جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش و پرورش

دفترچه سوالات به همراه پاسخنامه تشریحی

مرحله اول

نهمین المپیاد نجوم و اخترفیزیک سال ۱۳۹۱

تعداد سوالات		مدت آزمون (دقیقه)
سوالات چند گزینه‌ای	مساله‌های تشریحی	
۳۵	–	۱۸۰

توضیحات مهم

استفاده از ماشین حساب آزاد است.

تذکرات پیش از آزمون:

ضمن آرزوی موفقیت برای شما داوطلب گرامی، خواهشمندیم به موارد زیر توجه فرمایید:

- لطفاً مشخصات، کد آموزشگاه و کد دانش آموزی خود را آن طوری که در پاسخ نامه از شما خواسته شده، به دقت در محل مربوط بنویسید.
- لطفاً در پر کردن ردیف مربوط به تاریخ تولد دقت کنید.
- کد دفترچه سؤال شما (۱) است که لازم است این عدد را در پاسخ نامه در محل مربوط علامت بزنید. در غیر این صورت پاسخ نامه‌ی شما تصحیح نخواهد شد توجه کنید، کد دفترچه سؤال شما که در بالای هر صفحه نوشته شده، با کد اصلی که در این صفحه است برابر باشد.
- این آزمون شامل **۳۵ سؤال چهار گزینه‌ای** و وقت آن **۳ ساعت** است.
- استفاده از ماشین حساب مهندسی که قابل برنامه ریزی نیست، مجاز است.
- استفاده از جدول‌های نجومی، اطلس‌ها و آلماناک‌ها به هر شکل که باشند، مجاز نیست.
- در قسمت سؤال‌های چند گزینه‌ای، پاسخ‌های غلط نمره‌ی منفی دارند. هر سؤال فقط یک جواب درست دارد. علامت زدن بیش از یک گزینه برای یک سؤال، نمره‌ی منفی را دو برابر خواهد کرد؛ حتی اگر یکی از گزینه‌های علامت زده شده درست باشد.
- پاسخنامه را تمیز نگه دارید از تا کردن آن خودداری کنید. فقط در آنجایی که از شما خواسته شده، چیزی بنویسید یا علامت بزنید. هرگز در پشت پاسخ نامه چیزی ننویسید. هر نوشته یا علامت نامربوط، ممکن است دستگاه علامت خوان را به اشتباه بیاندازد.
- به همراه داشتن تلفن همراه یا هر گونه وسیله‌ی ارتباطی دیگر مجاز نیست.
- نتایج این مرحله از آزمون المپیاد، اواخر اسفند ماه اعلام خواهد شد.
- پاسخنامه‌ی تشریحی این آزمون توسط **امیررضا ابری، محمد حسین الماسی، آتیلا پرو، کامبیز خالقی، آرش خواجه، سعید مذهب، احسان مهرجو** تهیه شده است.

www.MAAKH.ir

کلیه حقوق این سوالات برای ماخ محفوظ است.

ثابت‌های فیزیکی و نجومی

G	ثابت جهانی گرانش	$m^{۳}kg^{-۱}s^{-۲}$	$۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}$
σ	ثابت استفان بولتزمان	$Wm^{-۲}K^{-۴}$	$۵/۶۷\times۱۰^{-۸}$
k_B	ثابت بولتزمان	$JK^{-۱}$	$۱/۳۸\times۱۰^{-۲۳}$
h	ثابت پلانک	Js	$۶/۶۳\times۱۰^{-۳۴}$
e	بار الکترون	C	$۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}$
c	سرعت نور	$ms^{-۱}$	$۳/۰۰\times۱۰^{۸}$
pc	پارسک	m	$۳/۰۹\times۱۰^{۱۶}$
Au	واحد نجومی	m	$۱/۵۰\times۱۰^{۱۱}$
Ly	سال نوری	m	$۹/۴۶\times۱۰^{۱۵}$
$R_\odot$	شعاع خورشید	m	$۶/۹۶\times۱۰^{۸}$
$M_\odot$	جرم خورشید	kg	$۱/۹۹\times۱۰^{۳۰}$
$M_\oplus$	جرم زمین	kg	$۵/۹۷\times۱۰^{۲۴}$
$L_\odot$	درخشندگی خورشید	W	$۳/۸۵\times۱۰^{۲۶}$
	قدر مطلق بولومتریک خورشید		$۴/۷۲$
$m_\odot$	قدر ظاهری خورشید		$-۲۶/۸$
	فاصله‌ی کهکشان امراه‌المسلسله یا آندرومدا از خورشید	kpc	۷۷۰
$H_\circ$	ثابت هابل در حال حاضر	$Kms^{-۱}Mpc^{-۱}$	۷۰
$f_\odot$	ثابت خورشیدی	$Wm^{-۲}$	$۱/۳۷\times۱۰^{۳}$

۱- ماخ برخلاف اینکه می‌دانیم ستاره‌ها به دلیل دور بودنشان از ما، همگی چشمه‌های نوری نقطه‌ای هستند؛ چرا با چشم غیرمسلح یا در تصاویر نجومی درشت و ریز دیده می‌شوند؟

الف) این امر فقط به دلیل جو زمین بوده و خارج از آن، ستاره‌ها همگی به یک اندازه دیده می‌شوند.

ب) درشت دیده شدن ستاره‌ها به دلیل پراش نور است.

ج) درشت دیده شدن برخی ستاره‌ها به دلیل اشباع سلول‌های چشم یا صفحات عکاسی است.

د) ستاره‌های رشته اصلی ریز و ستاره‌های خارج از رشته اصلی درشت دیده می‌شوند.

۲- ماخ یکی از روش‌هایی که برای مطالعه‌ی خروج جرم در ستاره‌های بسیار سنگین استفاده می‌شود، استفاده از پهنای خطوط طیفی است. باد ستاره‌ای در جو یک ستاره با سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ثانیه در جریان است. پهنای خطوط طیفی این ستاره در طول‌موج ۶۰۰ نانومتر چند آنگستروم خواهد بود؟

الف) ۲ ب) ۴ ج) ۲۰ د) ۴۰

۳- ماخ یک تلسکوپ حرفه‌ای که به‌خوبی قطبی شده، با استقرار استوایی نصب‌شده و در حال ره‌گیری اجرام آسمانی است.

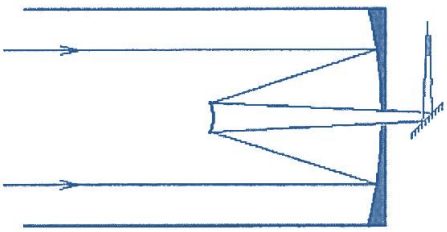
الف) میدان دید این تلسکوپ برخلاف تلسکوپ‌های سمت - ارتفاعی ثابت است.

ب) چنین تلسکوپی قادر به ره‌گیری چشمه‌های آسمانی در زوایای میل بیش از 60° نخواهد بود.

ج) میدان دید آن برخلاف تلسکوپ سمت - ارتفاعی به‌کندی می‌چرخد.

د) این تلسکوپ برای ره‌گیری اجرام آسمانی به هیچ موتوری نیاز ندارد.

۴- ماخ شکل شماتیک روبرو چه نوع تلسکوپی را نشان می‌دهد؟



الف) نیوتونی

ب) شکستی

ج) اشمیت - کاسگرین

د) کاسگرین

۵- ماخ یکی از بخش‌های اصلی جو زمین لایه‌ی یون - سپهر است که به دلیل داشتن چگالی بالای یونی، باعث بازتاب امواج رادیویی در فرکانس‌های پایین می‌شود. در یک کار تقریباً آماتوری، می‌توان یک آنتن حلقوی رادیویی ساخت که در فرکانس‌های خیلی پایین در حدود ۳ تا ۳۰ کیلوهرتز کار کند و با استفاده از آن، بتوان اختلالات یون - سپهری را مشاهده کرد.

کدام‌یک از موارد زیر قابل انجام توسط آنتن فوق نیست؟

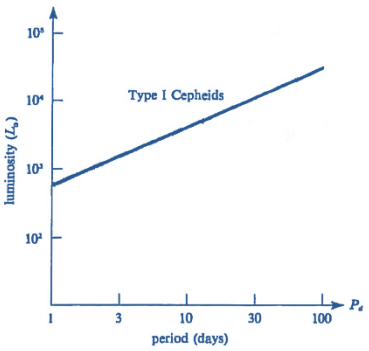
الف) مطالعه اثرات بادهای خورشیدی (باد خورشیدی به ذرات بارداری گفته می‌شود که خورشید به فضای اطراف پرتاب می‌کند)

ب) مطالعه‌ی چشمه‌های رادیویی آسمان در فرکانس‌های پایین

ج) شمارش شهاب‌سنگ‌ها در شب‌های بارش شهابی

د) مطالعه‌ی فعالیت‌ها و شراره‌های خورشیدی

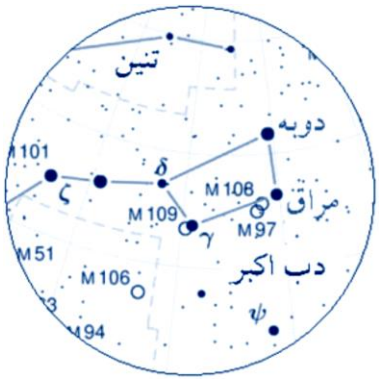
۶- منحنی درخشندگی متوسط متغیرهای قیفاووسی نوع I برحسب دوره‌ی تغییرات درخشندگی آن‌ها به‌صورت نشان داده‌شده در شکل روبرو است. یک متغیر قیفاووسی در کهکشان امراه‌المسلسله یا آندرومدا واقع‌شده است؛ که دوره‌ی تغییرات درخشندگی تقریباً ۱۰۰ روزه‌ای دارد. قدر ظاهری متوسط آن به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟



الف) ۲۰ ب) ۱۷

ج) ۱۴ د) ۱۱

۷- میدان دید این تلسکوپ به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟



الف) $۰۰/۱\pi$ استرادیان

ب) $۵۰/۰\pi$ استرادیان

ج) $۲۵/۰\pi$ استرادیان

د) $۰۷/۰\pi$ استرادیان

۸- شعاع چرخش یک ذره‌ی باردار در یک میدان مغناطیسی یکنواخت را شعاع لارمور آن ذره می‌گوییم. شعاع لارمور یک ذره باردار نسبیتی به بار q و با انرژی E که در میدان مغناطیسی B قرارگرفته است برابر $r = E / qBc$ است که در این رابطه c سرعت نور است.

