



جمهوری اسلامی ایران  
وزارت آموزش و پرورش

مرکز ملی پرورش استعداد های درخشان و دانش پژوهان جوان

مبارزه علمی برای جوانان، زنده کردن روح جست و جو و کشف واقعیت هاست. «امام خمینی (ره)»



معاونت دانش پژوهان جوان

اینجانب ..... (شرکت کننده) این دفترچه را به صورت کامل (۱۹ برگه با احتساب جلد) دریافت نمودم امضاء

اینجانب ..... (منشی حوزه) تعداد ..... برگه (با احتساب جلد) دریافت نمودم امضاء

## یازدهمین دوره المپیاد نجوم و اختر فیزیک -

تاریخ: ۱۳۹۴/۲/۱۷ - ساعت: ۱۴:۰۰ - مدت: ۲۴۰ دقیقه



شماره پرونده: .  
کد ملی:  
نام پدر:  
نام مدرسه:

استان:  
منطقه:  
حوزه:  
پایه تحصیلی:

شماره سندلی

.

## توضیحات مهم

### استفاده از ماشین حساب مجاز است

- این پاسخنامه به صورت نیمه کامپیوتری تصحیح می شود، بنابراین از مجاله و کثیف کردن آن جداً خودداری نمایید.
- مشخصات خود را با اطلاعات بالای هر صفحه تطبیق دهید. در صورتی که حتی یکی از صفحات پاسخنامه با مشخصات شما همخوانی ندارد، بلافاصله مراقبین را مطلع نمایید.
- پاسخ هر سوال را در محل تعیین شده خود بنویسید. چنانچه همه یا قسمتی از جواب سوال را در محل پاسخ سوال دیگری بنویسید، به شما نمره ای تعلق نمی گیرد.
- با توجه به آنکه برگه های پاسخنامه به نام شما صادر شده است، امکان ارائه هیچگونه برگه اضافه وجود نخواهد داشت. لذا توصیه می شود ابتدا سوالات را در برگه چرک نویس، حل کرده و آنگاه در پاسخنامه پاکنویس نمایید.
- عملیات تصحیح توسط مصححین، پس از قطع سربرگ، به صورت ناشناس انجام خواهد شد. لذا از درج هرگونه نوشته یا علامت مشخصه که نشان دهنده صاحب برگه باشد، خودداری نمایید. در غیر این صورت تقلب محسوب شده و در هر مرحله ای که باشید از ادامه حضور در المپیاد محروم خواهید شد.
- از مخدوش کردن دایره ها در چهار گوشه صفحه و بارکدها خودداری کنید، در غیر این صورت برگه شما تصحیح نخواهد شد.
- همراه داشتن هرگونه کتاب، جزوه، یادداشت و لوازم الکترونیکی نظیر تلفن همراه و لپ تاپ ممنوع است. همراه داشتن این قبیل وسایل حتی اگر از آن استفاده نکنید یا خاموش باشد، تقلب محسوب خواهد شد.
- آزمون مرحله دوم برای دانش آموزان سال اول دبیرستان صرفاً جنبه آزمایشی و آمادگی دارد و شرکت کنندگان در دوره تابستانی از بین دانش آموزان پایه دوم و سوم دبیرستان انتخاب می شوند.

