باسمه تعالی

جمهوری اسلامی ایران

وزارت آموزش و پرورش

باشگاه دانش‌پژوهان جوان

مبارزهٔ علمی برای جوانان، زنده‌کردن روح جست‌وجو و کشف واقعیّت‌هاست. «امام خمینی (ره)»

دفترچهٔ سؤالات مرحلهٔ دوم

بیست و یکمین دورهٔ المپیاد نجوم و اخترفیزیک

سال تحصیلی ۱۴۰۳- ۱۴۰۴

تاریخ: ۱۴۰۴/۱/۲۷ - ساعت: ۸:۰۰ - مدت: ۲۴۰ دقیقه - نوع:تشریحی

توضیحات مهم

استفاده از هرنوع ماشین‌حساب مجاز است.

۱- مشخصات خود را با اطلاعات بالای هر صفحه تطبیق دهید در صورتی که حتی یکی از صفحات پاسخ نامه با مشخصات شما همخوانی ندارد بلافاصله مراقبین را مطلع نمایید.

۲- 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.

۳- با توجه به آنکه برگه های پاسخ نامه به نام شما صادر شده است امکان ارائه هیچگونه برگه اضافه وجود نخواهد داشت. لذا توصیه میشود ابتدا سوالات را در برگه چرک نویس ، حل کرده و آنگاه در پاسخنامه پاکنویس نمایید.

٤- 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.

٥- از مخدوش کردن **بارکدها و مربع‌ها در چهارگوشهٔ صفحه در دفترچهٔ پاسخ‌برگ** جداً خودداری کنید. در غیر این صورت برگهٔ شما تصحیح نخواهد شد.

٦- همراه داشتن هر گونه کتاب جزوه یادداشت و لوازم الکترونیکی نظیر تلفن همراه، ساعت هوشمند، دستبند هوشمند و لپتاپ ممنوع است همراه داشتن این قبیل وسایل حتی اگر از آن استفاده نکنید یا خاموش باشد تقلب محسوب خواهد شد.

۷- در این آزمون کلیه موارد درخواست شده برای هر سوال در قسمت‌های مستطیلی قرار داده شده است. لطفاًدر برگه های پاسخ ،دقیقاً مشخص کنید که جواب کدام پرسش را می دهید.

۸- این دفترچه شامل ۱۰ سوال و با احتساب جلد ۹ برگ است.

کلّیهٔ حقوق این سؤالات برای باشگاه دانش پژوهان جوان محفوظ است.

آدرس پایگاه اینترنتی: ysc.medu.gov.ir

جدول ثوابت فیزیکی و ریاضیاتی

نماد	کمیت	مقدار
k	ثابت بولتزمن	$1.38 \times 10^{-23} \frac{J}{K}$
c	سرعت نور	$3 \times 10^{8} \frac{m}{s}$
m_p	جرم پروتون	$1.67 \times 10^{-27}\ kg$
m_e	جرم الکترون	$9.11 \times 10^{-31}\ kg$
eV	الکترون ولت	$1.6 \times 10^{-19}\ J$
e	عدد نپر (عدد اویلر)	2.718 (یا مقدار ذخیره شده در ماشین حساب‌های مهندسی)

جدول ثوابت نجومی

نماد	کمیت	مقدار
G	ثابت جهانی گرانش	$6.67 \times 10^{-11} \frac{m^3}{kg.s^2}$
h	ثابت پلانک	$6.63 \times 10^{-34}\ Js$
σ	ثابت استفان - بولتزمن	$5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$
W	ثابت وین	$2.898 \times 10^{-3}\ m.K$
pc	پارسک	$3.09 \times 10^{16}\ m$
AU	واحد نجومی	$1.5 \times 10^{11}\ m$
Ly	سال نوری	$9.46 \times 10^{15}\ m$
H_0	ثابت هابل	$70\ \frac{km}{s.Mpc}$
T_{CMB}	دمای تابش پس زمینه کیهان	$2.73\ K$

جدول ثوابت خورشیدی

نماد	کمیت	مقدار
M_{Sun}	جرم خورشید	$1.99 \times 10^{30}\ kg$
R_{Sun}	شعاع خورشید	$6.96 \times 10^{8}\ m$
L_{Sun}	درخشندگی خورشید	$3.85 \times 10^{26}\ W$
b_{sun}	ثابت خورشیدی (روشنایی خورشید از زمین)	$1361 \frac{W}{m^2}$
$T_{eff_{Sun}}$	دمای مؤثر سطح خورشید	$5779\ K$
M_{sun}	قدر مطلق خورشید	4.83
m_{sun}	قدرظاهری خورشید	-26.7
BC_{Sun}	تصحیح بولومتریک خورشید	-0.14