امتداد میدان مغناطیسی غیر صفر کهکشان راه‌شیری در امتداد بازوها است؛ بنابراین ذرات باردار خارج‌شده از ستاره‌ها در این میدان منحرف خواهند شد. درصورتی‌که شعاع لارمور این ذرات کمتر از نصف ضخامت کهکشان باشد در این میدان سرگردان خواهند شد و درصورتی‌که شعاع لارمور آن‌ها بیش از نصف ضخامت کهکشان باشد از کهکشان خواهند گریخت. بنابراین ذرات کم‌انرژی‌تر قابل دریافت در سطح زمین، منشأ فرا کهکشانی خواهند داشت.

یک هسته‌ی آهن $[{}^{۵۶}_{۲۶}Fe]$ با چه انرژی می‌تواند شعاع لارموری برابر با نصف ضخامت کهکشان (تقریباً ۱۵۰ پارسک) داشته باشد تا از کهکشان راه‌شیری با میدان مغناطیسی تقریبی $۱۰^{-۱۰}$ تسلا فرار کند؟

الف) $۳/۶\times۱۰^{+۱۲}$ الکترون‌ولت

ب) $۳/۶\times۱۰^{+۱۵}$ الکترون‌ولت

ج) $۳/۶\times۱۰^{+۱۸}$ الکترون‌ولت

د) $۳/۶\times۱۰^{+۲۰}$ الکترون‌ولت

۹- اگر با لنز نرمال (لنزی که **نه تله است، نه زوم**) و یک پایه عکاسی ثابت از یک ستاره که روی استوای سماوی قرارگرفته است؛ به مدت حدود ۳۰ ثانیه عکس گرفته و نوردهی کنیم کشیدگی ستاره روی تصویر با چشم قابل‌رؤیت نخواهد بود. حداکثر به ترتیب چند ثانیه می‌توانیم دریچه‌ی دوربین عکاسی را برای ستاره‌هایی که در میل‌های ۳۰° ، ۴۵° و ۶۰° قرار دارند باز نگه داریم تا رد این ستاره‌ها روی تصویر با چشم قابل‌رؤیت نباشد؟

الف) $۳۵s$، $۴۲s$ و $۶۰s$

ب) $۲۶s$، $۲۱s$ و $۱۵s$

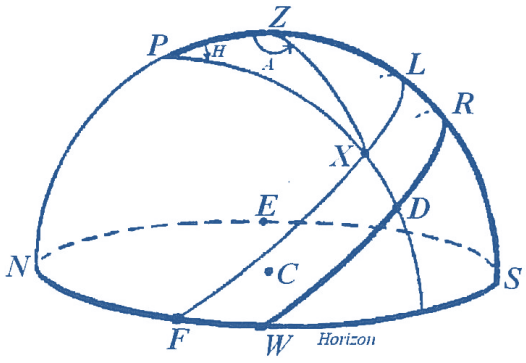
ج) $۶۰s$، $۴۲s$ و $۳۵s$

د) $۳۰s$، $۳۰s$ و $۳۰s$

۱۰- در اولین مراحل کارهای آماتوری نجوم، معمولاً منجمان از دوربین‌های دوچشمی یا تک‌چشمی استفاده می‌کنند. شناسه‌های یک دوربین دوچشمی معمولاً با دو عدد نشان داده می‌شود. که عدد سمت راست قطر عدسی شیئی را برحسب میلی‌متر و عدد سمت چپ بزرگ‌نمایی را نشان می‌دهد. یکی از این دوربین‌ها که برای کارهای رصد آماتوری مناسب است دوربین ۶۰×۲۰ می‌باشد. اگر فاصله‌ی کانونی عدسی چشمی این دوربین ۲ سانتی‌متر باشد، فاصله کانونی عدسی شیئی آن چند سانتی‌متر خواهد بود؟

الف) ۱۲ ب) ۲۰ ج) ۴۰ د) ۶۰

۱۱- میل ستاره‌ای که در ارتفاع 37° و سمت 230° از دید ناظری در تهران $(51^\circ E\ ,\ 35^\circ N)$ رؤیت می‌شود را محاسبه کنید. راهنمایی: از شکل روبرو می‌توانید استفاده کنید:



الف) $61/2^\circ$

ب) $50/0^\circ$

ج) $25/6^\circ$

د) $-4/3^\circ$

۱۲- طول‌موج تابش زمینه‌ی کیهان برحسب متر به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

الف) $2/7\times10^{3}$ ۲) $2/7$ ج) $5/3\times10^{-3}$ د) $5/3\times10^{-6}$

۱۳- در یک برنامه‌ی رصد که باهدف محاسبه ZHR (آهنگ ساعتی سرسویی) بارش شهابی ترتیب داده می‌شود؛ کدام‌یک از کارهای زیر از اهمیت کمتری برخوردار است؟

الف) تقسیم قسمت‌های مختلف آسمان بین راصدان و مشاهده و ثبت داده‌های هر قسمت توسط افراد متفاوت.

ب) عکس‌برداری طولانی مدت به‌وسیله‌ی تلسکوپ از مرکز بارش.

ج) مطالعه‌ی مرکز بارش و زمان اوج بارش پیش از آغاز رصد.

د) انتخاب موقعیت مناسب جغرافیایی برای رصد.

۱۴- کدام‌یک از موارد زیر در مورد پدیده‌ی جزر و مد نادرست است:

الف) جزر و مد در زمان‌های متفاوت یک ماه قمری متفاوت است.

ب) در سواحل شمالی ایران پدیده‌ی جزر و مد دیده نمی‌شود.

ج) جزر و مد به ماه و خورشید وابسته است.

د) جزر و مد مستقل از عرض جغرافیایی ناظر است.

۱۵- فرض کنید پتانسیل گرانشی یک جرم نقطه‌ای به جرم M در فاصله‌ی r از آن، به‌جای قانون متعارف گرانش نیوتونی که به‌صورت $\varphi = GM_{\odot}/r$ است به‌صورت $\varphi = \sqrt{GM_{\odot}A_S}\ln(r)$ باشد. که در آن A_S ثابت است و مقدار آن در واحدهای SI برابر است با $A_S = ۱۰^{-۵}$ سرعت دورانی دو سیاره به جرم‌های m و $۲m$ (m جرم زمین) که به ترتیب در مدارهایی دایره‌ای با شعاع‌های $r_۱ = ۱AU$ و $r_۲ = ۲AU$ حول ستاره‌ای به جرم خورشید در حال دوران هستند؛ به ترتیب چند کیلومتر بر ثانیه است؟

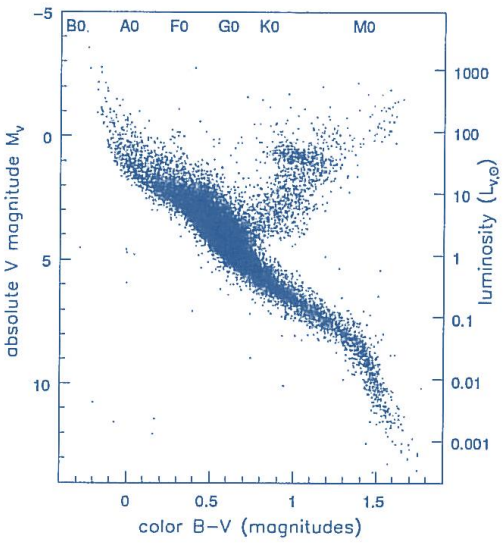
الف) ۱۱۰ و ۲۲۰ ب) ۲۲۰ و ۲۲۰ ج) ۳۰ و ۶۰ د) ۶ و ۶

۱۶- دو کهکشان به فاصله‌ی یک مگا پارسک از یکدیگر قرار دارند و جرم آن‌ها به ترتیب $M_۱ = ۱۰^{۱۰}M_{\odot}$ و $M_۲ = ۲\times۱۰^{۱۰}M_{\odot}$ است. کهکشان‌ها را نقطه‌ای فرض کنید و از وجود ماده‌ی تاریک صرف‌نظر کنید.

کم‌ترین مقدار سرعت فرار برای یک ستاره که در نقطه‌ای روی خط واصل بین این دو کهکشان قرارگرفته است تقریباً چند کیلومتر بر ثانیه خواهد بود؟

الف) ۱۰ ب) ۲۵ ج) ۷۵ د) ۲۲۰

۱۷- نمودار قدر-رنگ (هرتزپرانگ-راسل) مربوط به ستاره‌های قابل‌مشاهده‌ی اطراف خورشید در شکل روبرو نشان داده‌شده است. کدام گزینه در مورد علت کم بودن ستاره‌ها در ناحیه‌ی قرمزرنگ صحیح است؟



الف) درخشندگی ستاره‌های قرمزتر کم است و آشکارسازی آن‌ها دشوار است.

ب) بسیاری از ستاره‌های قرمزرنگ با ادغام با یکدیگر تبدیل به ستاره‌های نوع G می‌شوند.

ج) اساساً فراوانی ستاره‌های قرمزرنگ کمتر از ستاره‌های نوع G ولی بیشتر از ستاره‌های آبی‌رنگ است.

د) وجود نوارهای مولکولی زیاد در طیف ستارگان قرمزتر.

۱۸- برای کدام دسته از ستارها قدر مطلق مرئی کم‌ترین اختلاف را با قدر مطلق بولومتریک دارد؟

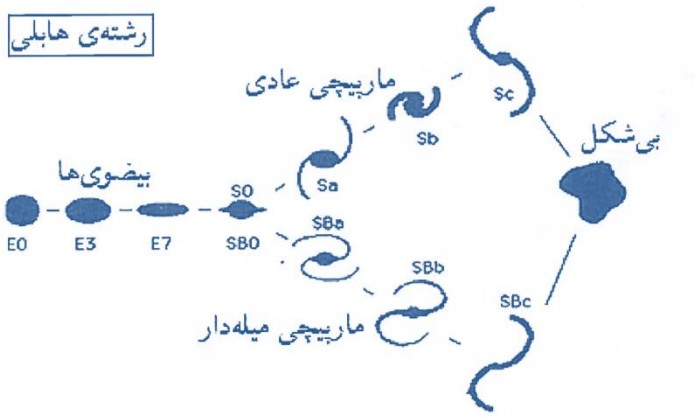
الف) ستارگانی که مقدار فلزیت (متالیسیتی) آن‌ها بسیار کم است.

ب) ستارگان با دمای سطحی متوسط.

