آیریسک
کانون دانش‌پژوهان ایران

دفترچه سؤالات مرحله دوم

سیزدهمین المپیاد نجوم و اخترفیزیک

سال برگزاری	تعداد سؤالات	زمان پاسخ‌گویی
۱۳۹۶	۱۰	۲۴۰ دقیقه

توضیحات مهم

استفاده از ماشین‌حساب مجاز است.

۱- این پاسخ‌نامه به صورت نیمه کامپیوتری تصحیح می‌شود، بنابراین از مچاله و کثیف کردن آن جداً خودداری نمایید.

۲- مشخصات خود را با اطلاعات بالای هر صفحه تطبیق دهید. در صورتی‌که حتی یکی از صفحات پاسخ‌نامه با مشخصات شما همخوانی ندارد، بلافاصله مراقبین را مطلع نمایید.

۳- پاسخ هر سؤال را در محل تعیین شده خود بنویسید. چنانچه همه یا قسمتی از جواب سؤال را در محل پاسخ سؤال دیگری بنویسید، به شما نمره‌ای تعلق نمی‌گیرد.

۴- با توجه به آن‌که برگه‌های پاسخ‌نامه به نام شما صادر شده است، امکان ارائه هیچ‌گونه برگه اضافه وجود نخواهد داشت. لذا توصیه می‌شود ابتدا سؤالات را در برگهٔ چرک‌نویس، حل کرده و آن‌گاه در پاسخ‌نامه پاکنویس نمایید.

۵- عملیات تصحیح توسط مصححین، پس از قطع سربرگ، به صورت ناشناس انجام خواهد شد. لذا از درج هر گونه نوشته یا علامت مشخصه که نشان‌دهنده صاحب برگه باشد، خودداری نمایید.

۶- از مخدوش کردن دایره‌ها در چهار گوشه صفحه و بارکدها خودداری کنید. در غیر این صورت برگه شما تصحیح نخواهد شد.

۷- 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.

۸- شرکت‌کنندگان در دوره تابستان از بین دانش‌آموزان پایه دهم و یازدهم انتخاب می‌شوند.

سؤالات مرحله دوم المپیاد نجوم و اختر فیزیک سال ۱۳۹۶

۱- یکی از روش‌های فهم بهتر ابعاد و اعداد بزرگ مقیاس در نجوم و اختر فیزیک، نزدیک‌تر کردن مقیاس‌ها به ابعاد و اندازه‌هایی است که معمولاً در زندگی روزمره از آن‌ها تجربه و حس بهتری داریم. بر این اساس می‌خواهیم مدلی ساده از جهان اطراف خودمان ایجاد کنیم که ابعاد و زمان‌های بزرگ مقیاس را بهتر درک کنیم. در این مدل فرض کنید که خورشید یک پرتقال درشت به قطر ۱۴ سانتی‌متر باشد. در این صورت فواصل و واحدهای آن‌ها را بیان کنید (از جدول موجود در پاسخنامه استفاده کنید).

انتخاب بهترین واحد در ستون واحد نمره خواهد داشت.

از بقایای به‌دست آمده از انسان‌های نخستین دیده می‌شود که تقریباً آن‌ها حدود ۲ میلیون سال قبل روی کره زمین می‌زیسته‌اند. اگر عمر عالم را یک روز ۲۴ ساعته تصور کنیم، موارد زیر را محاسبه کنید (از جدول موجود در پاسخنامه استفاده کنید). (۲۵ نمره)

جرم		واحد
قطر خورشید	۱۴	سانتی‌متر
قطر زمین		
فاصله زمین تا خورشید		
فاصله نزدیک‌ترین ستاره به خورشید		
قد یک انسان		
قطر منظومه شمسی		
قطر کهکشان راه شیری		
فاصله ابر ماژلانی کوچک		
فاصله ابر ماژلانی بزرگ		
فاصله کهکشان آندرومدا		
فاصله خوشه کهکشانی سنبله		
ابعاد کیهان		

محاسبات و نکته‌های مهم

سوال ۱ جدول ۱

بازه زمانی		واحد
سن عالم	۲۴	ساعت
عمر خورشید		
سن خورشید		
پیشینه انسان بر روی زمین		
زمانی‌که تاریخ نگاشته شده است (تقریباً ۴۰۰۰ سال)		
عمر یک انسان نوعی روی سطح زمین		
یک سال		

۲- محاسبه ساعت خورشیدی به همین سادگی است که شما در این سؤال می‌بینید. فقط باید این محاسبات را برای طول سال انجام دهید و آن را روی یک صفحه ترسیم کنید تا صفحهٔ اصلی ساعت آفتابی شما تولید شود.

آخرین عبور خورشید از نقطه اعتدال بهاری ساعت ۱۳:۵۷:۴۰ روز ۳۰ اسفند سال ۱۳۹۵ به وقت ایران بوده است. از بیضی بودن مدار زمین به دور خورشید صرف‌نظر کنید. البته اگر بخواهید که ساعت دقیق‌تری داشته باشید لازم است اثرات بیضی بودن مدار زمین را در نظر بگیرید. زوایای خواسته شده را با دقت ۱۵ دقیقه قوس گزارش کنید.

