx 8.00 \times 10^{28} \text{ W} \quad (2 \text{ puan, } 21)$$

(G)

$$m_{V,\odot} = M_{\odot} + 5 \log_{10}(d/10)$$

$$= 4.83 + 5 \log_{10} \left(\frac{1 \text{ AB}}{10 \text{ pc}} \frac{1.5 \times 10^{11} \text{ m/AB}}{3.09 \times 10^{16} \text{ m/pc}} \right) \approx -26.74 \quad (3 \text{ puan, } 22)$$

$$m_V - m_{V,\odot} = -2.5 \log_{10} \left(\frac{F_V}{F_{V,\odot}} \right)$$

$$\frac{14.85 + 26.74}{-2.5} = \log_{10} \left(\frac{F_V}{F_{V,\odot}} \right) \Rightarrow \frac{F_V}{F_{V,\odot}} \approx 2.31 \times 10^{-17} \quad (3 \text{ puan, } 23)$$

Soru 4.**T13**

(40 puan) Kuzey yarımkürede, ilkbahar aylarında yapılan iki gözlem aşağıdaki gibidir:

- Gece yapılan gözlemlerde, hiç batmayan (sirkompolar) bir yıldızın üst ve alt geçiş yükseklikleri sırasıyla $h_{\text{üst}} = 69^\circ 00'$, $h_{\text{alt}} = 13^\circ 00'$ olarak kaydedilmiştir. Yıldız her iki geçişte de kuzey ufku bakılarak gözlenmiştir.
- Ertesi gün yerel gerçek öğlede, yere dik duran bir gnomonun (çubuk) yüksekliği $H_g = 2$ m ve gölge uzunluğu $s = 1.17$ m olarak ölçülmüştür.

Gündüz gözleminin yapıldığı günün tarihini hesaplayınız.

※ *Ekliptik ile ekvator arasındaki açı: $\epsilon = 23^\circ 26'$; Güneş'in ekliptik üzerindeki ortalama hareketi: $n = 0.9856^\circ/\text{gün}$; $\lambda_\odot$: Güneş'in ekliptik boylamı; $\sin \delta_\odot = \sin \epsilon \cdot \sin \lambda_\odot$*

Gözlemcinin enlemi (ϕ), gök kutbunun ufuktan yüksekliğine eşit olduğundan yıldızın üst ve alt geçiş yüksekliklerinin aritmetik ortalamasına eşittir:

$$\phi = \frac{h_{\text{üst}} + h_{\text{alt}}}{2} = \frac{69 + 13}{2} = 41^\circ \text{ (kuzey)} \quad (1)$$

Güneş'in deklinasyonunu ($\delta_\odot$) çubuk kullanarak hesaplayabiliriz. Yerel gerçek öğlede Güneş, gökyüzündeki en yüksek noktaya ulaşır. Gnomon (çubuk) ve gölgesi dik bir üçgen oluşturur. Güneş'in ufuktan olan yüksekliği ($h_\odot$):

$$\tan h_\odot = \frac{H_g}{s} \Rightarrow h_\odot = \arctan \left(\frac{H_g}{s} \right) \approx 59.67^\circ \quad (2)$$

Kuzey yarımkürede Güneş güneyden geçerken öğle yüksekliği aşağıdaki gibi yazılıp Güneş'in deklinasyonu hesaplanabilir:

$$h_\odot = 90^\circ - \phi + \delta_\odot \Rightarrow \delta_\odot = h_\odot - (90^\circ - \phi) = 10.67^\circ \quad (3)$$

Güneş'in ekliptik boylamı verilen denklem ile hesaplanır:

$$\sin \lambda_\odot = \frac{\sin \delta_\odot}{\sin \epsilon} = \frac{\sin(10.67^\circ)}{\sin(23.43^\circ)} \approx 0.4654 \Rightarrow \lambda_\odot \approx 27.74^\circ \quad (4)$$

Uyarı: $\lambda_\odot = \arcsin(0.4654) \approx 180^\circ - 27.74^\circ \approx 152.26^\circ$ olarak bulunacak değer doğru çözümü vermez. Çünkü 21 Mart'ta (ilkbahar ekinoksu) Güneş'in ekliptik boylamı $\lambda_\odot = 0^\circ$ olup yaz solstisinden (gündönümü) sonra 90° den büyük değere ulaştığı için bu çözüm sonbahara doğru bir tarihi işaret edecektir.

Dolayısıyla, geçen gün sayısı (t) şöyle hesaplanır.

$$t = \frac{\lambda_\odot}{n} \approx 28 \text{ gün} \quad (5)$$

21 Mart tarihinden itibaren 28 gün sayalım: (1) Mart ayının sonuna kadar: $31 - 21 = 10$ gün; (2) Nisan ayından itibaren: $28 - 10 = 18$ gün.

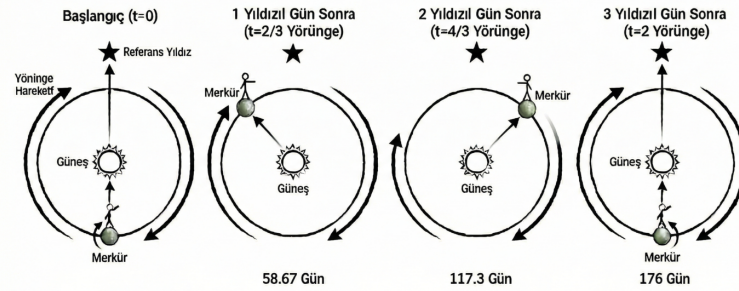
Gözlemin yapıldığı tarih 18 Nisan'dır.