ج) ستارگان با دمای سطحی زیاد و نزدیک‌تر از ۱۰ پارسک به خورشید.

د) ستارگان با دمای سطحی کم و نزدیک‌تر از ۱۰ پارسک به خورشید.

۱۹- شکل زیر که تقسیم‌بندی انواع کهکشان‌ها را برحسب شکل ظاهری‌شان نشان می‌دهد؛ به رشته‌ی هابلی معروف است. کدام‌یک از روابط همبستگی زیر بین خواص فیزیکی کهکشان‌ها و شکل آن‌ها **برقرار نیست؟**



الف) اندازه و جرم کهکشان‌ها روند خاصی را از چپ به راست نشان نمی‌دهد.

ب) آهنگ تشکیل ستاره‌ای در کهکشان‌ها از چپ به راست کاهش می‌یابد.

ج) کسر جرمی گاز هیدروژن خنثی در کهکشان‌ها از چپ به راست افزایش می‌یابد.

د) شاخص رنگ $(B-V)$ کهکشان‌ها از چپ به راست کاهش می‌یابد.

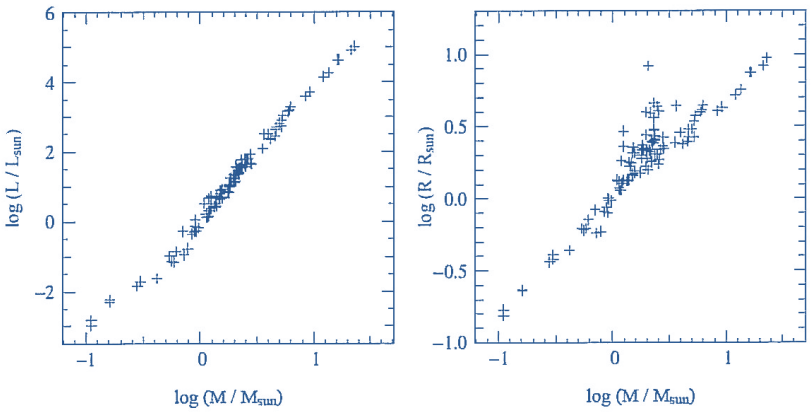
۲۰- در یک خوشه‌ی کروی، ستاره‌ها از طریق نیروی گرانش با هم برهم‌کنش می‌کنند. یک **برهم‌کنش قوی بین دو ستاره** در فاصله‌ای رخ می‌دهد که انرژی گرانشی بین آن دو ستاره تقریباً برابر با انرژی جنبشی آن‌ها شود. فرض کنید در یک خوشه‌ی کروی، چگالی عددی متوسط ستاره‌ها برابر با ۱۰۰۰ ستاره بر پارسک مکعب است. اگر سرعت متوسط حرکت ستاره‌ها در این خوشه‌ی کروی $۱۰^{km}/_{s}$ باشد چه مدت طول می‌کشد تا یک ستاره با ستاره‌ای دیگر برهم‌کنش قوی داشته باشد؟ فرض کنید جرم همه‌ی ستاره‌ها برابر جرم خورشید است.

الف) ۴۰ میلیون سال
ب) ۴۰۰ میلیون سال
ج) ۴ میلیارد سال
د) ۴۰ میلیارد سال

۲۱- نسبت نیروی گرانش وارد بر ماه از طرف خورشید به نیروی گرانشی وارد بر ماه از طرف زمین به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

الف) ۲۰۰
ب) ۲۰
ج) ۲
د) ۰/۲

۲۲- در شکل‌های زیر نمودار جرم-درخشندگی و جرم-شعاع تعدادی از ستاره‌های اطراف خورشید نشان داده‌شده است. اگر رابطه‌ی درخشندگی-شعاع به‌صورت $L \propto R^x$ باشد؛ مقدار x به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟



الف) ۳/۲
ب) ۲/۳
ج) ۴/۵
د) ۶/۷

۲۳- ماخ کدام‌یک از عبارت زیر در مورد خوشه‌های کروی صحیح است؟

الف) در یک خوشه‌ی کروی معمولی در کهکشان ما، امکان ندارد ستاره‌ای از رده‌ی طیفی K وجود داشته باشد.

ب) برای تعیین فاصله‌ی خوشه‌های کروی تا فاصله‌ی کمتر از ۳ مگا پارسک از قانون هابل می‌توان استفاده کرد.

ج) فلزیت خوشه‌های کروی معمولاً کم‌تر از فلزیت خورشید است.

د) خوشه‌های کروی در کهکشان راه‌شیری عمدتاً در قرص کهکشان توزیع‌شده‌اند.

۲۴- ماخ اطلاعاتی از دو کهکشان از یک خوشه کهکشانی نزدیک به ترتیب به شرح زیر داده‌شده است:

شار دریافتی روی زمین برحسب $(\frac{watt}{m^2})$: $b_1 = ۵\times۱۰^{-۱۳}$ و $b_2 = ۲/۵۴\times۱۰^{-۱۲}$، درخشندگی برحسب $watt$: $L_1 = ۵/۳۹\times۱۰^{۳۶}$

و $L_2 = ۲/۷۳\times۱۰^{۳۷}$ و سرعت چرخش برحسب km/s : $v_1 = ۱۰۰$ و $v_2 = ۱۵۰$.

فاصله تقریبی این خوشه از ما برحسب مگا پارسک به کدام عدد نزدیک‌تر است؟

الف) ۳ ب) ۷ ج) ۳۰ د) ۷۰

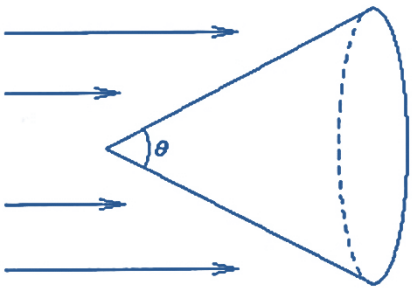
۲۵- ماخ یک گیرنده رادیویی روی دکلی وسط یک دریاچه‌ی آرام نصب می‌شود تا امواج رادیویی را از ماهواره‌ای در حال پخش به دور زمین دریافت کند. ماهواره از افق طلوع کرده و بالای سطح افق پیش می‌رود و شدت آن به‌صورت دوره‌ای تغییر می‌کند. وقتی ماهواره $\theta = ۳^\circ$ بالای افق قرار دارد؛ شدت سیگنال بیشینه است و در $\theta = ۶^\circ$ دوباره بیشینه دوم به وجود می‌آید. طول‌موج سیگنال ماهواره چند متر است؟ (فرض کنید گیرنده در ارتفاع ۴ متری بالای سطح دریاچه قرار دارد).

الف) ۰/۱ ب) ۰/۴ ج) ۱ د) ۴

۲۶- ماخ فشار جو مریخ ۰/۰۰۵ برابر فشار جو زمین است. قطر مریخ نیز تقریباً نصف قطر کره زمین و چگالی زمین و مریخ برحسب kg/m^3 به ترتیب $۵/۵\times۱۰^3$ و $۴/۰\times۱۰^3$ است. نسبت جرم‌های جو مریخ به جو زمین به کدام عدد نزدیک‌تر است؟

الف) $۴/۰\times۱۰^{-۵}$ ب) $۴/۰\times۱۰^{-۴}$ ج) $۴/۰\times۱۰^{-۳}$ د) $۴/۰\times۱۰^{-۲}$

۲۷- ماخ یک سفینه فضایی مخروطی شکل از فشار تابشی خورشید برای دور کردن خود از خورشید استفاده می‌کند. محور مخروط دقیقاً از مرکز خورشید عبور می‌کند. معمولاً برای اینکه سفینه شتاب بیشتری پیدا کند سطح مخروطی سفینه را با ماده‌ای که بازتاب زیادی دارد می‌پوشانند. اما پس از ساخت سفینه متوجه می‌شوند که برخلاف انتظارشان شتاب عملاً ۳۰٪ کاهش‌یافته است. زاویه رأس این مخروط چقدر است:



الف) $\tan^{-۱}(۰/۳)$ ب) $\tan^{-۱}(۰/۷)$

ج) $\cos^{-۱}(۰/۳)$ د) $\cos^{-۱}(۰/۷)$

۲۸- در تلسکوپ‌های زمینی با دقت ۰/۰۱ ثانیه‌ی قوسی و به روش اختلاف‌منظر می‌توان فاصله‌ی ستاره‌ها را اندازه گرفت. تلسکوپ فضایی $Gaia$ قرار است این دقت زاویه‌ای را به ۱۰ میکروثانیه‌ی قوسی برساند. چگالی میانگین ستاره‌ای در کهکشان ۰/۱ ستاره بر پارسک مکعب است. با استفاده از این تلسکوپ جدید نسبت افزایش ستاره‌هایی که از این روش قادر به اندازه‌گیری فاصله‌ی آن‌ها خواهیم شد؛ چقدر خواهد بود؟

الف) 10^{11} ب) 10^{9} ج) 10^{7} د) 10^{5}

۲۹- مقدار ثابت هابل که توسط ادوین هابل در دهه‌ی ۲۰ میلادی اندازه‌گیری شده بود برابر با $500(km/s)/Mpc$ بود. بر اساس این اندازه‌گیری عمر عالم برحسب میلیارد سال به کدام عدد نزدیک‌تر می‌شد؟

الف) ۷۲ ب) ۱۴ ج) ۷/۲ د) ۱/۴

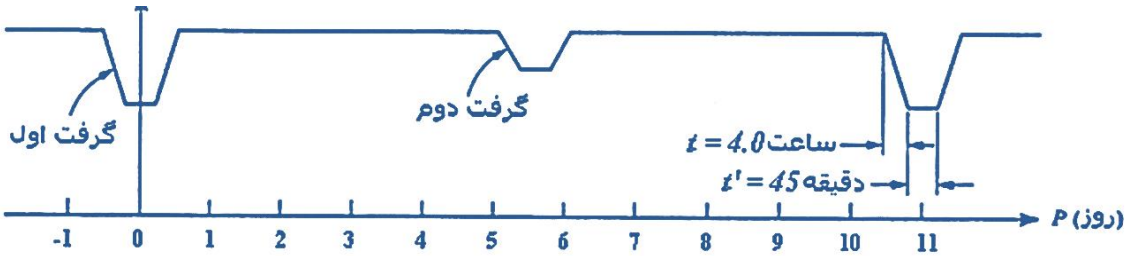
۳۰- کوچک‌ترین جزئی از کهکشان امراه‌المسلسله یا آندرومدا که با تلسکوپ $VLBI$ و تداخل‌سنج آن‌که به‌اندازه‌ی ۰/۰۰۱ ثانیه قوسی دیده می‌شود حدوداً چند پارسک خواهد بود؟

الف) ۰/۰۰۰۴ ب) ۰/۰۰۴ ج) ۰/۰۴ د) ۰/۴

۳۱- اگر قرار باشد بین دو پروتون نیروی هسته‌ای قوی برقرار شود؛ باید فاصله‌ی آن‌ها در حدود $d = 10^{-15}$ متر شود. دمایی که در آن همجوشی هسته‌ای بین دو پروتون بدون در نظر گرفتن اثرات کوانتومی اتفاق می‌افتد به کدام گزینه نزدیک‌تر است.