جدول ثوابت منظومه‌ی شمسی

نماد	کمیت	مقدار
M_{Earth}	جرم زمین	$5.97 \times 10^{24}\ kg$
R_{Earth}	شعاع زمین	$6378\ km$
	دوره تناوب وضعی زمین	$86164\ s$
ε	انحراف محور چرخش زمین نسبت به خط عمود بر دایره البروج	$23.5°$
$r_{Jupiter}$	شعاع مداری مشتری	$5.204\ AU$
$R_{Jupiter}$	شعاع مشتری	$69911\ km$
$M_{Jupiter}$	جرم مشتری	$1.898 \times 10^{27}\ kg$
r_{IO}	شعاع مداری آیو	$421700\ km$

جدول ثوابت جغرافیایی

نماد	کمیت	مقدار
φ_{Tehran}	عرض جغرافیایی تهران	$36°$
l_{Tehran}	طول جغرافیایی تهران	$51.5°$

سوال ۱ – (۲۰ نمره) یک منظومه‌ی ستاره‌ای دوتایی غیرگرفتی در فاصله‌ای بسیار دور رصد شده که از دو ستاره‌ی متغییر تشکیل شده است. در جدول زیر دوره‌ی تناوب تغییرات قدر آن‌ها (P)، قدر در حالت روشنایی بیشینه و اختلاف قدر بیشینه و کمینه‌ی آن‌ها را مشاهده می‌کنید. تغییرات قدر این ستارگان متغییر تنها بر اثر تغییر یکنواخت و خطی درخشندگی آن ستاره حاصل می‌شود.

ستاره	دوره تناوب تغییر قدر (P) بر حسب روز	قدر در حالت روشنایی بیشینه	اختلاف قدر بیشینه و کمینه
A	۳۵	۹.۳	۱.۸
B	۵۳	۸.۱	۰.۸

الف) در حالت کمینه‌ی روشنایی سیستم دوتایی، قدر مجموع آن را حساب کنید.

ب) اگر امشب هر دو ستاره در حالت بیشینه‌ی قدر خود قرار داشته باشند، چند روز بعد برای اولین بار قدر این سیستم به کمترین حالت ممکن می‌رسد؟

سوال ۲ – (۲۵ نمره) در شبی از شب‌های زمستان قطر ماه کامل برابر ۲۹ دقیقه شده و میل ماه برابر ۵ درجه است. می‌خواهیم در شهر آلتای (Alta) نروژ با عرض جغرافیایی ۷۰ درجه با صرف نظر کردن از اثرات شکست یک فیلم به صورت گاه‌گذر (time-laps) از طلوع ماه با یک دوربین عکاسی با مقری سمتی ارتفاعی موتوردار تهیه کنیم.