Soru 5.**T05**

Merkür Güneş etrafındaki 3 turunu tamamlayana kadar kendi eksenini etrafında 2 kez döner; yani Merkür'ün yörünge dönemi ile dönme dönemi 3:2 rezonanstadır.

* Merkür ve Venüs'ün yörünge dönemleri sırasıyla 88 ve 224.7 gündür. Merkür ve Venüs yörüngelerini çembersel varsayınız.

- A) (15 puan)** Merkür yüzeyinde gözlem yapan bir astronot düşünelim. Güneş'in astronotun meridyenine ardışık iki gelişi arasındaki süreyi (Merkür'deki Güneş gününün uzunluğunu) Dünya günü cinsinden bulunuz ve işlemlerinizi açıklayınız.
- B) (10 puan)** Venüs'ten bakıldığında Merkür'ün en büyük doğu uzanımını derece cinsinden hesaplayınız.
- C) (5 puan)** Venüs'teki bir gözlemci için Merkür'ün tekrar kaç Dünya günü sonra en büyük doğu uzanımına geleceğini hesaplayınız.

(A)

$$3 \times \text{Gün}_\star = 2 \times P_{\text{Merkür}} \equiv 1 \times \text{Gün}_\odot \quad (1)$$

$$\text{Gün}_\star = 88 \times \frac{2}{3} \quad (2)$$

$$1 \times \text{Gün}_\odot = 3 \times \text{Gün}_\star \quad (3)$$

$$= 3 \times 88 \times \frac{2}{3} = 176 \text{ Dünya Günü} \quad (4)$$

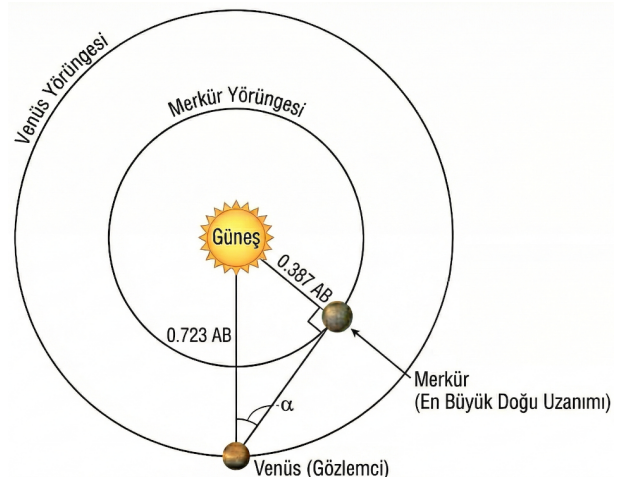
Soru kökündeki dizgi hatasından dolayı ($3 \Rightarrow 2$) bu seçenek iptal edilmiştir.

(B) Merkür ve Venüs'ün uzaklıkları Kepler'in 3. yasası ($a^3 = P^2$) ile hesaplanabilir:

$$a_M^3(\text{AB}) = \left(\frac{88}{365.25} \right)^2 \Rightarrow a_M = 0.39 \text{ AB}$$

$$a_V^3(\text{AB}) = \left(\frac{224.7}{365.25} \right)^2 \Rightarrow a_V = 0.72 \text{ AB}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{a_M}{a_V} = \frac{0.39}{0.72} \Rightarrow \alpha = 32.36^\circ$$



(C) Herhangi iki yörünge konfigürasyonu arasındaki süre, yani sinodik (kavuşum) dönemi, S ile; Merkür ve Venüs'ün yörünge dönemleri de sırasıyla M ve V ile gösterilsin. Her iki gezegen yörüngelerinde 360° tararken Merkür içte olduğundan S dönem sonra Venüs'e 360° tur bindirecektir:

$$\frac{360^\circ}{M} \times S = \frac{360^\circ}{V} \times S + 360^\circ \quad (5)$$