الف) $1/5\times10^{9}$ کلوین ب) $4/0\times10^{8}$ کلوین ج) $1/5\times10^{7}$ کلوین د) $4/0\times10^{6}$ کلوین

۳۲- فاصله‌ی دو ستاره‌ی رشته‌ی اصلی در حدود فاصله‌ی خورشید تا ناهید ($r = 1/0\times10^{11}$ متر) است. این دو مؤلفه یک دوتایی گرفتی را تشکیل می‌دهند و منحنی نوری آن‌ها به شکل زیر است. با استفاده از اطلاعات شکل، شعاع مؤلفه پرنورتر دوتایی چند متر است.



الف) $6/6\times10^{9}$ ب) $6/6\times10^{8}$

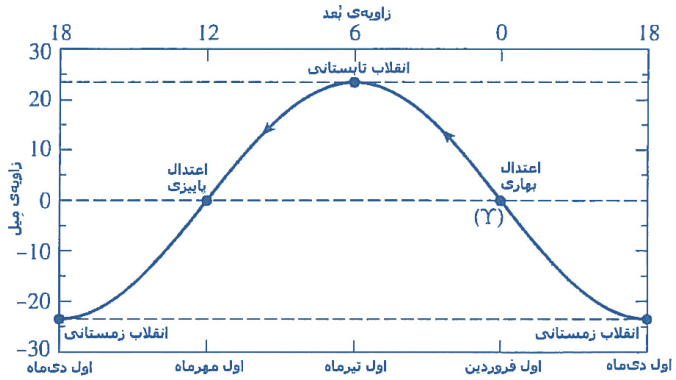
ج) $7/5\times10^{8}$ د) از منحنی نوری شعاع قابل محاسبه نیست.

۳۳- دو ستاره داریم که یکی قرمزتر از دیگری است. ستاره‌ی آبی ۱۰ برابر ستاره‌ی قرمز جرم دارد، اما تابندگی آن ۱۰۰۰۰ برابر بیش‌تر است. این دو ستاره در طول عمر خود ۱۰٪ از جرم خود را به‌عنوان سوخت مصرف می‌کنند اگر هر دو ستاره انرژی خود را از طریق همجوشی هسته‌ای هیدروژنی تأمین کنند و ستاره‌ی قرمز ۱۵ میلیارد سال عمر کند، ستاره‌ی آبی چند سال عمر خواهد کرد؟

الف) ۱۵ میلیون سال ب) ۱۵۰ میلیون سال

ج) ۱۵۰۰ میلیون سال د) این دو ستاره عمر یکسانی خواهند داشت

۳۴- در تاریخ‌های ۷ خردادماه و ۲۳ تیرماه در ساعت ۴۵ : ۱۳ (ساعت اذان به‌وقت مکه) در هر کجایی که باشیم، اگر امتداد سایه‌ی چوبی را روی زمین ثبت کنیم، جهت قبله را به دست خواهیم آورد.

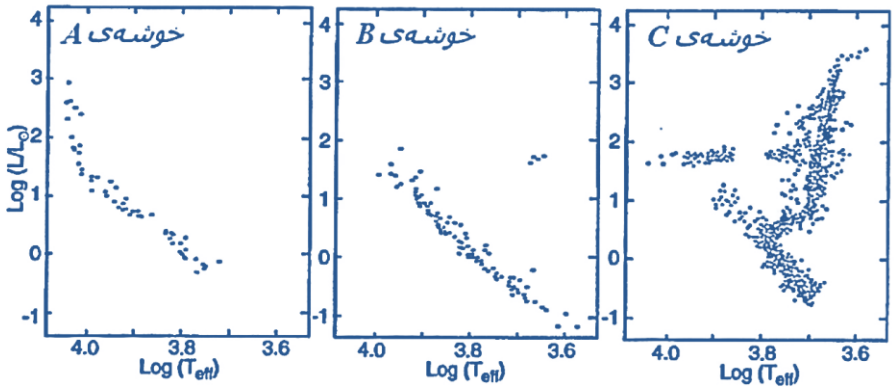


عرض جغرافیایی مکه چقدر است؟ (راهنمایی: از شکل صفحه‌ی بعد استفاده کنید).

الف) $۱۰ / ۵^\circ$ ب) $۱۵ / ۵^\circ$

ج) $۲۰ / ۵^\circ$ د) $۲۳ / ۵^\circ$

۳۵- با استفاده از اطلاعات موجود در نمودارهای $H-R$ مربوط به سه خوشه‌ی ستاره‌ای زیر؛ پاسخ دهید. کدام گزینه نادرست است؟



الف) خوشه‌ی C پیرترین خوشه است.

ب) خوشه‌ی A جوان‌تر از خوشه‌ی B است.

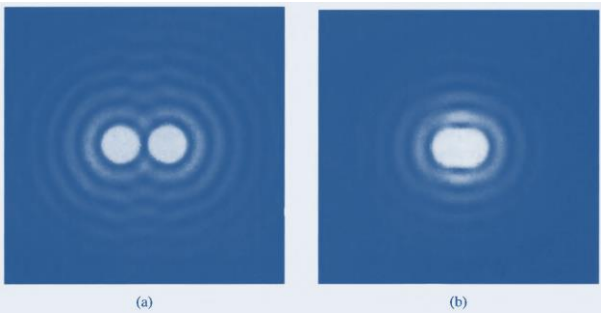
ج) عمر ستاره‌های با درخشندگی کم‌تر طولانی‌تر است.

د) درباره‌ی عمر ستاره‌هایی که از رشته‌ی اصلی خارج می‌شوند چیزی نمی‌توان گفت.

کلید سؤالات

۱ الف	۲۱ الف	۴۱ الف
۲ الف	۲۲ الف	۴۲ الف
۳ الف	۲۳ الف	۴۳ الف
۴ الف	۲۴ الف	۴۴ الف
۵ الف	۲۵ الف	۴۵ الف
۶ الف	۲۶ الف	۴۶ الف
۷ الف	۲۷ الف	۴۷ الف
۸ الف	۲۸ الف	۴۸ الف
۹ الف	۲۹ الف	۴۹ الف
۱۰ الف	۳۰ الف	۵۰ الف
۱۱ الف	۳۱ الف	۵۱ الف
۱۲ الف	۳۲ الف	۵۲ الف
۱۳ الف	۳۳ الف	۵۳ الف
۱۴ الف	۳۴ الف	۵۴ الف
۱۵ الف	۳۵ الف	۵۵ الف
۱۶ الف	۳۶ الف	۵۶ الف
۱۷ الف	۳۷ الف	۵۷ الف
۱۸ الف	۳۸ الف	۵۸ الف
۱۹ الف	۳۹ الف	۵۹ الف
۲۰ الف	۴۰ الف	۶۰ الف

۱- کمیته‌ی علمی باشگاه دانش‌پژوهان گزینه‌ی ب را به عنوان پاسخ صحیح اعلام کرده است. (شبهه‌دار گزینه‌ی ج هم پاسخ صحیح است.)



توانایی تشخیص و تفکیک دو جسم در فضا با جدایی زاویه‌ای θ، تنها به انتخاب فاصله‌ی کانونی مناسب محدود نمی‌شود. محدودیت اساسی دیگری نیز در توانایی ما برای تفکیک این اجرام وجود دارد. این محدودیت به علت پراشی به وجود می‌آید که جبهه موج‌های پیش روی نور رسیده ایجاد می‌کنند. هنگامی‌که بیشینه‌ی مرکزی یک الگو بر روی محل نخستین کمینه‌ی الگوی پراش منبع دیگری بیافتد گفته می‌شود دو منبع تفکیک‌ناپذیر هستند. این شرط تفکیک قراردادی، معیار رِیلی نامیده می‌شود. با فرض این‌که $\theta_{\min}$ کاملاً کوچک باشد و تقریب زاویه‌ی کوچک $\sin\theta_{\min} \simeq \theta_{\min}$، باشد. معیار ریلی به این صورت در می‌آید: $\theta_{\min} = ۱/۲۲ \frac{\lambda}{D}$. بنابراین قدرت تفکیک یک تلسکوپ با افزایش قطر دهانه و انتخاب طول موج‌های کوچک‌تر برای مشاهده، درست همان‌طور که از پدیده‌ی پراش انتظار می‌رود، بهبود می‌یابد.

متن فوق برگرفته از ترجمه‌ی کتاب an introduction to modern astrophysics ترجمه‌ی احسان مهرجو و کامبیز خالقی است.

توجه: گزینه‌ی ج هم می‌تواند پاسخ صحیح باشد. با توجه به این که در تصویربرداری‌های نجومی پارامتری که میزان روشنایی تصاویر را تعیین می‌کند مدت زمان نوردهی است؛ به ازای مدت زمان‌های نوردهی بلندتر، شار فوتون‌های رسیده به پیکسل‌های سی.سی.دی یا چشم پس از اشباع سلول اولیه به پیکسل‌ها یا سلول‌های مجاور سر ریز می‌شود و باعث پرنورتر دیده شدن و بزرگ‌تر به نظر رسیدن ستاره‌ی مورد بررسی بر روی تصویر حاصل، می‌شود.

۲- گزینه ب پاسخ صحیح است.

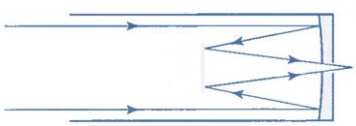
پهنای خط طیفی به میزان تأثیر اثر دوپلر ناشی از چرخش دورانی ستاره بستگی دارد.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_{\circ}} = \frac{V_r}{c} \Rightarrow \Delta\lambda = ۴\times۱۰^{-۱۰} m = ۴\,\mathring{A}\,m$$

۳- گزینه الف پاسخ صحیح است.