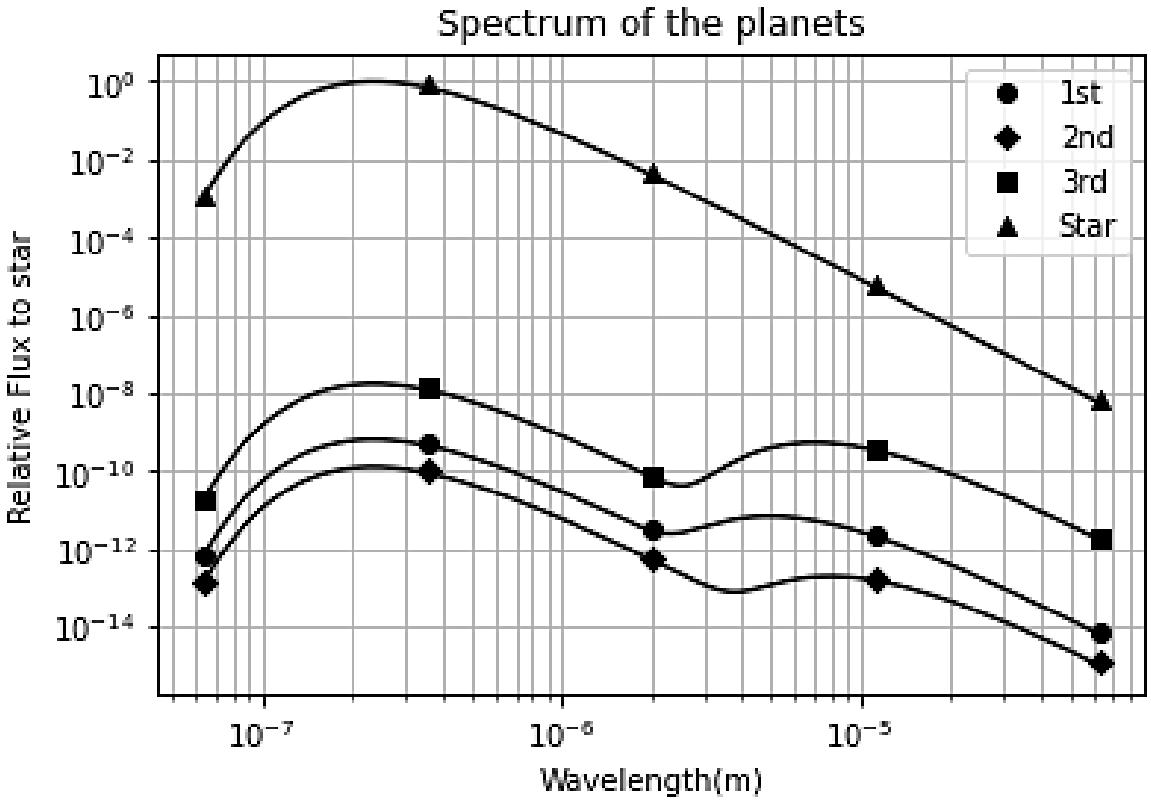
الف) مدت زمانی که طول می‌کشد تا قرص ماه به طور کامل طلوع کند را محاسبه کنید. (اولین تماس قرص ماه با افق تا آخرین تماس قرص ماه با افق)

ب) برای تهیه‌ی این تایم لپس در حین طلوع ماه و در مدت زمانی که در قسمت قبل محاسبه کردید، مرکز ماه همواره در مرکز تصویر قرار خواهد داشت. در طول ثبت تصاویر از ماه، مقدار چرخش مقر در راستای سمت و مقدار چرخش مقر در راستای ارتفاع با دقت دقیقه قوسی به ترتیب چند درجه خواهد بود.

سوال ۳ – (۳۰ نمره) یک کاوشگر برای ماموریت رصدی خود به منظومه‌ای ناشناخته سفر کرده است و از آنجایی که طیف‌های سیارات این منظومه اطلاعات بسیار زیادی از سطح سیارات آن به ما می‌دهند، تصمیم به بررسی شار دریافتی از هر سیاره و طیف‌نگاری آن‌ها می‌کند. این کاوشگر ابتدا مشخصات فیزیکی اجزای این منظومه را محاسبه می‌کند. برای ستاره‌ی مرکزی این منظومه، دما برابر ۱۲۳۵۰ کلوین و شعاع آن برابر 8.12×10^8 متر است. همچنین این کاوشگر ۳ سیاره را رصد می‌کند و اطلاعات آنها را به دست می‌آورد که در جدول زیر مشاهده می‌کنید.

شماره سیاره	فاصله تا ستاره (واحد نجومی)	شعاع سیاره (کیلومتر)
یک	۰.۸۴۶	۴۳۷۵
دو	۱.۲۹۷	۲۳۹۳
سه	۲.۱۳۴	۸۹۹۱۱

نموداری که در ابتدای صفحه‌ی بعد آمده است، طیف ستاره‌ی مرکزی و طیف سیارات منظومه را نشان می‌دهد. محور عمودی این نمودار شار نسبی نرمال شده به بیشینه‌ی شار ستاره و محور افقی طول موج بر حسب متر است. این طیف از قرص کاملا روشن هر سیاره ثبت شده و از یک ناحیه‌ی کوچک از مرکز سطح آنها اندازه‌گیری شده است. مدار سیارات دایروی بوده و همچنین سیارات همگی در تعادل گرمایی هستند.



الف) با توجه به نمودار فوق دلیل آنکه طیف ستاره یک قله (بیشینه) دارد اما طیف سیارات دارای دو قله (دو بیشینه‌ی نسبی) است را بیان کنید.