$$\frac{1}{M} = \frac{1}{V} + \frac{1}{S} \quad (6)$$

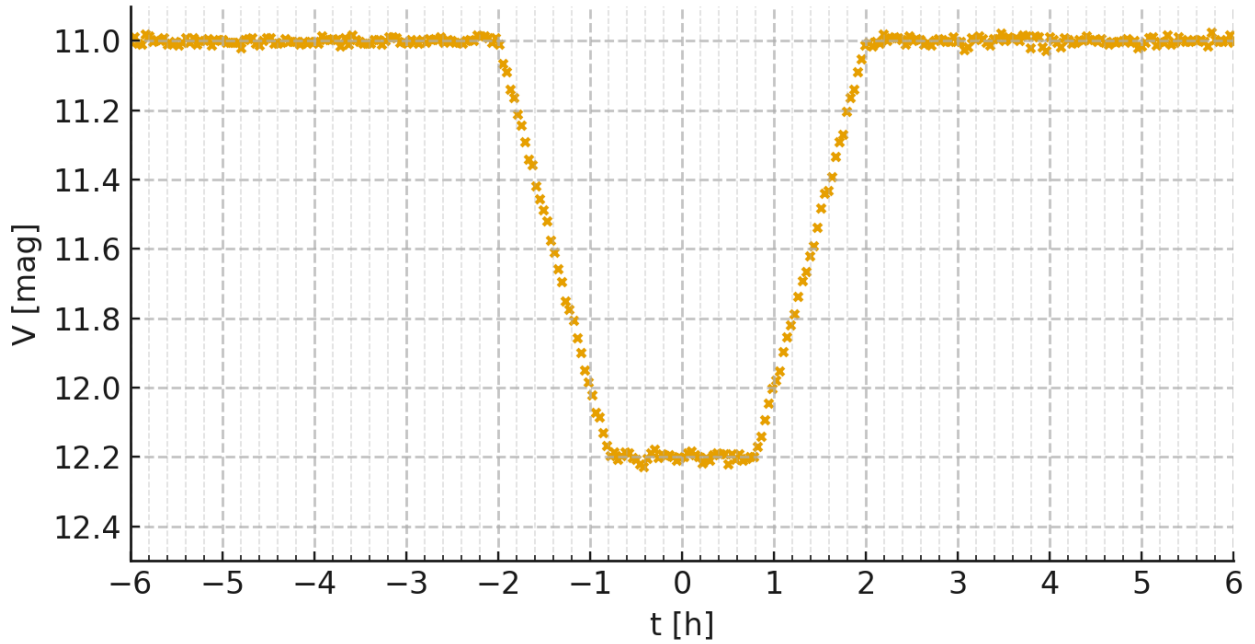
$$S = 144.65 \text{ gün} \quad (7)$$

Soru 6.**T12**

Aşağıda bir örten çift yıldız sistemine ait ışık eğrisinin baş (birinci) minimumu verilmektedir.

A) (10 puan) Bileşenlerin yarıçapları oranını (R_1/R_2) hesaplayınız.

B) (15 puan) Bileşenlerin akılarının oranını (F_1/F_2) bulunuz.

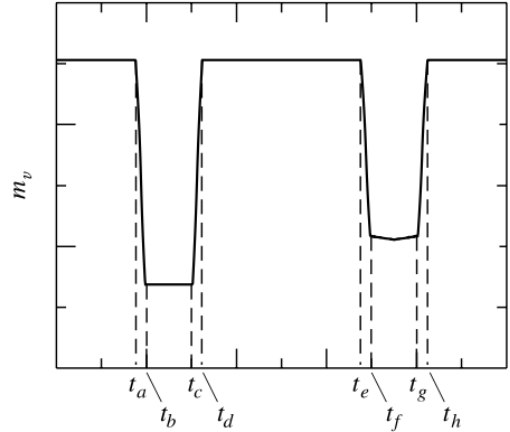


(A) Tam tutulma ışık eğrisinin şekli (yanda) ve ilgili bağıntıları kullanarak yarıçaplar oranı yazılır. Sorudaki ışık eğrisinden $t_{top} = 4$ saat ve $t_{tam} = 1.6$ saat okunur. Okunan değerleri koyarak yarıçaplar oranı hesaplanır:

$$2R_1 = V \times (t_b - t_a)$$

$$2R_2 = V \times (t_d - t_c)$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{t_{top} - t_{tam}}{t_{top} + t_{tam}} = \frac{4 - 1.6}{4 + 1.6} = 0.4$$



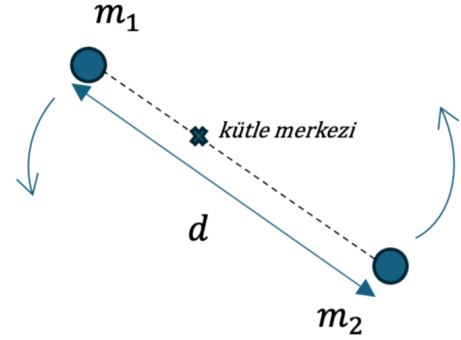
(B) Işık eğrisinin baş minimumu verildiğinden tutulma dışındaki düzlük iki yıldızın toplam akısının alındığı durumu ve tam tutulma ise yalnızca ikincil, sönük bileşenin akısının alındığı durumu göstermektedir. Dolayısıyla iki durum arasındaki parlaklık farkı şöyle yazılabilir:

$$m_{1+2} - m_2 = (11.0 - 12.2) = -2.5 \times \log \left(\frac{F_1 + F_2}{F_2} \right) \Rightarrow \left(\frac{F_1 + F_2}{F_2} \right) = 3.0 \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = 2.0 \quad (1)$$

Sistemin baş bileşeni sönük bileşenden 2 kat daha sıcak ve sönük bileşenin yaklaşık yarısı büyüklüğündedir.

Soru 7.**T02**

Birbirlerine d uzaklıkta, hacimleri önemsiz m_1 ve m_2 kütleli iki cisim, birbirlerine uyguladıkları kütle çekim kuvvetinin etkisiyle uzay boşluğunda ortak kütle merkezi etrafında dairesel yörüngelerde dönmektedir. Cisimlerin ortak dönüş periyodu P olarak verilmiştir.



- A) (3 puan)** Cisimlerin kütle merkezine uzaklıklarının ve çizgisel süratlerinin oranlarını (sırasıyla, r_1/r_2 ve v_1/v_2) verilenler cinsinden ifade ediniz.
- B) (12 puan)** Sistemin toplam kütlesi değişmeden cisimler birbirine kütle aktarıp hiçbir dış etkiye maruz kalmadan, kütleleri eşitlenirse yeni durumda cisimlerin dönüş periyodunu (P') verilenler cinsinden ifade ediniz.