$6.67 \times 10^{-11}$	$N m^2 kg^{-2}$	ثابت جهانی گرانش	$G$
$5.67 \times 10^{-8}$	$W m^{-2} K^{-4}$	ثابت استفان-بولتزمن	$\sigma$
$7.56 \times 10^{-16}$	$J m^{-3} K^{-4}$	ثابت تابش	$a=4\sigma/c$
$1.38 \times 10^{-23}$	$J K^{-1}$	ثابت بولتزمن	$k_B$
$6.63 \times 10^{-34}$	$J.s$	ثابت پلانک	$h$
$1.6 \times 10^{-19}$	$C$	بار الکترون	$e$
$9.1 \times 10^{-31}$	$kg$	جرم الکترون	$m_e$
$1.67 \times 10^{-27}$	$kg$	واحد جرم اتمی	$1u$
$3.0 \times 10^8$	$m/s$	سرعت نور	$c$
$3.09 \times 10^{16}$	$m$	پارسک	$pc$
$1.5 \times 10^{11}$	$m$	واحد نجومی	$r_{earth}=AU$
$9.46 \times 10^{15}$	$m$	سال نوری	$Ly$
$6.96 \times 10^8$	$m$	شعاع خورشید	$R_{sun}$
$1.99 \times 10^{30}$	$kg$	جرم خورشید	$M_{sun}$
$6.38 \times 10^6$	$m$	شعاع زمین	$R_{earth}$
$5.97 \times 10^{24}$	$kg$	جرم زمین	$M_{earth}$
2.06265	$Arc\ sec$	رادبان	$Radian$
$1 \times 10^{-10}$	$m$	آنگستروم	$A$
-12.74		قدر ظاهری ماه بدر	$m_{moon}$
$3.85 \times 10^{26}$	$W$	درخشندگی خورشید	$L_{sun}$
4.72		قدر مطلق خورشید	$M_{sun}$
-26.7		قدر ظاهری خورشید	$m_{sun}$
73	$(km/s)/Mpc$	ثابت هابل	$H_0$
$1.37 \times 10^3$	$Wm^{-2}$	ثابت خورشیدی	$f_{sun}$
$6.02 \times 10^{23}$	$mol^{-1}$	عدد آووگادرو	$N_A$
8.314	$J mol^{-1} K^{-1}$	ثابت گازها	$R$
$5.29 \times 10^{-11}$	$m$	شعاع اتم بور	$r_B$
$1.6 \times 10^{-19}$	$J$	الکترون ولت	$eV$
1641195	$km^2$	مساحت ایران	$S_{ایران}$
$51^\circ 25'E, 35^\circ 42'N$	$Degree$	مختصات جغرافیایی تهران	$\lambda, \beta_{Tehran}$
18	$gr$	یک مول آب	$H_2O$
4	$gr$	یک مول هلیوم	$He$
$3.15 \times 10^7$	$s$	سال	$Yr$



- ۱- یکی از روشهای فاصله‌یابی استفاده از موج ضربه‌ی ایجاد شده در اطراف ابرنواخترها است. این روش به دلیل مستقل بودن از روش‌های دیگر فاصله‌یابی، به عنوان روشی برای کالیبراسیون روش‌های استاندارد فاصله‌یابی ابرنواخترها مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- ابرنواختری در سال ۱۹۰۹ مشاهده شده است. در حال حاضر (یعنی سال ۲۰۱۵) گاز خارج شده از آن در شعاع ۲۰ ثانیه‌ی قوسی اطراف آن دیده می‌شود. سرعت انبساط این گاز در ابتدای انفجار در حدود ۱۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه بوده و بطور خطی افت کرده است، بطوری که سرعت انبساط کنونی آن به حدود ۴۰۰ کیلومتر بر ثانیه رسیده است.
- الف) سرعت متوسط انبساط گاز در این مدت چند کیلومتر بر ثانیه است؟
- ب) این ابرنواختر در چه فاصله‌ای از ما قرار دارد؟ پاسخ خود را بر حسب پارسک بیان کنید.
- (۲۵ نمره)





- ۲- در پروژه‌ی مساحی GAIA، نزدیک به یک میلیارد ستاره اخترسنجی خواهد شد؛ که به کمک نتایج آن فواصل ستاره‌ها با دقت بسیار بالایی و به روش اختلاف منظر به دست خواهند آمد. در این پروژه، خطای اندازه‌گیری در اخترسنجی ستاره‌هایی با قدر ظاهری  $m=16$  برابر با ۲۳ میکروثانیه‌ی قوسی است.
- درصد خطا در اندازه‌گیری فاصله‌ی ستاره‌های خورشیدگون با قدر مطلق  $M_V = 5$  که با قدر ظاهری ۱۶ دیده می‌شوند را بدست آورید. (۳۰ نمره).