از دید ناظری در محل رصدخانه ملی ایران و در لحظه شروع آزمون المپیاد نجوم و اختر فیزیک، موارد زیر را محاسبه کنید (از جدول موجود در پاسخنامه استفاده کنید). (۴۰ نمره)

الف)	بعد خورشید	
ب)	میل خورشید	
ج)	زاویه ساعتی خورشید	
د)	ارتفاع خورشید	
ه)	سمت خورشید	
و)	طول سایه یک میله یک متری در محل	

محاسبات و نکته‌های مهم

۳- این سؤال برای تخمین سهم نوترینوهای ستاره‌ای در تابش زمینه نوترینوی کیهانی است.

نوترینوهای خورشیدی طی چند فرآیند غالب زیر تولید می‌شوند. در جدول زیر انرژی و سهم هر فرآیند برحسب درصد بیان شده است:

فرآیند	انرژی نوترینو (ke V)	سهم (درصد)	
$p-p$	۴۰۰	۹۲٫۴	$P+P \rightarrow D+e^{+}+\nu_e$
Li	۹۰۰	۷٫۴	$Be+e^{-} \rightarrow Li+\nu_e$
$p-e-p$	۱۷۰۰	۰٫۲	$P+e^{-}+P \rightarrow D+\nu_e$
Be	۱۸۰۰۰	۸×۱۰^{-۳}	$B \rightarrow Be+e^{+}+\nu_e$

واکنش‌های تولید هلیوم در فرآیند اول به شرح زیر است:

$$P+P \rightarrow D+e^{-}+\nu_e$$
$$P+D \rightarrow He^{۳}+\gamma$$
$$۲He^{۳} \rightarrow He^{۴}+۲P$$

الف) انرژی متوسط نوترینوهای خورشیدی را محاسبه کنید.

ب) درخشندگی نوترینویی خورشید را برحسب درخشندگی خورشید به دست آورید.

ج) فرض کنید همه کهکشان‌های عالم مشابه بوده و از ستاره‌های خورشید گون مشابه تشکیل شده باشند. درخشندگی کهکشان راه شیری $۱۰^{۱۱}$ برابر درخشندگی خورشید بوده و در کل عالم نیز تقریباً $۱۰^{۱۱}$ کهکشان تخمین زده می‌شود. تخمین بزنید در هر سانتی‌متر مکعب از کیهان چند نوترینو ستاره‌ای وجود خواهد داشت؟

د) در این صورت آیا نوترینوی ستاره‌ای می‌تواند کاندیدای خوبی برای ماده تاریک باشد؟ چرا؟ (چگالی ماده تاریک $۶\times۱۰^{-۲۸}\ kg/cm^{۳}$)

لطفاً پاسخ‌های نهایی خود را در جدول زیر بنویسید (از جدول موجود در پاسخنامه استفاده کنید). (۳۵ نمره)

الف)	
ب)	
ج)	
د)	

سؤال ۳ جدول ۱

محاسبات و نکته‌های مهم

۴- رصدخانه ملی ایران (INO) اولین نور خود را در انتهای سال ۱۴۰۰ دریافت خواهد کرد. اطلاعات کاملی از این رصدخانه در اینترنت موجود است (ino. org.ir) که برخی از آن‌ها در این‌جا آورده شده است. آینه اصلی آن وزن ۴ تن، ضخامت شیشه ۱۸ سانتی‌متر و از نوع شیشه زرودور (Zerudor) و با ضریب انبساط حرارتی $۱۰^{-۷}$ بر درجه سلسیوس، نسبت کانونی F/۱٫۵، دقت صافی سطح حدود ۲ نانومتر و قطر ۳٫۴ متر دارد. یک روزنه ۷۰۰ میلی‌متری در مرکز آینه اصلی برای عبور نور تعبیه شده است. قطر آینه ثانویه آن نیز ۶۰۰ میلی‌متر است. این تلسکوپ از نوع ریچی- کرتین بوده و هر دو آینه اصلی و ثانویه آن هذلولوی هستند. این تلسکوپ در قله گردش در نزدیکی شهر کاشان و در ارتفاع ۳۶۰۰ متری از سطح دریا قرار می‌گیرد. دید نجومی آن در بهترین حالت به حدود ۰٫۱ تا ۰٫۲ ثانیه قوسی می‌رسد.

الف) فاصله کانونی آینه اصلی این تلسکوپ چند متر است؟

ب) با اختلاف دمای حدود ۱۵ درجه بین شب و روز مقدار تغییر ضخامت آینه حدوداً چه ضریبی از طول موج نور مرئی خواهد شد؟

(راهنمایی: نور مرئی در بازهٔ ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر است)

ج) توان تفکیک ناشی از پراش این تلسکوپ چند میلی ثانیه قوس (mas) است؟

د) نسبت کانونی (F number) نهایی این تلسکوپ F/۱۱ است. مقیاس صفحه آن (plate scale) چقدر است؟ $(d\theta/dl)$

ه) برای پوشش میدان دید ۲۰ دقیقه قوس، ابعاد CCD مورد استفاده باید چند سانتی‌متر باشد؟

و) حد قدری این تلسکوپ چقدر است؟ (حد قدری چشم انسان با قطر مردمک ۶ میلی‌متر، ۶ است.)