(A) Periyotlar iki cisim için de aynı olduğu için açısal hızların da eşit olması gerekir:

$$\omega_1 = \omega_2 \Rightarrow \frac{v_1}{r_1} = \frac{v_2}{r_2} \quad (1 \text{ puan, } 1)$$

Ayrıca kütlelerin kütle merkezine uzaklıkları (r_1 ve r_2) ile ilişki şöyle bulunur:

$$r_{\text{KM}} = 0 = \frac{-m_1 r_1 + m_2 r_2}{m_1 + m_2} \Rightarrow \frac{r_1}{r_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad (1 \text{ puan, } 2)$$

Denklemleri birleştirelim:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad (1 \text{ puan, } 3)$$

(B) Sisteme dışarıdan bir etki yoksa toplam açısal momentumun korunması gerekir:

$$L = m_1 v_1 r_1 + m_2 v_2 r_2 = m_1 (\omega r_1) r_1 + m_2 (\omega r_2) r_2 = \omega (m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2) \quad (2 \text{ puan, } 4)$$

$$= \omega \left[m_1 \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2} d \right)^2 + m_2 \left(\frac{m_1}{m_1 + m_2} d \right)^2 \right] = \omega d^2 \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad (2 \text{ puan, } 5)$$

Kepler'in üçüncü yasasını kullanarak toplam açısal momentumu yazalım:

$$d^3 = G (m_1 + m_2) \frac{1}{\omega^2} \quad (\omega = 2\pi/P) \quad (2 \text{ puan, } 6)$$

$$L = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \sqrt{G(m_1 + m_2)d} \quad (2 \text{ puan, } 7)$$

Açısal momentum sabit kalır (korunur), ve Kepler'in 3. yasasını kullandığımızda:

$$d \propto \frac{1}{(m_1 m_2)^2} \Rightarrow P \propto d^{3/2} \propto \frac{1}{(m_1 m_2)^3} \quad (1+1 \text{ puan, } 8)$$

Kütleler farklıyken P , kütleler eşitlendiğinde P' olduğuna göre P' :

$$\frac{P'}{P} = \left(\frac{m_1 m_2}{\left(\frac{m_1+m_2}{2}\right) \left(\frac{m_1+m_2}{2}\right)} \right)^3 \Rightarrow P' = P \left(\frac{4m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2} \right)^3 \quad (2 \text{ puan, } 9)$$

Soru 8.**T06**

Kütlesi $20 M_{\odot}$ olan WX45 yıldızı süper dev evresini takiben çekirdek çökmesi ve sonrasında süpernova patlaması sergiliyor. Bu süreç sonunda kütlesi $1.5 M_{\odot}$ ve yarıçapı 10 km olan nötronca zengin bir nötron yıldızı ortaya çıkıyor. Süpernova patlamasının toplam enerjisinin 4.0×10^{46} J olduğu hesaplanıyor.

* $m_n = 1.675 \times 10^{-27}$ kg (nötron kütlesi).

- A) (6 puan)** Güneş'in anakol ömrünü 10 milyar yıl olarak alalım. Anakol yıldızları için ışıyım gücü kütle bağıntısını kullanarak WX45 yıldızının anakol evresini ne kadar zamanda tamamlayacağını hesaplayın.
- B) (6 puan)** Süpernova patlaması sonucu yıldızın çekirdek çökmesi ile ortaya çıkan nötron yıldızının nasıl dengede kalabildiğini ayrıntılı bir şekilde açıklayın.
- C) (13 puan)** Kalıntı nötron yıldızının termal enerjisinin süpernova ile yayılan toplam enerjinin 1%'i mertebesinde olduğu bilinmektedir. Ortaya çıkan nötron yıldızının patlama sonrası sıcaklığını hesaplayın.

(A) Anakol yıldızları için ışıyım gücü kütle bağıntısı $L \propto M^{3.5}$ olarak verilmiştir. Yıldızın anakol ömrü için ise $t \propto M/L$ bağıntısı bilindiğine göre:

$$t \propto M/L \quad \text{ve} \quad t \propto M^{-2.5} \quad \Rightarrow \quad t/t_{\odot} = (M/M_{\odot})^{-2.5} \quad \Rightarrow \quad t = 5.6 \times 10^6 \text{ yr} \quad (1)$$

(B) Süper dev yıldızın çekirdeğinde demir oluşumu ile birlikte füzyon ile gelen ısı katkısı azalır ve kütleçekim etkisi ile çekidek çökmeye başlar. Çekirdek içindeki yoğunluk nükleer yoğunluğa ($\sim 2 \times 10^{14}$ g/cm³) yaklaşır. Bu ortamda elektron yakalama ve beta bozunma süreçleri sonucu nötronlaşma gerçekleşir ve salınan nötrinolar ile sistemden önemli miktarda enerji kaçar. Bu yoğunlukla nötron içeren ortamda kuantum mekaniksel etkiler ortaya çıkar. Nötronlar fermiyon olduğundan Pauli dışlanma ilkesine bağlı olarak aynı anda birden fazla nötron aynı kuantum durumunda bulunamaz. Bu kuantal doluluk yıldız çekirdeğinde dışa doğru basınç oluşturur ve içe doğru olan kütleçekime karşı durdurucu etkiyi gösterir.