- ۳- در روز ۱۵ اردیبهشت سال ۱۳۹۴ و در لحظه‌ی ظهر شرعی (۱۳:۰۱:۰۴) طول سایه‌ی شاخصی عمودی در محله‌ای در تهران  
( $35^{\circ}42'N$ ،  $51^{\circ}25'E$ ) برابر ۳۰ سانتیمتر است.  
الف) منحنی میل خورشید را در طول یک سال رسم کنید. [ $\delta_{\text{sun}}=23^{\circ}27' \sin(2\pi t/T)$ ]  
ب) طول این سایه راس ساعت ۱۶:۰۰ همان روز چند سانتیمتر خواهد بود.  
(۳۰ نمره).





۴- تولید انرژی در خورشید از طریق همجوشی ۴ هیدروژن و تولید یک هلیوم است؛ که در این فرآیند تقریباً ۲۵ میلیون الکترون ولت

(MeV) انرژی و ۲ ذره ی نوترینو تولید می شود.  $(p + p + p + p \rightarrow {}^4\text{He} + 25 \text{ MeV})$

الف) تعداد نوترینوهای عبوری از هر سانتیمتر مربع از سطح زمین را محاسبه کنید.

ب) سطح مقطع برخورد نوترینوهای خورشیدی با یک هستک (پروتون یا نوترون؛ nucleon)  $10^{-45} \text{ cm}^2/\text{nucleon}$  است. به بدن یک

انسان بالغ، به طور متوسط در طول یک سال چند نوترینو برخورد خواهد کرد؟

راهنمایی: سطح مقطع برخورد، مساحت موثر یک ذره با ذرات دیگر در برخورد با آنهاست.

(۳۵ نمره).





۵- در فرآیندهای همجوشی ستاره‌ای و در فرآیندی که اصطلاحاً به فرآیند  $3\alpha$  مشهور است؛ دو هسته‌ی هلیوم  ${}^4\text{He}$  به یکدیگر برخورد کرده و یک هسته‌ی برلیوم  ${}^8\text{Be}$  تولید می‌کنند. از آنجایی که نیمه عمر  ${}^8\text{Be}$  بسیار کم است ( $10^{-16}$  ثانیه)، این هسته مجدداً به دو ذره  ${}^4\text{He}$  واپاشی می‌کند. این فرایند به دفعات تکرار می‌شود تا زمانی که قبل از واپاشی  ${}^8\text{Be}$  یک  ${}^4\text{He}$  به آن برخورد کند و یک هسته‌ی پایدار کربن  ${}^{12}\text{C}$  تولید شود ( ${}^4\text{He} + {}^8\text{Be} \rightarrow {}^{12}\text{C} + 7.37 \text{ MeV}$ ). به همین خاطر چنین فرآیندی به چگالی‌های بالا نیاز دارد. رابطه‌ی واپاشی  ${}^8\text{Be}$  به صورت روبرو است:

$${}^8\text{Be} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^4\text{He} + (93.7 \text{ keV})$$

- الف) در طی فرآیند  $3\alpha$  به ازای هر هسته (پروتون یا نوترون؛ nucleon)، چه مقدار انرژی آزاد می‌شود؟  
ب) دمای ذرات آلفای  ${}^4\text{He}$  تولید شده از واپاشی  ${}^8\text{Be}$  در این ستاره چند کلوین است؟  
ج) سرعت ذرات آلفای  ${}^4\text{He}$  تولید شده از واپاشی  ${}^8\text{Be}$  در این شرایط چه درصدی از سرعت نور است؟ (۴۰ نمره).