در استقرارهای استوایی محدوده‌ی میدان دید ثابت است؛ اما جهت تصویر مشاهده شده با گذر زمان نسبت به راستای عمود، می‌چرخد. یعنی ناظری که روی زمین ایستاده در طی شبانه‌روز با زوایای متفاوتی به جسم آسمانی واقع در میدان دید نگاه می‌کند. اما در گزینه‌ی ج گفته شده که برخلاف تلسکوپ‌های سمت-ارتفاعی میدان دید می‌چرخد؛ که این گزاره هم غلط است چرا که اصلی‌ترین عیب استقرارهای سمت-ارتفاعی همین چرخش میدان دید است.

۴- گزینه د پاسخ صحیح است.

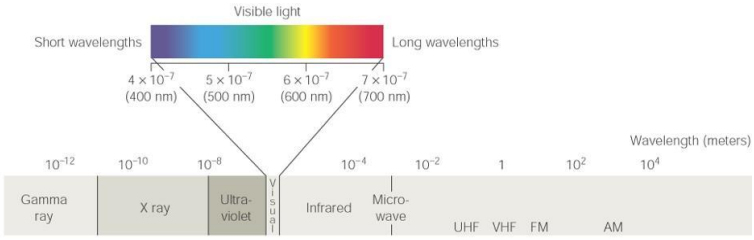


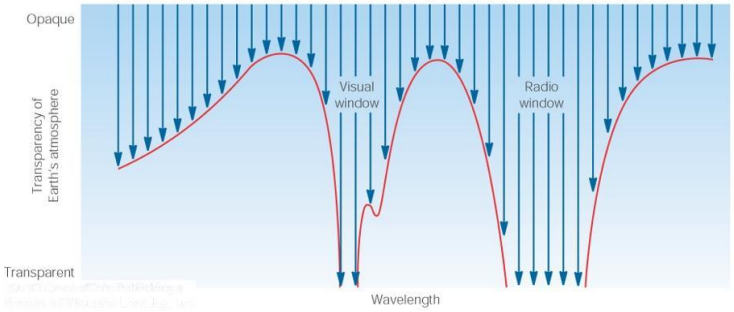
با توجه به تصویر، گزینه‌های اول و دوم (نیوتنی و شکستی) حذف می‌شوند. چراکه نه فقط هیچ شباهتی به ساختار تلسکوپ شکستی ندارد، بلکه در مقایسه با تلسکوپ نیوتنی، می‌بینیم آینه‌ی ثانویه تصویر تلسکوپ محدب و آینه اصلی (شیئی) تلسکوپ نیز در وسط آن سوراخی دارد و نور از وسط آینه اصلی خارج می‌شود. به طور کلی تلسکوپ‌هایی که چشمی در پشت آینه‌ی اصلی تلسکوپ

قرار می‌گیرد و پرتو نور از وسط آینه‌ی اصلی خارج می‌شود، مربوط به ساختار **کاسگرین** است. حال اگر در ابتدای لوله‌ی تلسکوپ تیغه‌ی اصلاح کننده (عدسی) نیز قرار بگیرد، تبدیل به مدل اشمیت – کاسگرین یا ماکسوف– کاسگرین می‌شود. با توجه به تصویر و نداشتن تیغه‌ی اصلاح کننده در سر لوله‌ی تلسکوپ، گزینه‌ی چهار صحیح است.

۵- گزینه ب پاسخ صحیح است.

در تصویر روبرو پنجره‌های الکترومغناطیسی جو زمین را می‌بینید؛ چشمه‌های رادیویی با فرکانس پایین در یون سپهر جذب می‌شوند.





۶- گزینه ب پاسخ صحیح است.

با توجه به نمودار مشخص است که درخشندگی این متغیر قیفاووسی با دوره تناوب ۱۰۰ روز برابر $۱۰^{۴/۵}L_{\odot}$ است. از طرفی می‌دانیم این ستاره در کهکشان آندرومدا قرار گرفته که با توجه به جدول ثوابت در فاصله‌ی ۷۷۰ کیلوپارسکی از ما قرار گرفته است، بدین ترتیب با دانستن روشنایی آن و مقایسه با خورشید، قدر ظاهری این ستاره را تخمین می‌زنیم:

$$b=\frac{L}{۴\pi d^{۲}} \quad ; \quad d\simeq ۷۷۰\times ۱۰^{۳}\times ۳/۰۹\times ۱۰^{۱۶}=۲/۳\times ۱۰^{۲۲}m \quad \Rightarrow b=\frac{۱۰^{۴/۵}\times ۳/۸۵\times ۱۰^{۲۶}}{۴\pi(۲/۳\times ۱۰^{۲۲})^{۲}}=۱/۸\times ۱۰^{-۱۵}$$

$$m-n=-۲/۵\log\frac{b_m}{b_n}\Rightarrow m=-۲۶/۷-۲/۵\log\frac{۱/۸\times ۱۰^{-۱۵}}{۱۳۷۰}=۱۷/۹۸$$

۷- گزینه د پاسخ صحیح است.

نخستین مرحله برای پاسخ به سوال، بدست آوردن حدود میدان دید تصویر بر حسب درجه است. تصویر صورت‌فلکی دب اکبر راهنمای خوبی برای تعیین میدان دید تصویر است. همان‌طور که می‌دانیم فاصله‌ی دو ستاره‌ی دبّه و مراق حدود پنج درجه است. در نتیجه وسعت میدان دید تصویر به حدود ۳۰ درجه می‌رسد. حال باید دید این مقدار میدان دید (یا مساحت عرقچین) چه مقدار از کل مساحت کره‌ی آسمان را در بر می‌گیرد؟ با توجه به گزینه‌های مطرح شده، این نسبت باید برحسب استرادیان باشد. استرادیان واحد زاویه‌ی فضایی است که در واقع نسبت مساحت عرقچین به کل مساحت کره است.

فرمول مساحت عرقچین برابر با $S=۲\pi rh$ است. مقدار r را برابر یک واحد و مقدار h هم برابر با $r(۱-\cos a)$ می‌شود. مقدار زاویه a

همان مقدار میدان دید تصویر یا مقدار زاویه مخروط زاویه فضایی است. یعنی ۳۰ درجه. با جاگزاری اعداد، مقدار مساحت میدان دید تصویر (بخش عرقچین) ۰/۸۴ می‌شود. مساحت کل آسمان هم با توجه به فرمول $S = ۴\pi r^۲$ یا $S = ۴\pi$ برابر با ۱۲/۵۶۷ است. از تقسیم مساحت عرقچین بر مساحت کل آسمان، پاسخ سوال بدست می‌آید.

یا: فاصله‌ی دُبّه تا مراق ۵/۵ درجه است که از روی شکل برابر با ۱/۳ سانتی‌متر می‌شود؛ قطر دایره هم ۸ سانتی‌متر است پس با استفاده از یک تناسب ساده شعاع مطلوب میدان دید را برابر ۳۳/۸۴ درجه بدست می‌آوریم که پس از تبدیل به رادیان برابر ۰/۵۹ رادیان می‌شود؛

$$\Rightarrow S = \pi r^۲ = ۰/۰۸\,\pi\, strad$$

۸- ماخ **گزینه ج پاسخ صحیح است.**

با توجه به صورت سوال داریم: $E = qBcr$ و مقادیر مورد نیاز هم به ترتیب ذیل آمده‌اند: $r = ۱۵۰\,pc = ۴/۶۳\times۱۰^{۱۸} m$ و $q = ۲۶\times۱/۶\times۱۰^{-۱۹}$ و $B = ۱۰^{-۱۰}$ و $c = ۳\times۱۰^{۸}$ در نتیجه با جایگذاری مقادیر داریم:

$$E = ۰/۵۷۸\,J = \frac{۰/۵۷۸}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}} = ۳/۶\times۱۰^{+۱۸}$$

۹- ماخ **گزینه الف پاسخ صحیح است.**

توجه: منظور سوال از لنز نرمال (لنزی است که نه تله است نه واید)

برای تبدیل طول کمان دایره‌ی عظیمه به دایره‌ی صغیره کافیست، طول کمان را بر کسینوس زاویه‌ی میل تقسیم کنیم: با انجام این کار برای کمانی به طول ۳۰ ثانیه‌ی قوس، به ترتیب به مقادیر ذیل خواهیم رسید:

$$x = \frac{\Delta H}{\cos\delta} = \frac{۳۰''}{\cos ۶۰} \;,\; \frac{۳۰''}{\cos ۴۵} \;,\; \frac{۳۰''}{\cos ۳۰} = ۶۰ \;,\; ۴۲ \;,\; ۳۵s$$

یا:

با توجه به تعریف حرکت دورانی، شعاع دوران بیشتر سرعت خطی بیشتری را در پی خواهد داشت در نتیجه بیشترین سرعت خطی مختص به ستارگان با میل کمتر است پس با افزایش میل و در نتیجه‌ی کاهش سرعت خطی، می‌توان با نوردهی بیشتر اثر رد ستارگان را حذف کرد.

۱۰- ماخ **گزینه ج پاسخ صحیح است.**

صورت سؤال را می‌توان به این صورت بازنویسی کرد: «اگر بزرگ‌نمایی یک دوربین دوچشمی ۲۰ برابر باشد و فاصله کانونی چشمی آن ۲ سانتی‌متر، در این صورت فاصله کانونی عدسی شیئی چند سانتی‌متر است؟» رابطه‌ی بین فاصله کانونی چشمی و فاصله کانونی شیئی و بزرگ‌نمایی از فرمول «فاصله کانونی چشمی (f) / فاصله کانونی شیئی (F) = بزرگ‌نمایی» بدست می‌آید. کافی است عدد بزرگنمایی را ضرب در عدد فاصله کانونی چشمی کنیم تا جواب بدست آید. در نتیجه پاسخ گزینه‌ی سه و مقدار فاصله کانونی شیئی ۴۰ سانتی‌متر است.

$$m = \frac{f_o}{f_e} \Rightarrow f_o = ۲۰\times۲ = ۴۰\,cm$$

۱۱- **گزینه د پاسخ صحیح است.** ماخ

با نوشتن قضیه‌ی کسینوس‌های در مثلث کروی PZX به ترتیب زیر و جایگذاری مقادیر، به پاسخ ذیل خواهیم رسید:

$$\cos(۹۰-\delta)=\cos(۹۰-\varphi)\cos(۹۰-a)+\sin(۹۰-\varphi)\sin(۹۰-a)\cos(۳۶۰-A) \Rightarrow$$
$$\cos(۹۰-\delta)=\cos(۹۰-۳۵)\cos(۹۰-۳۷)+\sin(۹۰-۳۵)\sin(۹۰-۳۷)\cos(۳۶۰-۲۳۰) \Rightarrow \delta=-۴/۳^{\circ}$$

توجه: شکل به کار رفته در سؤال موقعیت دقیق جسم مورد نظر را نشان نمی‌دهد (خطا در ترسیم نمودار).