(C)

$$E_{\text{termal}} = \frac{3}{2} N k_B T \quad \Rightarrow \quad T = \frac{2E_{\text{termal}}}{3Nk_B} \quad (5 \text{ puan, } 2)$$

Nötron yıldızındaki parçacık (nötron) sayısı:

$$N = \frac{M_{\text{NS}}}{m_n} = \frac{1.5 M_{\odot}}{1.675 \times 10^{-27}} = 1.78 \times 10^{57} \quad (5 \text{ puan, } 3)$$

Yayılan termal enerji:

$$E_{\text{termal}} = 0.01 E_{\text{SN}} = 4.0 \times 10^{44} \text{ J} \quad (1 \text{ puan, } 4)$$

Hepsini yerine koyduğumuzda:

$$T = \frac{2E_{\text{termal}}}{3Nk_B} = 1.1 \times 10^{10} \text{ K} \quad (2 \text{ puan, } 5)$$

Soru 9.**D1**

F–K tayf aralığındaki yıldızların tayflarındaki bazı soğurma çizgilerinin birbirine oranı ile etkin sıcaklık arasında ilişki kurulabilmektedir. “Çizgi Derinliği Oranı (LDR)” yöntemi ile yıldızların sıcaklığı birkaç on Kelvin derecelik hata ile belirlenebilmektedir.

Bir sonraki sayfadaki çözüm kağıdında 10 yıldızın bazı özellikleri verilmektedir.

A) (24 puan) LDR – Sıcaklık ilişkisini belirleyiniz. LDR – Sıcaklık grafiğini daha sonraki çözüm kağıdında çizerek en iyi uyum eğrisini belirleyiniz. Uyum eğrisinin denklemini elde ediniz.

B) (6 puan) LDR değerleri sırasıyla 0.65, 1.10 ve 1.40 olarak verilen yıldızların sıcaklıklarını hesaplayarak hangi tayf türüne ait olduklarını belirleyiniz.

(A) Güneş birimleri ile Stefan–Boltzmann bağıntısı:

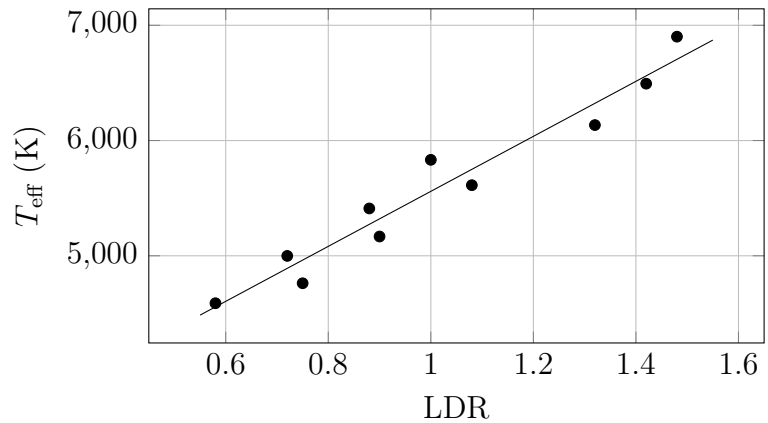
$$\frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{R}{R_{\odot}} \right)^2 \left(\frac{T}{T_{\odot}} \right)^4 \Rightarrow T = T_{\odot} \left(\frac{L/L_{\odot}}{(R/R_{\odot})^2} \right)^{1/4}, \quad T_{\odot} = 5800 \text{ K} \quad (1)$$

Tablodaki değerler kullanılarak T_{eff} değerleri hesaplanır (**5 puan**). Bu değerler kullanılarak LDR (yatay eksen) – T_{eff} (düşey eksen) grafiği çizilir. $T_{\text{eff}} = a \times \text{LDR} + b$ doğrusal regresyonu elde edilir. Bu veri seti için en iyi doğrusal uyum:

$$T_{\text{eff}} = 2386.28 \times \text{LDR} + 3172.86 \quad (\mathbf{10 \text{ puan, } 2})$$

Veri seti ve uyum eğrisi çizilir (**5 puan**), tablo hazırlanıp gösterilir (**4 puan**).

Yıldız	$R/R_{\odot}$	$L/L_{\odot}$	LDR	T_{eff}
1	1.10	1.061	1.08	5612.63
2	0.85	0.283	0.58	4588.39
3	1.35	2.863	1.42	6493.28
4	0.95	0.498	0.72	4998.87
5	1.50	4.510	1.48	6901.17
6	1.00	0.630	0.90	5167.34
7	1.25	1.955	1.32	6134.22
8	0.90	0.368	0.75	4761.79
9	1.15	1.353	1.00	5832.58
10	1.05	0.835	0.88	5410.72



(B) Bulduğumuz kalibrasyon denklemini ($T = 2386.28 \text{ LDR} + 3172.86$) kullanarak sıcaklıkları hesaplayıp yaklaşık sıcaklık aralıklarını (K:3700–5200 K, G:5200–6000 K, F:6000–7500 K, A: > 7500 K) kullanarak tayf türlerini belirleyelim:

$$\text{LDR} = 0.65 \Rightarrow T = 2386.28(0.65) + 3172.86 = 4723.94 \text{ K} \Rightarrow \text{K} \quad (\mathbf{2 \text{ puan, } 3})$$

$$\text{LDR} = 1.10 \Rightarrow T = 2386.28(1.10) + 3172.86 = 5797.77 \text{ K} \Rightarrow \text{G} \quad (\mathbf{2 \text{ puan, } 4})$$

$$\text{LDR} = 1.40 \Rightarrow T = 2386.28(1.40) + 3172.86 = 6513.65 \text{ K} \Rightarrow \text{F} \quad (\mathbf{2 \text{ puan, } 5})$$



33.
Bilim Olimpiyatları
2. Aşama Sınavı
Çözüm Kağıdı

Adayın Adı Soyadı

Soru No:

9

Sınav Dalı

Astronomi & Astrofizik

Sayfanın Sırası:
bu sayfa / toplam

/

Her soru için en az bir yanıt kağıdı hazırlamalısınız. Numarasını girdiğiniz soruyu yanıtlamadığınızda aşağıda **ÇÖZÜM YOK** yazmalısınız.