ب) با استفاده از نمودار داده شده، طول موج بیشینه‌ی تابش هر کدام از سیارات را بدست بیاورید.

ج) دمای موثر هر سه سیاره را بدست بیاورید.

د) ضریب آلبدوی هر سه سیاره را محاسبه کنید.

سوال ۴ – (۳۵ نمره) در مقیاس های کهکشانی برای اینکه یک ابر گازی رمبش کند، شرطی روی مقیاس زمانی های آن ابر وجود دارد. دو مقیاس زمان متفاوت وجود دارد که شکل زیر تعریف می‌شوند:

- **مقیاس زمانی صوت**: زمانی که طول می‌کشد یک جبهه‌ی موج صوتی شعاع ابر گازی را به صورت کامل طی کند. این مقیاس به صورت $t_{sound} = \frac{R}{c_s}$ تعریف می‌شود که R شعاع ابر گازی و c_s سرعت صوت است.
- **مقیاس زمانی سقوط آزاد**: زمانی که طول می‌کشد یک ابر گازی بدون وجود هیچ مقاومتی کاملا در خودش رمبش گرانشی انجام دهد. رابطه‌ی این مقیاس زمانی به شکل $t_{ff} \propto \frac{1}{\sqrt{G\rho}}$ است که ρ چگالی این ابر و G ثابت جهانی گرانش است. (فرض کنید ابر گازی یکنواخت است)

حال رمبش در صورتی اتفاق می‌افتد که مقیاس زمانی سقوط آزاد از مقیاس زمانی صوت کمتر باشد. در غیر این صورت انرژی جنبشی ذرات مانع از رمبش ابر می شود.

الف) برای بدست آوردن ضریب نسبت مقیاس زمانی سقوط آزاد، فرض کنید یک ذره در لبه ابر هنگام سقوط آزاد در حال طی کردن یک مدار بیضوی با خروج از مرکز بسیار نزدیک به ۱ باشد. در این صورت نصف دوره تناوب حرکت در مدار برابر زمان سقوط آزاد خواهد شد. با استفاده از این فرض اگر رابطه‌ی مقیاس زمانی سقوط آزاد به صورت $t_{ff} = k\frac{1}{\sqrt{G\rho}}$ باشد، مقدار k را به دست آورید.

ب) فرض کنید این ابر گازی از گاز کامل با دمای ثابت T تشکیل شده است که تمامی ذرات آن دارای جرم متوسط $\overline{m}$ هستند. اگر فرض کنیم سرعت صوت به شکل زیر داده شده باشد:

$$c_s^2 = \frac{dP}{d\rho}$$

مقیاس زمانی صوت را بر حسب پارامترهای فیزیکی مسئله برای این ابر بدست بیاورید. (P فشار گاز و ρ چگالی ابر گازی است.)

ج) می‌دانیم که چگالی میانگین جهان برابر ۶ پروتون بر متر مکعب است و همچنین با توجه به تابش پس زمینه‌ی کیهان دمای میانگین جهان برابر ۲.۷۳ کلوین است. اگر در همین شرایط با چگالی یکنواخت یک ابر گازی قادر به رمبش کردن می‌بود، حداقل شعاع آن ابر بر حسب کیلوپارسک چقدر می‌شد؟ (همه ذرات ابر گازی را هیدروژن در نظر بگیرید.)

سوال ۵ – (۴۵ نمره) بابک از صورت فلکی جبار و سحابی‌های زیبای اطراف آن یک تصویر زیبا و بی‌بدیل را ثبت کرده است که در صفحه‌ی بعد قرار داده شده است. این تصویر حاصل مجموع ۶ عکس با زمان نوردهی کوتاه و با فواصل زمانی ثابت در یک شب رصدی است. نقاطی که با علامت فلش (←) در تصویر مشخص شده اند، ماهواره‌ای مزاحم را نشان می‌دهند که در تمامی ۶ عکس ثبت شده‌اند. این ماهواره به دور زمین در گردش است. در تصویر شبکه بندی (Gridline) سیستم مختصات استوایی (خطوط هم میل و هم بعد) به همراه مقیاس رسم شده‌اند و همچنین خطوط صورت فلکی جبار در تصویر مشخص شده‌اند. با توجه به تصویر به سوالات زیر پاسخ دهید.