۱۲- **گزینه ج پاسخ صحیح است.** ماخ

دمای تابش پس زمینه‌ی کیهانی ۲/۷ کلوین برآورد شده است؛ طول موج متناظر با این تابش از قانون وِین چنین بدست می‌آید:

$$\lambda_{\max}=\frac{۰/۰۰۲۹}{T} \Rightarrow \lambda_{\max}=\frac{۰/۰۰۲۹}{۲/۷}=۱/۰۷\times۱۰^{-۳}$$

که نزدیک‌ترین گزینه به این مرتبه از طول موج گزینه‌ی ج است.

۱۳- **گزینه ب پاسخ صحیح است.** ماخ

ZHR (نرخ سرسویی بارش شهابی) از رابطه‌ی $ZHR=\frac{N\times r^{۶/۵-m_{۰}}}{T_{eff}\times(۱-C)\times\sin\theta}$؛ به دست می‌آید. در این رابطه N تعداد شهاب‌های ثبت شده در یک بازه‌ی زمانی، $m_{۰}$ قدر حدی، T_{eff} زمان مفید ثبت در بازه‌ی زمانی (بر حسب ساعت)، C نسبت پوشیدگی آسمان، θ ارتفاع کانون بارش و r شاخص پراکندگی جمعیت است.

تقسیم نواحی مختلف آسمان بین رصدگران روی پارامتر C؛ مطالعه‌ی زمان اوج بارش و موقعیت مرکز بارش روی r و θ تأثیرگذار است؛ موقعیت مناسب هم علاوه بر کنترل مقدار θ، قدر حدی آسمان را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. تنها گزینه‌ی ج است که تأثیری بر تعیین نرخ سرسویی بارش ندارد (عکس‌برداری طولانی مدت)؛ آن هم با تلسکوپ که با توجه به میدان دید محدودش احتمال ثبت شهاب بسیار پایین است.

۱۴- **گزینه ب یا د پاسخ صحیح است.** ماخ

کمیته‌ی علمی باشگاه دانش‌پژوهان گزینه‌ی د را انتخاب کرده است.

جزر و مد پدیده‌ای است که طی آن، با توجه به نوع قرارگیری ماه و خورشید نسبت به یکدیگر، میزان و جهت نیروی جاذبه‌ی وارد شده بر آب‌های موجود بر روی سطح زمین، تغییر می‌کند. پس گزینه‌های الف و ج صحیح‌اند.

پدیده‌ی جزر و مد به تفاوت جهت و میزان نیروی گرانش وابسته است و همان‌طور که در یک سوی کره‌ی زمین باعث کاهش سطح آب می‌شود در نقطه‌ای دیگر به مد و افزایش سطح دریا می‌انجامد. پس با فرض هم صفحه بودن مدار زمین و ماه می‌توان گفت که زمان وقوع جزر و مد به طول جغرافیایی ناظر وابسته است. در مورد عرض جغرافیایی هم؛ میزان افزایش و کاهش سطح آب‌ها به عرض جغرافیایی وابسته است نه وقوع یا عدم وقوع جزر و مد پس گزینه‌ی د هم با دقت خوبی صحیح است.

در مورد گزینه‌ی ب هم هرچند به نظر می‌رسد در سواحل شمالی به علت عدم اتصال دریای خزر به آب‌های آزاد نباید جزر و مد اتفاق بیافتد اما دریای خزر یک استثناست چرا که به جهت گستردگی و مساحت بالایش، همواره و طی یک شبانه‌روز اثر برآیند نیروهای وارد شده از ماه و خورشید تغییر می‌کند و به پدیده‌ی جزر و مد می‌انجامد؛ عزیزانی که به شهرهای شمالی سفر کرده‌اند یقیناً این پدیده را از نزدیک مشاهده کرده‌اند.

۱۵- گزینه د پاسخ صحیح است.

می‌دانیم نیرو، مشتق پتانسیل است؛ بنابراین با داشت تابع پتانسیل به‌صورت $\varphi = \sqrt{GM_{\odot}A_S}\ln(r)$، و با دانستن $F = m\frac{d\varphi}{dr}, \varphi = \frac{U}{m}$؛ خواهیم داشت:

$$F = m\sqrt{GM_{\odot}A_S}\frac{d\ln(r)}{dr} = \frac{m\sqrt{GM_{\odot}A_S}}{r}$$

که این نیرو متناظر است با نیروی جانب مرکز $F = m\frac{v^2}{r}$. پس از برابرنهی این دو عبارت، خواهیم دید:

$$v = \sqrt[4]{GM_{\odot}A_S} = ۶۰۳۵\, m.s^{-1} = ۶\, km.s^{-1}$$

یعنی سرعت دورانی در چنین منظومه‌ای مستقل از شعاع‌های مداری است.

۱۶- گزینه ب پاسخ صحیح است.

سرعت فرار به ازای انرژی صفر به دست می‌آید؛ انرژی کل سیستم از رابطه‌ی ذیل به‌دست می‌آید:

$$\frac{۱}{۲}M_{\odot}v_{es}^2 - \frac{GM_۱M_{\odot}}{r_۱} - \frac{GM_۲M_{\odot}}{r_۲} = ۰ \Rightarrow v_{es}^2 = ۲G(\frac{M_{\odot}}{r_۱} + \frac{۲M_{\odot}}{r_۲}) = ۲GM_۱(\frac{۱}{r_۱} + \frac{۲}{r_۲})$$

از آنجا که می‌دانیم، $r_۱ + r_۲ = d$؛ با دانستن مقدار $r_۱$؛ می‌توانیم سرعت فرار را به دست آوریم. برای به دست‌آوردن کمینه‌ی سرعت فرار از دو طرف عبارت فوق مشتق می‌گیریم:

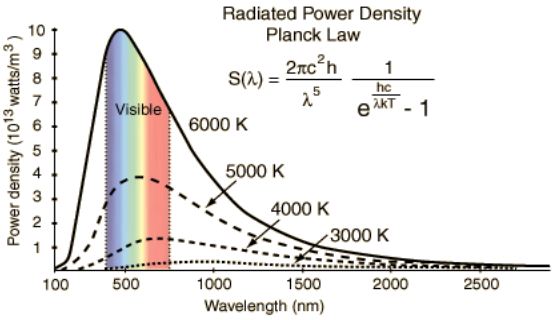
$$\frac{dv_{es}^2}{dr} = ۲GM_۱(\frac{۱}{r_۱^2} + \frac{۲}{(r_۱ - d)^2}) = ۰ \quad \Rightarrow ۲r_۱^2 + (r_۱ - d)^2 = ۰ \quad \Rightarrow \quad r_۱ = d(\sqrt{۲} - ۱)$$

با جایگذاری این مقدار در معادله‌ی سرعت فرار به پاسخ مطلوب ۲۲/۳۸ کیلومتر بر ثانیه؛ می‌رسیم.

۱۷- گزینه الف پاسخ صحیح است.

از آنجا که درخشندگی ستاره‌های قرمزتر و همین‌طور همتایان کم جرم‌ترشان یعنی کوتوله‌های قهوه‌ای یا ستاره‌های ناکام بسیار کمتر از ستاره‌های معمولی است و از طرفی احتمال یافت شدن ناحیه‌ای از عالم با ماده‌ی کافی برای شکل‌گیری ستاره‌های سرد بیشتر است؛ سال‌هاست که تعداد این اجرام بیشتر از حد انتظار برآورد می‌شود، به طوری که یکی از کاندیداهایی که احتمال می‌رفت سهم قابل‌توجهی از ماده‌ی تاریک موجود در عالم را پوشش دهد همین ستاره‌های قرمز و کوتوله‌های قهوه‌ای بودند. چنین به نظر می‌رسید که به علت درخشندگی کم این ستاره‌ها تعدادشان در عالم بسیار بیشتر از برآوردها و مشاهده‌های اولیه‌ی ما بوده باشد.

۱۸- ماخ گزینه ب پاسخ صحیح است.



درخشندگی بولومتریک، تابش در تمامی طول موج‌های طیف الکترومغناطیس است در نتیجه قدر مطلق ستاره‌ای که بیشتر تابش آن در ناحیه مرئی است به قدر مطلق بولومتریک آن نزدیک‌تر است.

جدول تابش ستارگان نیز به شرح ذیل است:

همان‌طور که می‌بینید ستاره‌های رده‌های طیفی F و G مشمول این شرطند.

کلاس	دما	رنگ قراردادی	رنگ ظاهری	جرم (جرم خورشیدی)	شعاع (شعاع خورشید)	درخشندگی
O	K 60,000–30,000	آبی	آبی	M 64	R 16	L 1,400,000
B	K 30,000–10,000	آبی متمایل به سفید	سفید آبی	M 18	R 7	L 20,000
A	K 10,000–7,500	سفید	سفید	M 3.1	R 2.1	L 40
F	K 7,500–6,000	زرد متمایل به سفید	سفید	M 1.7	R 1.4	L 6
G	K 6,000–5,000	زرد	زرد متمایل به سفید	M 1.1	R 1.1	L 1.2
K	K 5,000–3,500	نارنجی	زرد نارنجی	M 0.8	R 0.9	L 0.4
M	K 3,500–2,000	قرمز	زرد قرمز	M 0.4	R 0.5	L 0.04

در مورد گزینه‌ی الف هم باید گفت که میزان فلزیت ستاره به صورت خطی در دوران‌های مختلف زندگی ستاره تغییر نمی‌کند؛ پس به طور کلی با توجه به میزان فلزیت ستاره، چیز زیادی نمی‌توان گفت.

۱۹- ماخ گزینه ب پاسخ صحیح است.