(A)

Yıldız	$R/R_{\odot}$	$L/L_{\odot}$	LDR
1	1.10	1.061	1.08
2	0.85	0.283	0.58
3	1.35	2.863	1.42
4	0.95	0.498	0.72
5	1.50	4.510	1.48
6	1.00	0.630	0.90
7	1.25	1.955	1.32
8	0.90	0.368	0.75
9	1.15	1.353	1.00
10	1.05	0.835	0.88



33.
Bilim Olimpiyatları
2. Aşama Sınavı
Çözüm Kağıdı

Adayın Adı Soyadı

Soru No:

9

Sınav Dalı

Astronomi & Astrofizik

Sayfanın Sırası:
bu sayfa / toplam

/

Her soru için **en az bir yanıt kağıdı** hazırlamalısınız. Numarasını girdiğiniz soruyu yanıtlamadığınızda aşağıda **ÇÖZÜM YOK** yazmalısınız.

(B)

Soru 10.**G1**

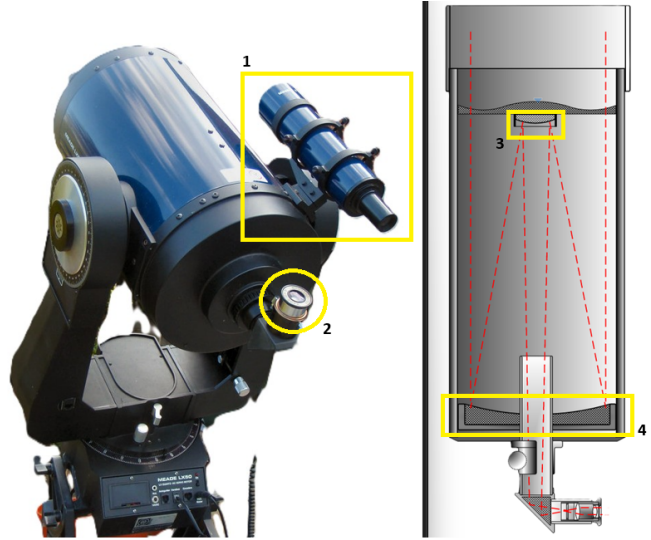
Tüm seçenekler için yanıtlarınızı verilen çözüm kağıtlarında gösterin.

- A) (10 puan)** Harita üzerinde Kutup Yıldızını bulunuz ve belirgin bir şekilde **P** harfiyle işaretleyerek gösteriniz (**3 puan**). Kutup yıldızını bulurken kullandığınız yöntemi açıklayınız (**1 puan**). Harita üzerinde görünen yıldız ve takımyıldız dağılımlarını dikkate alarak, gözlemcinin yaklaşık hangi ana yöne (Kuzey, Güney, Doğu, Batı) baktığını sebebi ile birlikte yazınız (**6 puan**).
- B) (7 puan)** Haritadaki takımyıldızlardan seçeceğiniz yedisinin takımyıldız çizgilerini ya da alanlarını belirtiniz ve “a, b, c, d, e, f, g” harfleriyle işaretleyiniz. İşaretlediğiniz harflerin hangi takımyıldızlara karşılık geldiğini çözüm kağıdındaki tabloda belirtiniz.
- C) (7 puan)** Bilinen tüm Zodyak takımyıldızlarını yazınız?

※ Takımyıldızların Türkçe, İngilizce, Latince isimleri ya da IAU’nun tanımladığı kısaltmalar doğru kabul edilecektir.

- D) (5 puan)** TÜBİTAK Bilim Olimpiyatları Yaz Kampı sırasında gece gözlemlerinde kullanılan teleskobun temsili görüntüsü (sol) ve sahip olduğu optik tasarımın şematik gösterimi (sağ) görselde verilmiştir.

Teleskobun optik tasarımını ve görseller üzerinde numaralar ile işaretlenmiş bileşenlerin isimlerini çözüm kağıdındaki tabloya yazınız.



- E) (6 puan)** Aşağıda özellikleri verilen teleskop ile Jüpiter gözlemi yapılmaktadır. Gözlem 550 nm dalgaboyunda gerçekleştiriliyor. Jüpiter’in uydularının gezegen merkezine ortalama uzaklıkları şöyle verilmiştir: Io: 421700 km, Europa: 671100 km, Ganymede: 1070400 km, Callisto: 1882700 km.