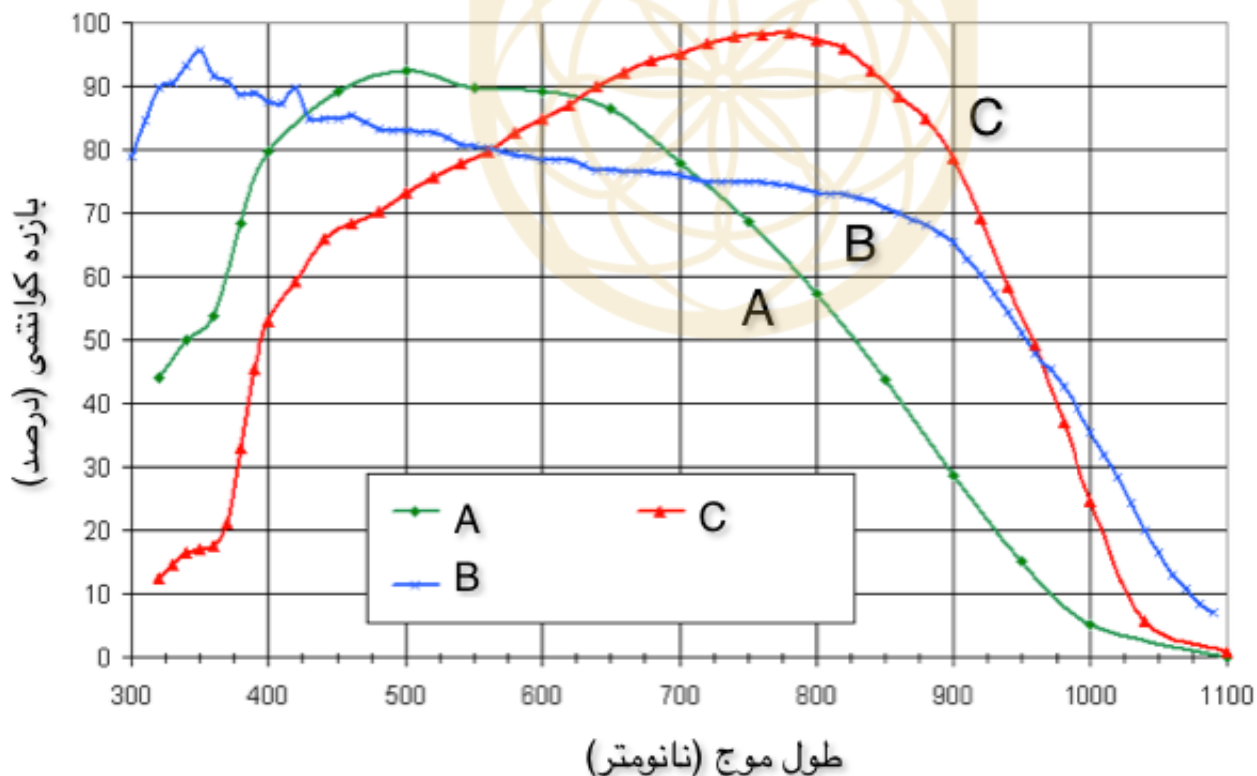
۶- منجمی سال‌ها به مطالعه‌ی شدت خطوط نشری  $H-\alpha$  و  $H-\beta$  که بترتیب دارای طول موج‌های ۶۵۶۳ آنگستروم و ۴۸۶۱ آنگستروم هستند پرداخته است. وی اخیراً آشکارساز سی‌سی‌دی (CCD) خود را از مدل  $B$  به مدل  $C$  تغییر داده است. در زیر توزیع بازدهی کوانتومی این دو سی‌سی‌دی (حساسیت آشکارساز در مقابل فوتون‌های ورودی به سطح آن) نشان داده شده است.

الف) این منجم تنها با تغییر سی‌سی‌دی از  $B$  به  $C$  باید چه تغییری در زمان نوردهی جدیدش نسبت به گذشته ایجاد کند تا نسبت سیگنال به نویز در رصدهای وی تغییری نکند؟ پاسخ عددی با خطای بیش از ۵ درصد قابل قبول نیست.