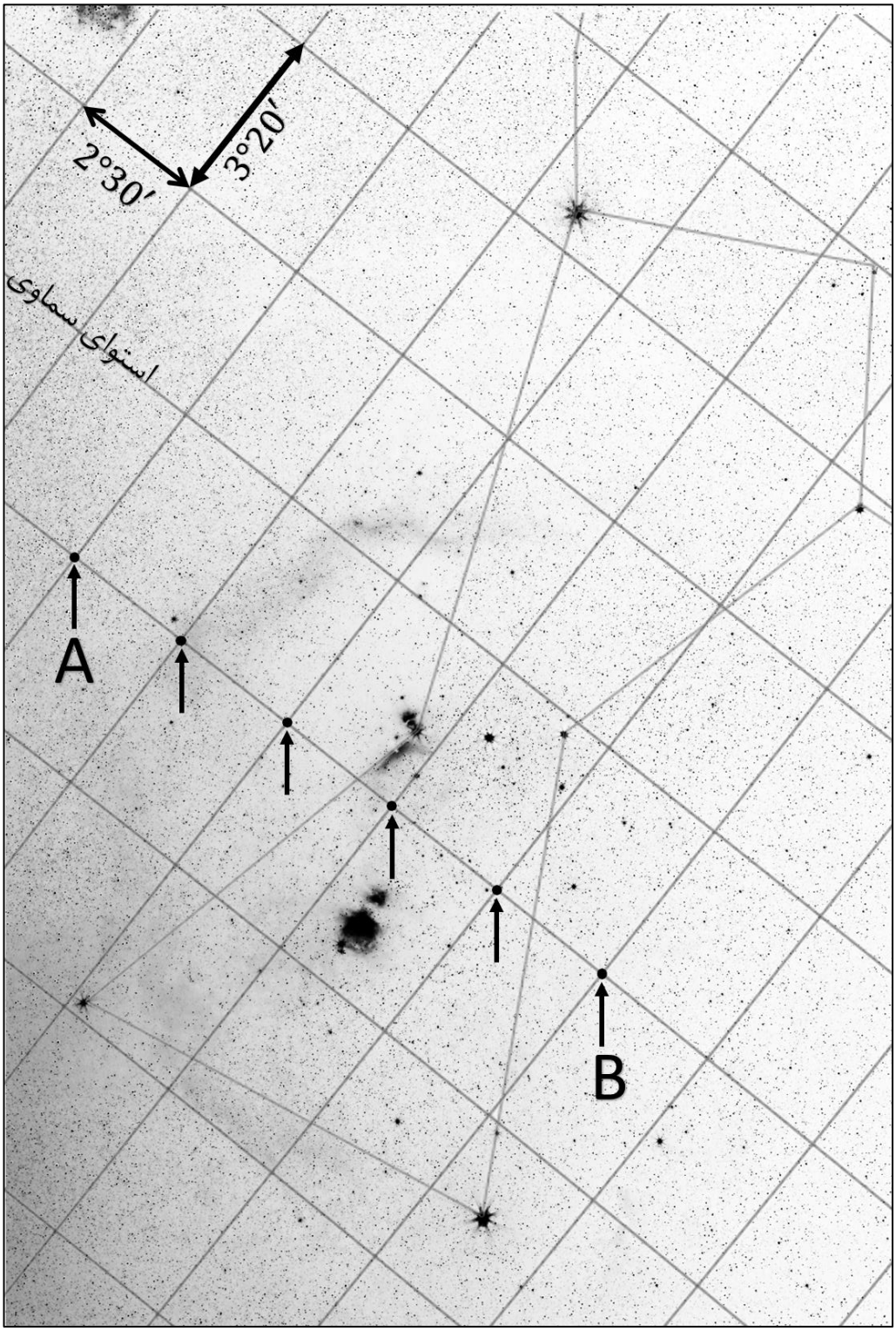
الف) دوره‌ی تناوب گردش این ماهواره به دور زمین چقدر است؟

ب) ارتفاع ماهواره از سطح زمین چند کیلومتر است؟

ج) فواصل زمانی بین هر عکس را با دقت ثانیه بیابید.