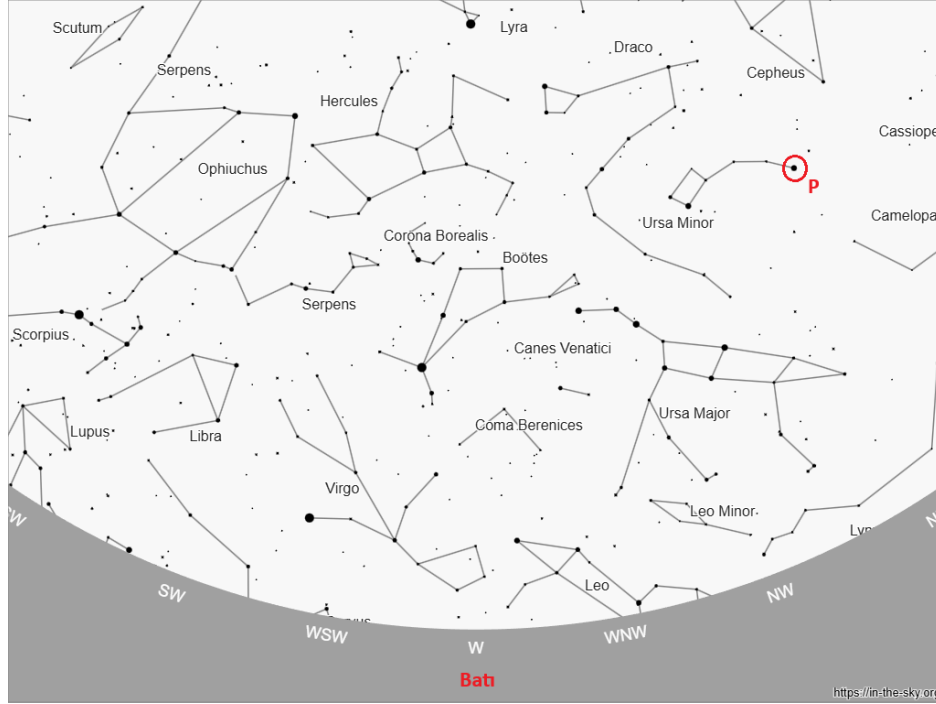
Bu teleskop ve göz merceği ile Jüpiter ve dört büyük uydusu gözlenebilir mi, gerekçeleri ile açıklayınız.

Dört uydunun hepsi aynı anda teleskobun görüş alanı içine sığıp sığamayacağını hesaplayarak açıklayınız.

※ (a) Uyduların yörüngelerini dairesel varsayın. (b) Yer’den bakıldığında uydular Jüpiter diskinin açısız olarak en uzak konumlarında olduğunu varsayın. (c) Ganymede ve Callisto’nun Jüpiter’in iki karşıt tarafında, sistemin açısız olarak en geniş konfigürasyonunu oluşturduğunu varsayın. (d) $d_{\text{Jüpiter}} = 650 \times 10^6 \text{ km}$; $R_{\text{Jüpiter}} = 143 \times 10^3 \text{ km}$.

※ $D_{\text{teleskop}} = 200 \text{ mm}$ (açıklık). $f_t = 2000 \text{ mm}$ (teleskop odak uzaklığı). $f_o = 25 \text{ mm}$ (göz merceği odak uzaklığı). $\text{aFOV} = 50^\circ$ (göz merceği açık görüş alanı).

(A, B)



(C) Aries (Ari), Taurus (Tau), Gemini (Gem), Cancer (Cnc), Leo (Leo), Virgo (Vir), Libra (Lib), Scorpius (Sco), Sagittarius (Sgr), Capricornus (Cap), Aquarius (Aqr), Pisces (Psc), Ophiuchus (Oph).

(D) Cassegrain; Arayıcı; Göz Merceği; İkincil Ayna; Birincil Ayna.

(E) Teleskobun büyütme gücü ve görüş alanı:

$$m = \frac{f_t}{f_o} = \frac{2000}{25} = 80 \Rightarrow \text{FOV} = \frac{\text{aFOV}}{m} = \frac{50^\circ}{80} = 0.625^\circ = 2250'' \quad (1)$$

Küçük açı yaklaşımı kullanılarak Jüpiter'in açısal çapı

$$\theta_J = \frac{D_J}{d_J} = \frac{1.43 \times 10^5}{6.5 \times 10^8} = 2.20 \times 10^{-4} \text{ rad} \simeq 45'' \Rightarrow (\theta_J/2) = 22.5'' \text{ (yarıçap)} \quad (2)$$

Uyduların açısal uzaklıkları aynı yöntemle ($\theta = r/d_J$) hesaplanır: $\theta_{Io} \simeq 134''$ (Io), $\theta_{Eu} \simeq 213''$ (Europa), $\theta_{Ga} \simeq 339''$ (Ganymede), $\theta_{Ca} \simeq 597''$ (Callisto). En yakın uydu Io'nun açısal uzaklığı ($134''$) bile Jüpiter'in yarıçapından ($22.5''$) büyük olduğundan dört uydunun hepsi Jüpiter diskinde açısal olarak ayırık biçimde konumlanır.

Rayleigh kriterine göre teleskobun teorik ayırma gücü ($\theta_R = 1.22 \lambda/D = 0.69''$) hem Jüpiter diskinin açısal boyundan hem de uyduların gezegenden açısal uzaklıklarından çok küçüktür. Dolayısıyla teleskobun çözünürlüğü gözlem için yeterlidir.

Ganymede ve Callisto Jüpiter'in iki karşıt tarafında yer aldığında sistemin açısal genişliği $\theta_{\text{toplam}} = \theta_{Ga} + \theta_{Ca} = 339'' + 597'' = 936''$ olur ve bu değer teleskobun görüş alanından ($2250''$) oldukça küçüktür.

Jüpiter'in yarıçapının üstel ifadesinin 10^6 ile basıldığı ancak sınav sırasında fark edilmiş ve 10^3 olması gerektiği sınav sırasında sözlü olarak belirtilmiştir.