ب) این منجم قبلاً برای نورسنجی از فیلتر باریکی به پهنای ۲۰ آنگستروم در طول موج مرکزی ۸۵۰۰ آنگستروم استفاده می‌کرد، اکنون با تغییر سی‌سی‌دی، پهنای فیلترش در همان طول موج به نصف کاهش یافته است. با همان زمان نوردهی قبلی، نسبت سیگنال به نویز در نورسنجی وی به چه نسبتی تغییر خواهد کرد؟

راهنمایی: برای سادگی از همه عوامل نویز سی‌سی‌دی صرف نظر کنید. به عبارت دیگر تنها سیگنال موجود مربوط به چشمه آسمانی است که ویژگی آماری آن از توزیع پواسونی (Poisson Distribution) تبعیت می‌کند؛ که در آن انحراف معیار (standard deviation) توزیع برابر با جذر مقدار متوسط (mean value) یا همان مقادیر انتظاری رویدادها است.

(۴۰ نمره). نوشتن پاسخ را از صفحه بعد آغاز کنید چنانچه در این صفحه چیزی بنویسید تصحیح نخواهد شد.







۷- ماهواره‌ای به جرم  $m$  و سطح مقطع  $A$  در مداری دایره‌ای به شعاع  $r$  به دور زمین در حرکت است.

الف) انرژی ماهواره را محاسبه کنید.

ب) جو به چگالی  $\rho$ ، نیروی اصطکاکی ثابت و ضعیف ( $f$ ) به ماهواره اعمال می‌کند. تغییر شعاع نسبی مدار را طی یک دوره‌ی تناوب محاسبه کنید.

ج) جو ساکن است؛ و پس از برخورد الاستیک به ماهواره در جهت حرکت ماهواره حرکت خواهد کرد (حرکت یک بعدی). نیروی اصطکاک فوق را به طور لحظه‌ای محاسبه کنید. (۴۵ نمره).





- ۸- کهکشانی کروی و با توزیع جرمی یکنواخت متشکل از  $10^{11}$  ستاره‌ی خورشیدگون با شعاع  $R=10 \text{ kpc}$  را در نظر بگیرید. ستارگان به صورت کاتوره‌ای در این کهکشان حرکت می‌کنند.
- الف) چگالی جرمی این کهکشان را برحسب جرم خورشید بر پارسک مکعب بدست آورید.
- ب) ستاره‌ای را در نظر بگیرید که در این کهکشان، در راستای یکی از قطرها در حال حرکت نوسانی است. رابطه‌ای برای دوره‌ی تناوب نوسان این ستاره بدست آورید و مقدار عددی آن را بر حسب سال بیان کنید.
- ج) این ستاره در طول حرکت خود، به طور متوسط پس از چند سال ممکن است از کنار ستاره‌ای دیگر عبور کند بطوری که فاصله‌اش از آن ستاره کمتر از یک واحد نجومی باشد؟
- (۴۵ نمره).





- ۹- ابر اورت پوسته‌ای کروی به شعاع  $10^5$  واحد نجومی ( $R = 10^5 \text{ AU}$ ) و شامل تعداد زیادی دنباله‌دار است. فرض کنید ستاره‌ای نوعی با جرم متوسط نصف جرم خورشید ( $M = 0.5 M_{\text{sun}}$ ) با سرعت متوسط  $30 \text{ km/s}$  (بر ثانیه  $v = 30 \text{ km/s}$ ) وارد ابر اورت شود. الف) این ستاره از چه فاصله‌ای (بر حسب واحد نجومی) باید از کنار یکی از دنباله‌دارهای این ابر عبور کند؛ به طوری که آن دنباله‌دار، بر اثر برهمکنش گرانشی با این ستاره از ابر اورت خارج شود؟ فرضیات لازم برای حل مسئله را ارائه دهید. ب) اگر فرض کنیم عمر منظومه شمسی  $4$  میلیارد سال ( $T = 4 \text{ Gyr}$ ) باشد، چه کسری از دنباله‌دارهای موجود در ابر اورت با این سازوکار از این ابر خارج می‌شوند؟ چگالی عددی ستاره‌ای در اطراف منظومه شمسی،  $0.1$  ستاره بر پارسک مکعب ( $n = 0.1 \text{ star/pc}^3$ ) است. ج) فرض کنیم شعاع ابر اورت  $10^4 \text{ AU}$  باشد؛ کسر محاسبه شده در قسمت (ب) چقدر خواهد شد؟ (۴۵ نمره).