کهکشان‌های مارپیچی صفحه‌ای برجسته از ستاره‌ها، گاز و غبار با برآمدگی مرکزی دارند. کهکشان‌های بیضوی از نظر شکل گردتر و یکنواخت‌تر هستند و به مرور زمان از حالت کاملاً کروی به تقریباً کشیده شده، گسترده می‌شوند. صفحه کهکشان‌های مارپیچی به علت ستاره‌های انبوه و گرمی که در ابرهای گاز و غبار آن قرار گرفته‌اند، آبی هستند. برآمدگی مرکزی کهکشان مارپیچی از نظر رنگ قرمز است زیرا هیچ فعالیت ستاره زایی در آنجا روی نمی‌دهد (پس گزینه‌ی د صحیح است). کهکشان‌های بیضوی دامنه وسیعی از جرم، از کهکشان‌های کوچکی که فقط یک میلیون برابر خورشید جرم دارند تا کهکشان‌های بسیار غول با یک تریلیون جرم خورشیدی، را در بر گرفته‌اند. حال آنکه کهکشان‌های مارپیچی دامنه بسیار باریکی از جرم‌ها، معمولاً از یک میلیارد تا چند صد میلیارد برابر جرم خورشید ما را در بر می‌گیرند (پس گزینه‌ی الف صحیح است). ابرهای گاز و غبار و توده‌های تازه تشکیل شده از ستاره‌ها، به کهکشان‌ها خصوصیت وصله‌دار بودن و مارپیچی شدن را می‌دهد (پس گزینه‌ی ج هم صحیح است). کهکشان‌های بیضوی هیچ ابر گاز یا غباری برای تشکیل ستاره ندارند. از این رو یکنواخت‌تر به نظر می‌رسند پس آهنگ تشکیل ستاره‌ها از راست به چپ کاهش می‌یابد (گزینه‌ی ب غلط است).

۲۰- ماخ گزینه ج پاسخ صحیح است.

ابتدا باید سطح مقطع برخورد موثر برای دو ستاره را محاسبه کنیم؛ بنابراین با نوشتن معادله‌ی انرژی داریم:

$$\frac{Gmm'}{r} = \frac{۱}{۲}mv^۲ + \frac{۱}{۲}mv^۲ \Rightarrow r = \frac{Gm'}{v^۲}$$

از طرفی از رابطه‌ی طول پویش آزاد میانگین داریم:

$$\ell \simeq \frac{۱}{n\sigma} = \quad ; \quad \sigma = \pi r^۲$$

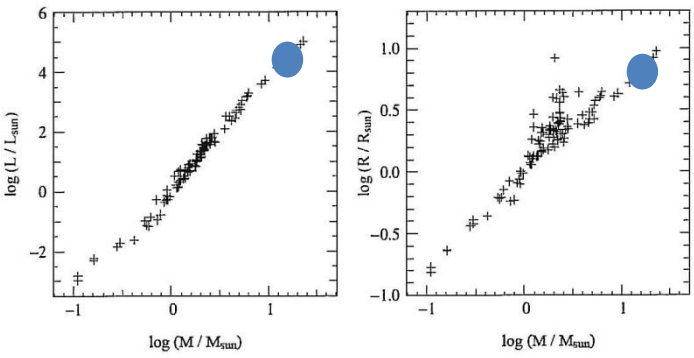
$$t_{collision} \simeq \frac{l}{v} = \frac{v^۳}{G^۲m'^۲n\pi} = \frac{(۱۰^۴ \times ۳/۰۹ \times ۱۰^{۱۶})^۳}{(۶/۶۷ \times ۱۰^{-۱۱})^۲ \times (۱/۹۹ \times ۱۰^{۳۰})^۲ \times \pi \times ۱۰۰۰} \simeq ۶ \times ۱۰^۹ years$$

۲۱- ماخ گزینه ج پاسخ صحیح است.

$$\frac{F}{F'}=\frac{\frac{Gm_mM_\odot}{r_{\odot m}^2}}{\frac{Gm_mM_\oplus}{r_{\oplus m}^2}}=\frac{۱/۹۹\times۱۰^{۳۰}\times(۳/۸\times۱۰^{۸})^2}{۵/۶۷\times۱۰^{۲۴}\times(۱/۵\times۱۰^{۱۱})^2}=۲/۲۴$$

۲۲- ماخ گزینه ج پاسخ صحیح است.

یکی از ستاره‌های مشخص در دو نمودار را انتخاب می‌کنیم و روابط مربوطه را برای آن دو ستاره می‌نویسیم:



$$\left.\begin{array}{l}\log(\frac{L}{L_\odot})=۴/۵\\ \log(\frac{R}{R_\odot})=۰/۹\end{array}\right\}\Rightarrow\log(\frac{L}{L_\odot})=۵\log(\frac{R}{R_\odot})$$

$$\Rightarrow(\frac{L}{L_\odot})=(\frac{R}{R_\odot})^{۵}\Rightarrow\alpha=۵$$

۲۳- ماخ گزینه ج پاسخ صحیح است.

کهکشان ما تقریباً کهکشان مسنی است پس انتظار می‌رود خوشه‌های کهکشانی مسنی در آن یافت شوند. در قلب خوشه‌های کهکشانی پیر می‌توان به دنبال ستاره‌های پیر و داغ گشت؛ پس گزینه‌ی الف غلط است.

قانون هابل برای تعیین فاصله‌ی اجرام بسیار دور به کار می‌رود. پس گزینه‌ی ب غلط است.

هرچند که روند تغییر فلزیت در ستاره‌ها خطی نیست و نوسانات شدیدی دارد اما به طور کلی و با توجه به قیدِ معمولاً می‌توان گزاره‌ی ج را صحیح در نظر گرفت.

بیشترین تراکم خوشه‌های کروی در مرکز کهکشان است؛ بنابراین توزیع خوشه‌های کروی در همه‌جای قرص کهکشان یکسان نیست. پس گزینه‌ی د غلط است.

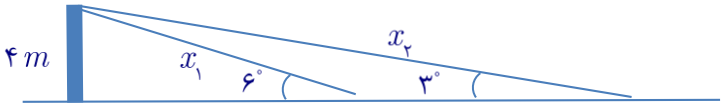
۲۴- ماخ گزینه ج پاسخ صحیح است.

از رابطه‌ی روشنایی داریم؛ $b=\frac{L}{۴\pi d^2}$ در نتیجه؛ $d=\sqrt{\frac{L}{۴\pi b}}$. پس از جایگذاری مقادیر و نوشتن نسبت‌ها به عدد ۳۰ می‌رسیم؛ توجه کنید که سرعت چرخش با توجه به انتقالات دوپلر صرفاً موقعیت قرارگیری تابع پلانک را تغییر می‌دهد اما مساحت زیر نمودار که شار تولیدی را نشان می‌دهد برای دمای معین همواره ثابت است.

۲۵- ماخ گزینه ب پاسخ صحیح است.

تفاوت طول موج رسیده به دو نقطه ناشی از تفاوت طول مسیر طی شده است؛ لذا می‌توانیم بنویسیم:

$$\lambda = ۲h\Delta x = ۲h(\frac{۴}{\sin\theta_۱} - \frac{۴}{\sin\theta_۲}) = ۰/۱$$



۲۶- ماخ گزینه ج پاسخ صحیح است.

برای فشار می‌دانیم؛ $P = \rho gh$ و از طرفی می‌دانیم؛ $g = \frac{GM}{R^۲}$ و $M = \rho V$ بنابراین داریم؛ $P = \frac{GV\rho^۲}{R^۲}h$ و حجم جو هم برابر است با احتلاف حجم دو کره، یکی به شعاع $R+h$ که در آن R شعاع سیاره و h ارتفاع مؤثر جو است؛ بنابراین:

$$V = \frac{۴}{۳}\pi(R+h)^۳ - \frac{۴}{۳}\pi R^۳ = \frac{۴}{۳}\pi(۳R^۲h + ۳h^۲R + h^۳)$$

در نتیجه برای نسبت فشارها، داریم:

$$\frac{P_m}{P_\oplus} = \frac{\frac{GV_m\rho_m^۲}{R_m^۲}}{\frac{GV_\oplus\rho_\oplus^۲}{R_\oplus^۲}} = \frac{\frac{G(\frac{۴}{۳}\pi(۳R_m^۲h_m + ۳h_m^۲R_m + h_m^۳))\rho_m^۲}{R_m^۲}}{\frac{G(\frac{۴}{۳}\pi(۳R_\oplus^۲h_\oplus + ۳h_\oplus^۲R_\oplus + h_\oplus^۳))\rho_\oplus^۲}{R_\oplus^۲}} = \frac{۳h_m + ۳\frac{h_m^۲}{R_m} + \frac{h_m^۳}{R_m^۲}}{۳h_m + ۳\frac{h_\oplus^۲}{R_\oplus} + \frac{h_m^۳}{R_\oplus^۲}} \times (\frac{\rho_m}{\rho_\oplus})^۲$$

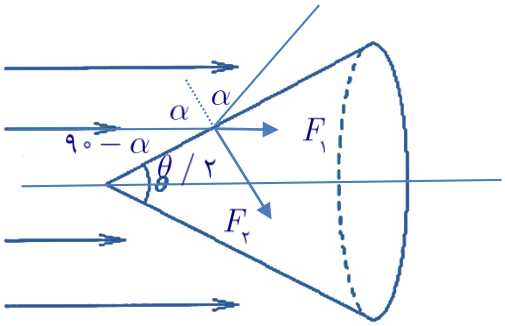
از طرفی طبق صورت سوال می‌دانیم؛ $\frac{P_m}{P_\oplus} = ۰/۰۰۵$ و $\frac{\rho_m}{\rho_\oplus} = \frac{۴\times۱۰^۳}{۵/۵\times۱۰^۳} = ۰/۷۲$ و با صرف‌نظر از عبارت‌های درجه‌ی دو و به بالا در نسبت چگالی‌ها، داریم:

$$\frac{P_m}{P_\oplus} = ۰/۰۰۵ = \frac{h_m}{h_m} \times (۰/۷۲)^۲ \Rightarrow \frac{h_m}{h_m} = ۹/۶\times۱۰^{-۳}$$

و برای جرم داشتیم، $m = \rho V$ و طبق صورت سوال داریم $\frac{R_m}{R_\oplus} = ۰/۵$؛ بنابراین:

$$\frac{m_{atm_m}}{m_{atm_\oplus}} = \frac{\rho_{atm_m}\frac{۴}{۳}\pi\left[R_m + h_m{}^۳ - R_m^۳\right]}{\rho_{atm_\oplus}\frac{۴}{۳}\pi\left[R_\oplus + h_\oplus{}^۳ - R_\oplus^۳\right]} \simeq \frac{\rho_{atm_m}}{\rho_{atm_\oplus}} \times (\frac{R_m}{R_\oplus})^۲ \times \frac{h_m}{h_\oplus} = ۰/۷۲ \times (۰/۵)^۲ \times (۹/۶\times۱۰^{-۳}) = ۱/۷\times۱۰^{-۳}$$

۲۷- گزینه ج پاسخ صحیح است.