د) بین تصویری که ماهواره در آن در موقعیت A (روی شکل) قرار داشته و تصویری که ماهواره در آن در موقعیت B (روی شکل) قرار داشته، کدام عکس زودتر تهیه شده است؟

هـ) اگر هنگام تهیه آخرین عکس سمت و ارتفاع ماهواره به ترتیب ۲۵۰ و ۲۳ درجه باشد، عرض جغرافیایی ناظر را پیدا کنید.


2°30′
3°20′
استوای سماوی
A
B

سوال ۶ – (۵۰ نمره) ناظری بر روی یک سیاره‌ی کروی متقارن با توزیع جرم یکنواخت، جسمی را مشاهده می‌کند که بر اثر نیروی گرانش سیاره در حال حرکت در مداری بیضوی است. در لحظه ای که جسم در سرسوی ناظر قرار داشته ناظر متوجه می‌شود که نسبت سرعت شعاعی به سرعت مماسی جسم (نسبت به مرکز جرم سیاره) بیشینه است. این جسم هنگامی که به موقعیت اوج مداری خود می‌رسد از دید ناظر در حال غروب قرار دارد. او می‌داند که این جسم حتما با سیاره برخورد خواهد کرد.

با فرض اینکه این سیاره حرکت وضعی ندارد، خروج از مرکز مدار جسم به دور سیاره در چه بازه ای می‌تواند باشد.

سوال ۷ – (۶۰ نمره) خوشه‌ای کهکشانی با ساختاری نسبتا کروی از سه جزء اصلی زیر تشکیل شده است.

- هزاران کهکشان درخشان
- گاز هیدروژن یونیزه
- ماده‌ی تاریک

این سه جزء با یکدیگر به تعادل رسیده‌اند. در این خوشه‌ی کهکشانی مجموع جرم تمامی کهکشان‌هایش $M = 2 \times 10^{13}\ M_{\odot}$ است و قطر زاویه‌ای این خوشه‌ی کهکشانی ۳۰ دقیقه‌ی قوسی است.

قرمزگرایی ۱۰ کهکشان این خوشه در جدول زیر داده شده است.

کهکشان‌های فوق به طور تصادفی از نواحی مختلف خوشه انتخاب شده‌اند.

کهکشان	قرمزگرایی	کهکشان	قرمزگرایی
Xyphos-17	0.1136	Tarsis-Ω12	0.1050
Veltrion-5	0.1101	Quintara-9B	0.1170
Zorvexia Prime	0.1175	YX-405 Nebus	0.1181
N-GC 8472	0.1126	Vorathis-A27	0.1075
Ophidion-3X	0.1064	Draconis-Σ14	0.1123

(اسامی کهکشان‌ها توسط هوش مصنوعی تولید شده‌اند)

الف) فاصله‌ی این خوشه تا زمین چند مگاپارسک است؟

ب) شعاع این خوشه‌ی کهکشانی چند مگاپارسک است؟

ج) جرم کل این خوشه را بر حسب جرم خورشید محاسبه کنید.

د) آهنگ تولید انرژی به صورت اشعه‌ی x از گاز هیدروژن داغ و یونیزه در واحد حجم از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$\epsilon = 1.42 \times 10^{-40} \times n_e^2 \times T^{\frac{1}{2}} \quad (\frac{w}{m^3})$$

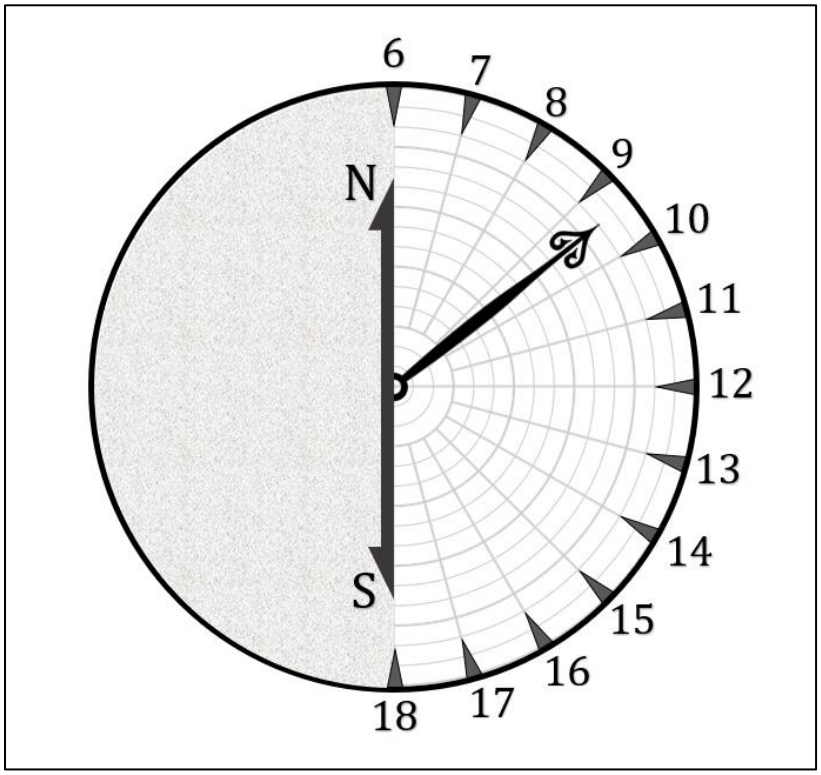
که در آن T دمای گاز هیدروژن یونیزه بر حسب کلوین و n_e چگالی عددی الکترون‌های آزاد بر حسب $\frac{\text{تعداد}}{m^3}$ است.