۱۰- سازمان فضایی اروپا در مارس ۲۰۱۵ میلادی، متغیری قیفاووسی به نام ساما (*SAMA*) کشف کرده است، این سازمان، طول (*l*) و عرض (*b*) کهکشانی ساما را در دستگاه مختصات کهکشانی اندازه‌گیری کرده است  $(l, b) = (57^{\circ}42'48'', 37^{\circ}53'48'')$ . با توجه به این توضیحات به سوالات زیر پاسخ دهید:

الف) مختصات کهکشانی ستاره قطبی برابر  $(l, b) = (123^{\circ}55'51'', 27^{\circ}7'44'')$  و مختصات استوایی قطب شمال کهکشانی برابر  $(\alpha, \delta) = (12^h51^m27^s, 27^{\circ}7'42'')$  است. بعد و میل ساما در دستگاه استوایی را بدست آورید.

ب) سازمان فضایی اروپا برای مطالعه‌ی بیشتر بر روی این ستاره، قصد ساختن رصدخانه‌ای را دارد. با توجه به مشکلات جذب نور ستاره در جو زمین، صرفاً مکان‌هایی برای رصد این ستاره مناسب هستند که ارتفاع ستاره بتواند در آن محل از ۷۰ درجه بیشتر شود (توجه کنید که لزومی ندارد که در طی یک روز همیشه ارتفاع ستاره از ۷۰ درجه بیشتر باشد؛ کافی است فقط یک لحظه ارتفاع بیشتر از ۷۰ درجه شود). بنابراین، عرض جغرافیایی رصدخانه در چه بازه‌ای می‌تواند باشد؟