از آن‌جا که موج الکترومغناطیسی دارای تکانه است، می‌تواند بر سطحی که نور به آن برخورد می‌کند نیرو وارد کند. فشار تابشی ناشی از این تابش، به میزان بازتاب یا جذب نور از سطح بستگی دارد. نیروی جذب شده ناشی از فشار تابشی در جهت انتشار نور و برابر $F_1 = \frac{\langle S \rangle A}{c}\cos\alpha$ است؛ که در آن α زاویه‌ای است که نور فرودی با بردار عمود بر سطح (بردار نرمال) می‌سازد. از سوی دیگر اگر نور کاملاً بازتاب شود، نیروی فشار تابشی باید در جهت عمود بر سطح عمل کند؛ در هیچ حالتی نور بازتاب شده نمی‌تواند نیرویی به موازات سطح اعمال نماید. در این صورت مقدار نیروی بازتاب شده به صورت ذیل خواهد بود: $F_2 = \frac{2\langle S \rangle A}{c}\cos^2\alpha$. باید توجه داشت که فشار تابشی، اثر ناچیزی بر سیستم‌های فیزیکی -تحت شرایط روزمره- دارد و اغلب می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد. حال از روی شکل هندسی مقابل داریم، $۹۰ - \alpha = \frac{\theta}{2}$ یعنی: $\cos\alpha = \sin\frac{\theta}{2} \Rightarrow \sin(۹۰ - \alpha) = \sin\frac{\theta}{2}$.

از طرفی طبق صورت سؤال دانستیم که: $|\frac{F_2 \sin(\theta/2)}{F_1}| = ۰/۷$، پس داریم:

$$|\frac{2\frac{\langle S \rangle A}{c}\sin^2\frac{\theta}{2} \times \sin\frac{\theta}{2}}{\frac{\langle S \rangle A}{c}\sin\frac{\theta}{2}}| = ۰/۷ \Rightarrow 2\sin^2\frac{\theta}{2} = ۰/۷ \Rightarrow ۱ - 2\sin^2\frac{\theta}{2} = \cos\theta = ۰/۳$$

۲۸- گزینه ب پاسخ صحیح است.

از روی اختلاف منظر و $d = \frac{۱}{\theta''}$ فاصله‌ی ستاره‌ها را به ترتیب برابر $d_1 = ۱۰^2\ pc$, $d_2 = ۱۰^5\ pc$ به دست می‌آوریم؛ در نتیجه:

$$V_1 = ۴/۱ \times ۱۰^6\ pc^3 \quad , \quad V_2 = ۴/۱ \times ۱۰^{15}\ pc^3 \quad \Rightarrow \quad n_1 = ۴/۱ \times ۱۰^5 \quad , \quad n_2 = ۴/۱ \times ۱۰^{14} \Rightarrow \frac{n_2}{n_1} = ۱۰^9$$

۲۹- گزینه د پاسخ صحیح است.

با تقریب خوبی و با فرض ثابت بودن پارمتر هابل در تمام طول عمر عالم، می‌توانیم با معکوس کردن پارامتر هابل، عمر عالم را به دست آوریم. توجه داشته باشید که برای تعیین دقیق سن عالم باید تابع تغییرات پارمتر هابل را داشته باشیم و در طول زمان از آن انتگرال بگیریم، در این صورت سن به دست آمده برای عالم کمی کمتر از مقدار به دست آمده از این روش خواهد بود:

$$H = ۵۵۰\ km\,s^{-1}Mpc^{-1} = ۵۵۰ \times (۱۰^{-6}\ pc) \times (۳/۰۹ \times ۱۰^{13}\ km) = ۱/۷۸ \times ۱۰^{-17}\ s^{-1}$$

$$t = \frac{۱}{H} = ۵/۶۲ \times ۱۰^{16} = ۱/۷ \times ۱۰^9\ yr$$

۳۰- ماخ گزینه ب پاسخ صحیح است.

رابطه‌ی توان تفکیک $\theta'' = ۲۰۶۲۶۵\frac{D}{d}$ است؛ بنابراین می‌توانیم چنین بنویسیم:

$$D = \frac{\theta'' d}{۲۰۶۲۶۵} = \frac{۰/۰۰۱ \times (۷۷۰ kpc)}{۲۰۶۲۶۵} = ۰/۰۰۳۷ \simeq ۰/۰۰۴\, pc$$

۳۱- ماخ گزینه الف پاسخ صحیح است.

با صرف‌نظر از اثرات کوانتومی، پتانسیل لازم برای کنار هم قرار دادن دو پروتون در فاصله‌ی $۱۰^{-۱۵} m$ برابر می‌شود با انرژی جنبشی یک ذره با دمای T ، (با توجه به آنکه در متن سوال به تعداد ذرات آزاد شده اشاره‌ای نشده، با فرض تک ذره مسئله را حل می‌کنیم!) لذا داریم:

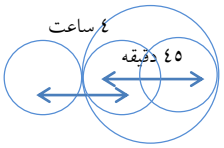
$$U = K \Rightarrow \frac{۱}{۴\pi\varepsilon_۰}\frac{q_۱ q_۲}{r} = \frac{۱}{۲} m v^۲ \quad ; \quad v = \sqrt{\frac{۳KT}{m}} \qquad \frac{۱}{۴\pi\varepsilon_۰}\frac{q_۱ q_۲}{r} = \frac{۳}{۲} KT \Rightarrow T \approx ۱۰^{۱۰} K$$

توجه: با توجه به آنکه در جدول ثوابت این آزمون مقدار عددی ضریب گذردهی الکتریکی خلأ $\varepsilon_۰$ یا مقدار k درج نشده بود؛ به نظر می‌رسد که راه حل دیگری مد نظر کمیته بوده! که تا زمان نگارش این پاسخنامه از آن مطلع نشده‌ایم!

۳۲- ماخ گزینه‌ی الف پاسخ صحیح است.

با فرض انحراف مداری ۹۰ درجه و گردش با سرعت خطی ثابت به دور ستاره (که با توجه به نمودار تقریب‌های خوبی‌اند) و با توجه به اینکه فاصله‌ی بین دو کمینه‌ی متوالی ۱۱ روز است و با توجه به این نکته که در کمینه‌ی نوری دوم (گرفت دوم) ستاره‌ی کم‌نورتر از پشت ستاره‌ی پرنورتر عبور می‌کند؛ با استفاده از تناسب و انحنای ناچیز مدار ستاره‌ی دوم در هنگام عبور از جلوی ستاره‌ی دیگر می‌توانیم قطر ستاره‌ی دوم را متناظر با طول کمان طی شده برای ورود ستاره‌ی دوم از فاز تماس اول تا تماس دوم در نظر بگیریم؛ حال با فرض این‌که ستاره‌ی پرنورتر بزرگتر است، می‌توانیم با استفاده از تناسب زمانی ذیل x که قطر ستاره‌ی دوم است را به دست‌آوریم:

$$\left.\begin{array}{ll} ۱۱ day & ۲\pi r = ۶/۲۸ \times ۱۰^{۱۱} m \\ ۴h & x \end{array}\right\} \Rightarrow x = ۹/۵ \times ۱۰^{۹} m \Rightarrow R_۲ = ۴/۷۵ \times ۱۰^{۹} m$$



و برای ستاره‌ی بزرگتر و برای $y = ۲R_۱ + ۲R_۲$ داریم:

$$\left.\begin{array}{ll} ۱۱ day & ۲\pi r = ۶/۲۸ \times ۱۰^{۱۱} m \\ ۸h + ۴۵\min & y \end{array}\right\} \Rightarrow y = ۲/۰۸ \times ۱۰^{۱۰} m \Rightarrow R_۲ = ۵/۶ \times ۱۰^{۹} m$$

که با توجه به پیش فرض اولیه‌مان مبنی بر انحراف مداری ۹۰ درجه، می‌توانیم نزدیک‌ترین گزینه‌ی هم مرتبه با پاسخ را انتخاب کنیم.

۳۳- ماخ گزینه الف پاسخ صحیح است.

ستاره‌ی آبی ده برابر ستاره‌ی قرمز جرم دارد، یعنی $M_B = ۱۰M_R$ از طرف دیگر $L_B = ۱۰^۴ L_R$. در مورد ستاره‌ها چون کل ماده‌ی سوزانده شده در قالب نور تابش می‌کند، رابطه‌ی بین ماده و انرژی مصرفی را چنین می‌نویسیم: $E = mc^۲$. لذا داریم؛

$$\frac{E_B}{E_R} = \frac{\Delta m_B c^۲}{\Delta m_R c^۲} = \frac{۱۰ M_R \times \frac{۱}{۱۰} \times c^۲}{M_R \times \frac{۱}{۱۰} \times c^۲} = ۱۰$$

که نرخ سوزاندن ماده $E = L.t$ است. بنابراین داریم:

$$\frac{L_B t_B}{L_R t_R} = ۱۰ \ , \ \frac{L_B}{L_R} = ۱۰^۴ \Rightarrow \frac{t_B}{t_R} = ۱۰^{-۳} \ , \ t_R = ۱۵ \times ۱۰^۹ years \Rightarrow t_B = ۱۵ \times ۱۰^۶ years$$

۳۴- ماخ گزینه‌ی ج پاسخ صحیح است.

با توجه به فرض سوال اگر چوب در مکه قرار گیرد باید سایه‌اش بر خودش منطبق شود (یعنی سایه نداشته باشد) که این یعنی در زمان ظهر (طبق فرض سوال) خورشید باید در سمت‌الرأس قرار بگیرد؛ این یعنی:

$$۹۰ - \varphi + \delta = ۹۰ \Rightarrow \delta = \varphi = ۲۰ / ۵^\circ$$

۳۵- ماخ گزینه د پاسخ صحیح است.

در نمودار پراکندگی $H\text{-}R$ می‌دانیم که هرچه به سمت راست و بالای نمودار حرکت کنیم به سمت غول‌های سرخ و مراحل پایانی عمر ستاره‌ها نزدیک می‌شویم، پس گزینه‌های الف و ب صحیح‌اند؛ گزینه‌ی ج هم که یک گزاره‌ی همواره صحیح است.