شار دریافتی اشعه x از این خوشه‌ی کهکشانی در سطح زمین برابر $f = 10^{-15}\,\frac{w}{m^2}$ اندازه‌گیری شده است.

در این قسمت با فرض اینکه دمای گاز هیدروژن یونیزه ۷۰ میلیون کلوین باشد، جرم کل گاز هیدروژن یونیزه موجود در خوشه‌ی کهکشانی را بر حسب جرم خورشید محاسبه کنید.

هـ) چند درصد از جرم کل خوشه از کهکشان‌های درخشان، چند درصد از گاز هیدروژن یونیزه و چند درصد از ماده‌ی تاریک تشکیل شده است؟

سوال ۸ – (۶۰ نمره) یک ساعت آفتابی به شکلی طراحی کرده ایم که از دو عقربه‌ی عمود بر همدیگر و یک دایره‌ی مدرج ساخته شده است. دایره‌ی مدرج روی سطح زمین صاف قرار می‌گیرد. ساختار مکانیکی این ساعت آفتابی به نحوی است که عقربه‌ی اول همواره به سوی خورشید نشانه می‌رود (از لحظه‌ی طلوع تا غروب).
عقربه‌ی دوم که عمود بر عقربه‌ی اول است مقید است تا همیشه روی سطح زمین بماند. عقربه‌ها به مرکز دایره متصل‌اند. می‌خواهیم زاویه‌ی سمت عقربه‌ای که روی زمین قرار دارد را به عنوان معیاری از گذر زمان در نظر بگیریم و زمان را با آن بسنجیم.



شکل فوق نمایی از دایره‌ی مدرج این ساعت آفتابی به همراه عقربه‌ی دوم را در زمانی تصادفی نشان می‌دهد. حروف N و S راهنمای ما جهت قرار دادن صحیح جهت این صفحه بر روی زمین است. جهت N به سمت شمال قرار خواهد گرفت. عقربه‌ی دوم همیشه در قسمت مدرج خواهد ماند.

الف) برای یک عرض جغرافیایی دلخواه (φ) در روز اعتدال بهاری، رابطه‌ای برای سمتی که عقربه‌ی دوم به آن نشانه رفته را تنها بر حسب زاویه ساعتی خورشید ($H_\odot$) و عرض جغرافیایی (φ) بدست بیاورید.

ب) در قسمت قبل در ساعت ۱۲ ظهر سمت عقربه‌ی دوم چه عددی را نشان می‌دهد؟

ج) در یک روز دلخواه که خورشید دارای میل $\delta_\odot$ است، این سمت را برحسب زاویه ساعتی خورشید، میل خورشید و عرض جغرافیایی منطقه بدست آورید.

د) تفاوت زمانی که این ساعت در روز ۱۳ آبان با ساعت رسمی در شهر تهران هنگام ساعت ۳ بعد از ظهر دارد را محاسبه کنید. تعدیل زمان در این روز برابر ۱۶.۵ دقیقه است.

هـ) با توجه به اختلاف به دست آمده در قسمت قبل به عنوان یک منجم آیا استفاده از این ساعت آفتابی را به دیگران پیشنهاد می‌کنید؟ کافیست با بله یا خیر پاسخ دهید.