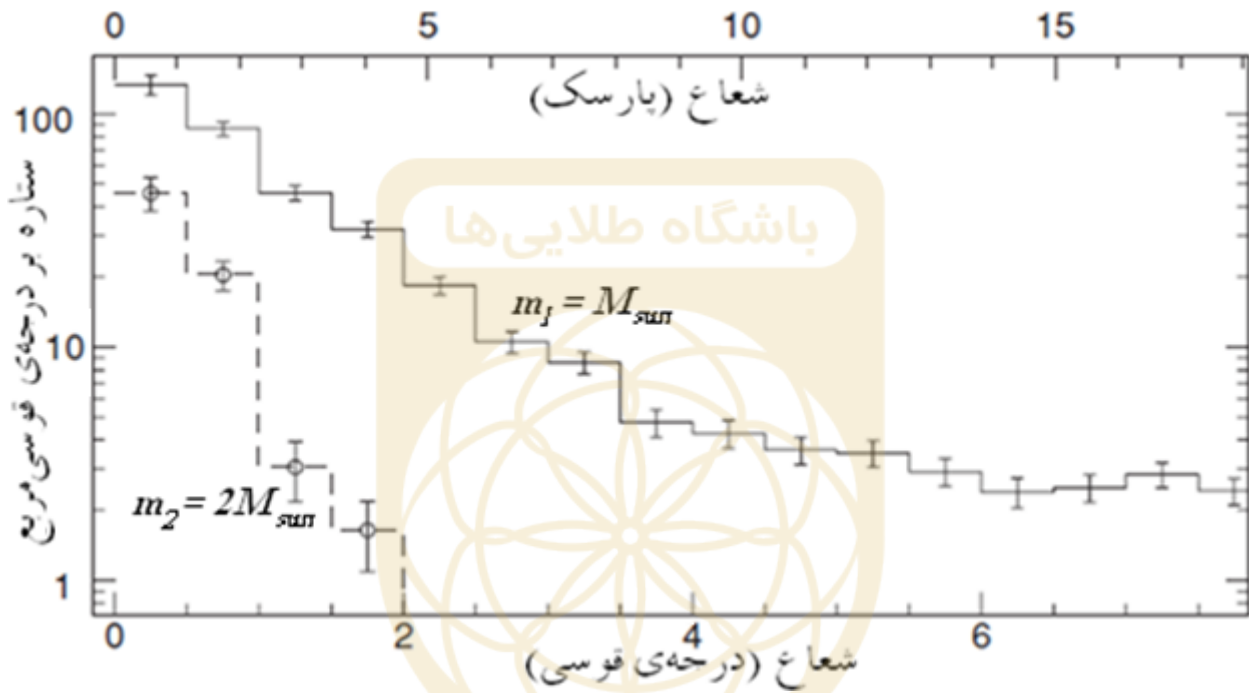
ج) با توجه به اینکه اکثر سطح زمین را آب فرا گرفته است و سهم خشکی‌ها اندک است، بنابراین طول جغرافیایی رصدخانه فقط می‌تواند بین ۷۰ تا ۱۰۰ درجه شرقی قرار داشته باشد، بنابراین در چند درصد از سطح زمین، امکان ساخت چنین رصدخانه‌ای وجود خواهد داشت؟

د) بدترین زمان برای رصد، وقتیست که فاصله‌ی زاویه‌ای این ستاره با خورشید کمینه شود، بنابراین در چه روزی این اتفاق رخ می‌دهد؟ فاصله‌ی زاویه‌ای ساما با خورشید در آن روز چقدر است؟ (۶۰ نمره).



۱۱- یک خوشه‌ی ستاره‌ای از دو نوع ستاره، با جرم‌های  $m_1 = M_{\text{sun}}$  و  $m_2 = 2M_{\text{sun}}$  تشکیل شده است. در این خوشه که در آن جداسازی جرمی اتفاق افتاده است، ستاره‌های با جرم‌های مختلف، توزیع فضایی متفاوتی دارند بطوری که ستاره‌های پرجرم‌تر در نواحی درونی‌تر خوشه تمرکز دارند.

اطلاعات لازم و نمودار چگالی سطحی عددی به صورت تابعی از شعاع، (فاصله از مرکز خوشه) برای این دو نوع ستاره در شکل زیر داده شده است.



الف) با توجه به شکل بالا فاصله‌ی این خوشه تا ناظر زمینی را بر حسب پارسک محاسبه کنید؟

ب) مقدار جرم متوسط ستارگان  $\langle m \rangle$ ، بر حسب فاصله از مرکز خوشه را محاسبه کنید و مقادیر عددی آن را در جدول وارد کنید. در جدول، مقدار عددی جرم متوسط ستاره‌ها (بر حسب جرم خورشید) در پنج ناحیه (فاصله از مرکز بر حسب درجه،  $r(\text{Degree})$ ) خواسته شده است.

ج) فرض کنید رابطه‌ی جرم-درخشندگی به صورت  $L \propto M^3$  است. قدر ظاهری این خوشه را محاسبه کنید؟

د) منحنی جرم متوسط را بر حسب فاصله از مرکز محاسبه کنید.

**نوشتن پاسخ را از صفحه بعد آغاز کنید چنانچه در این صفحه چیزی بنویسید تصحیح نخواهد شد.**



$r(\text{Degree})$	$\langle m \rangle$
0.25	
0.75	
1.25	
1.75	
2.25	

(۵۵ نمره).