33.
Bilim Olimpiyatları
2. Aşama Sınavı
Çözüm Kağıdı

Adayın Adı Soyadı

Soru No:

10

Sınav Dalı

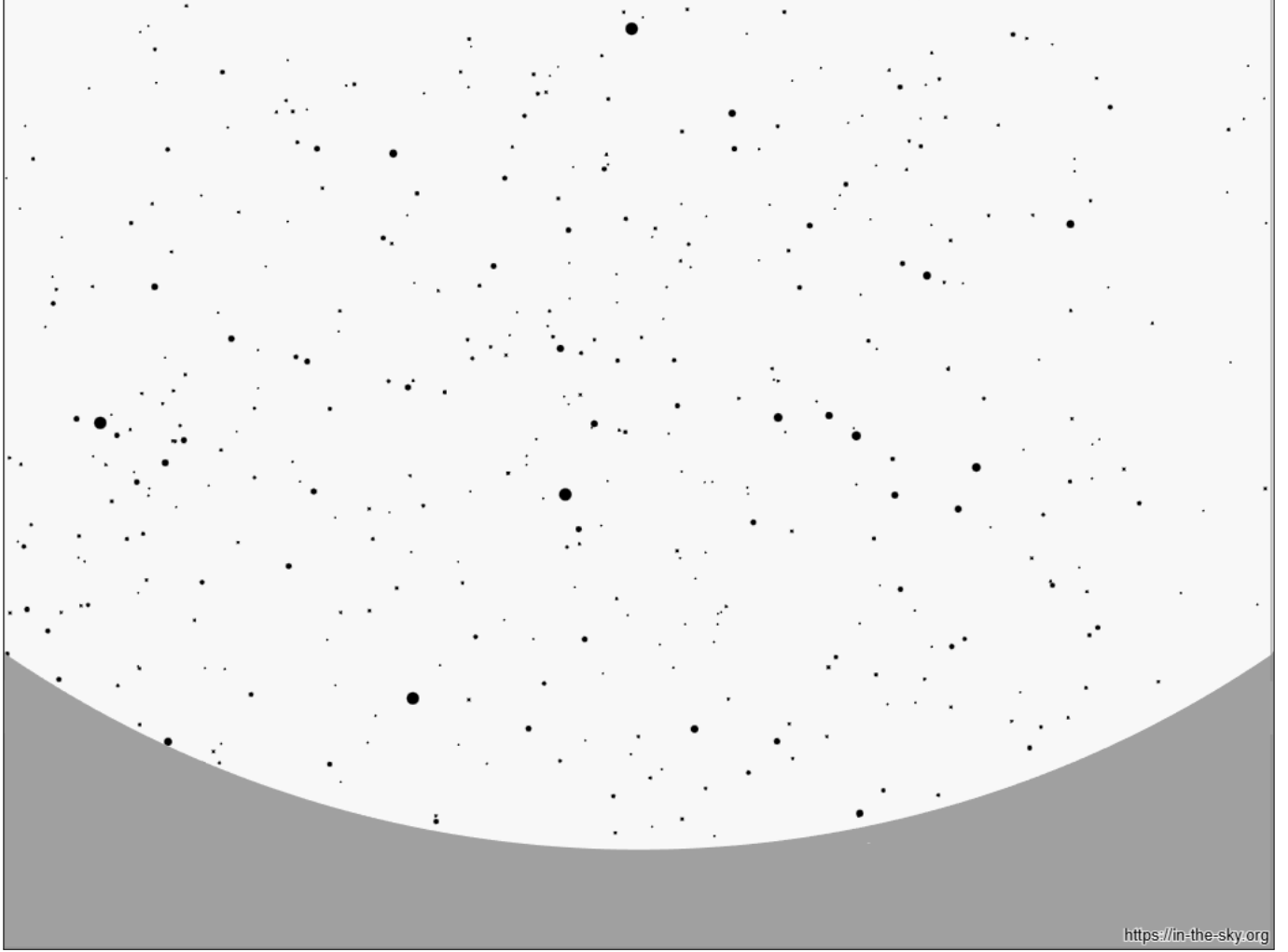
Astronomi & Astrofizik

Sayfanın Sırası:
bu sayfa / toplam

/

Her soru için en az bir yanıt kağıdı hazırlamalısınız. Numarasını girdiğiniz soruyu yanıtlamadığınızda aşağıda **ÇÖZÜM YOK** yazmalısınız.

(A) Gökyüzü haritası, 5 Ağustos 2025 günü saat 21.30'da İstanbul'dan gözlenebilen gökyüzünün bir bölümünü ufuk çizgisi (gri zemin) ile birlikte temsil etmektedir.



(Kutup Yıldızı bulma yöntemi)

(Gözlemci yönü)



33.
Bilim Olimpiyatları
2. Aşama Sınavı
Çözüm Kağıdı

Adayın Adı Soyadı

Soru No:

10

Sınav Dalı

Astronomi & Astrofizik

Sayfanın Sırası:
bu sayfa / toplam

/

Her soru için **en az bir yanıt kağıdı** hazırlamalısınız. Numarasını girdiğiniz soruyu yanıtlamadığınızda aşağıda **ÇÖZÜM YOK** yazmalısınız.

(B) Harf Takımyıldız

a

b

c

d

e

f

g

(C)

(D) Soru Çözüm/Açıklama

Optik Tasarım

Bileşen 1

Bileşen 2

Bileşen 3

Bileşen 4

(E)