سوال ۹ – (۶۰ نمره) کهکشان خورشیدشب درخشان‌ترین کهکشانی است که از سیاره شازده کوچولو در منظومه‌ی فراخورشیدی فناناپذیران در آسمان شب می‌درخشد. شازده کوچولو می‌خواهد سوار بر سفینه خود شود و فاصله‌ی این کهکشان تا سیاره خود را حساب کند و به اطلاع ساکنین سیاره خود برساند. سفینه‌ی او با سرعت ثابت v حرکت می‌کند و کوتاه‌ترین فاصله را در این جهان تخت انرژی تاریک غالب می‌پیماید.

الف) در طی مدت زمان کوتاه Δt سفینه چه مسیری را در دستگاه مختصات همراه طی کرده است؟ (از تغییر ضریب مقیاس $a(t)$ در این مدت صرف نظر کنید.)

شازده کوچولو در زمان t_0 ($a(t_0) = 1$) شروع به حرکت می‌کند و پس از گذشت مدت زمان $t_H = \frac{1}{H_0}$ به سیاره خود باز می‌گردد. (شازده کوچولو بلاقاصله پس از رسیدن به خورشید شب، به سمت سیاره خود باز می‌گردد.)

ب) شازده کوچولو در چه زمانی به کهکشان خورشیدشب رسیده است؟

ج) او فکر می‌کرد که ممکن است کهکشان‌هایی باشند که او هرگز نتواند به آنها برسد؟ در صورت وجود چنین کهکشان‌هایی، ضمن توضیح علت آن، فاصله نزدیک‌ترین آنها را در لحظه $t = t_0$ از سیاره شازده کوچولو حساب کنید.

راهنمایی:

دستگاه مختصات همراه یک سیستم مختصاتی است که با انبساط جهان هماهنگ است و کهکشان‌ها در این دستگاه موقعیت ثابتی داشته و تنها با گذر زمان، فاصله بین آنها افزایش می‌یابد.

سوال ۱۰ – (۶۵ نمره) در سال ۱۶۷۱ میلادی مصادف با ۱۰۴۹ هجری شمسی، منجم دانمارکی اوله رومر (Ole Rømer) رصدهایی از قمر آیو مشتری انجام داد و با تحلیل آن‌ها به یکی از اولین کسانی تبدیل شد که سرعت نور را اندازه گرفته است. در این سوال می‌خواهیم به بررسی روش او بپردازیم.

رومر دریافت که اختلاف زمانی رصد پایان دو اختفای پیاپی آیو پشت مشتری کمی متفاوت از مقداری تئوری آن بر پایه‌ی یافته‌های علم نجوم و مکانیک سماوی است و حدس زد که این اختلاف به دلیل این است که نور سرعتی محدود دارد و طول می‌کشد مسیر آیو تا ناظر زمینی را بپیماید.

زمان دو رصد پایان اختفای متوالی توسط رومر به تاریخ شمسی و به همراه زمان دقیق آن در جدول زیر آمده است:

	تاریخ	ساعت
رصد اول	۲۱ مهر	۲۳:۴۳:۱۹
رصد دوم	۲۳ مهر	۱۸:۱۳:۱۸

همچنین تاریخ مقابله‌ی مشتری در سال ۱۰۴۹ هجری شمسی در روز ۲۷ بهمن و ساعت ۲۱:۲۴:۱۴ بوده است.

در نظر بگیرید زمین و مشتری در مدارهای دایروی و هم صفحه به دور خورشید در گردش‌اند و آیو نیز در مدار دایروی به دور مشتری و هم صفحه با دایره‌البروج در گردش است و اندازه‌ی آیو در مقابل مشتری قابل صرف نظر کردن است. اگر در نظر بگیریم ناظر دقیقا در مرکز زمین باشد آنگاه:

الف) اختلاف طول مسیری که نور طی می‌کند تا از آیو در موقعیت پایان اختفا به ناظر زمینی برسد برای این دو رصد چقدر است؟

ب) اختلاف زمانی بین دو موقعیت پایان اختفا از دید ناظر زمین بدون در نظر گرفتن محدودیت سرعت نور در این دو رصد به طور دقیق چند ثانیه باید باشد؟

ج) با توجه به اختلاف زمانی بین قسمت ب و زمان رصدهای انجام شده توسط اوله رومر، سرعت نور را محاسبه کنید.