ز) اگر این تلسکوپ بخواهد برای ثبت ستاره کم فروغی، این ستاره را به مدت ۱ ساعت دنبال کند به‌طوری که یک بازهٔ زاویه‌ای ۰٫۱ ثانیه قوسی، همواره روی یک پیکسل بیفتد، دقت سرعت زاویه‌ای موتور تلسکوپ برحسب میلی‌ثانیه قوسی بر ثانیه (mas/sec) چقدر باید باشد؟ (از جدول موجود در پاسخنامه استفاده کنید). (۴۰ نمره)

الف)	
ب)	
ج)	
د)	
ه)	
و)	
ز)	

سؤال ۴ جدول ۱

محاسبات و نکته‌های مهم

۵- برای سادگی فرض کنید که مدارهای زمین و مریخ دایره بوده و روی یک صفحه قرار دارند. می‌خواهیم یک مریخ نورد را با صرف کمترین انرژی از سطح زمین به مریخ پرتاب کنیم. فرض می‌کنیم که مقدار تغییر سرعت‌ها در زمان‌های بسیار کوتاهی نسبت به زمان کل انتقال، صورت می‌گیرد (که معمولاً و در عمل نیز این فرض خوبی است).

ابتدا تمامی پاسخ‌ها را به صورت پارامتری به‌دست آورده و سپس مقادیر عددی آن‌ها را محاسبه کنید و در جدول پاسخ‌ها بنویسید. (شعاع مداری مریخ ۱٫۵۲ AU است)

الف) شکل مدار مورد نظر خود را ترسیم کنید.

ب) کمترین مقدار افزایش سرعتی را که لازم است به مریخ نورد داده شود تا بتواند به مدار مریخ برسد به‌دست آورید؟

ج) مقدار افزایش یا کاهش سرعتی که مریخ نورد در هنگام رسیدن به مدار مریخ لازم دارد تا اعمال کند، تا در مدار مریخ قرار گیرد را محاسبه کنید. **کاهش یا افزایش** را حتماً ذکر کنید.

د) زاویه زمین- خورشید- مریخ در لحظه پرتاب مریخ نورد را محاسبه کرده به‌طوری‌که مریخ‌نورد به محض قرارگیری در مدار مریخ بتواند بر سطح مریخ فرود آید. کدامیک باید جلوتر باشند؟ **زمین یا مریخ؟**

ه) آخرین مقابله مریخ و خورشید ۲ خرداد ۱۳۹۵ ساعت ۱۵:۳۰ به وقت تهران بود. محاسبه کنید که نزدیک‌ترین زمانی که برای پرتاب یک مریخ‌نورد مناسب است کی خواهد بود؟ (از جدول موجود در پاسخنامه استفاده کنید) (۵۰ نمره)

الف)

سؤال ۵ جدول ۱

محاسبات و نکته‌های مهم

	پاسخ به صورت پارامتری	پاسخ عددی
ب)		
ج)		
د)		
ه)		

سؤال ۵ جدول ۲

۶- فرض کنید کیهان تخت است و چگالی متوسط آن برابر است با $\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G}$. فرض کنید ۲۶ درصد از جرم کیهان از مادهٔ تاریک تشکیل شده است. هنوز دقیقاً مشخص نیست که مادهٔ تاریک از چه ذراتی تشکیل شده است. برخی از دانشمندان بر این باورند که نوترینوهای باقی‌مانده از انفجار بزرگ می‌توانند کاندید مناسبی برای مادهٔ تاریک باشند. ۶ نوع نوترینو با جرم‌های متفاوت در عالم وجود دارند (γ_1، γ_2، ...، γ_6). این نوترینوها در حال حاضر بسیار سرد هستند یعنی انرژی جنبشی‌شان در مقابل انرژی جرم سکونشان ناچیز است. چگالی عددی هر کدام از این نوترینوها $\frac{3}{11}$ چگالی عددی فوتون‌های تابش زمینه کیهانی است $(n_{\gamma i} = \frac{3}{11} n_p)$ که در آن $n_p = 410\ cm^{-3}$. با فرض این‌که نوترینوها تنها مؤلفهٔ تشکیل‌دهندهٔ مادهٔ تاریک در کیهان باشند، مجموع جرم ۶ نوع نوترینو، $m_0 = \sum_{i=1}^{6} m_{\gamma i}$ را برحسب واحد الکترون ولت بر مربع سرعت نور (eV/c^2) به دست آورید. این مقدار m_0 در واقع یک حد بالا برای جرم نوترینوها محسوب می‌شود که براساس اطلاعات کیهان‌شناسی حاصل شده است. (۲۵ نمره)

۷- فرض کنید در یک کهشکان نرخ تشکیل ستاره‌ای با زمان به صورت زیر کاهش می‌یابد:

$$S(t) = S(0)\ \exp\ (-t/t^*)$$

به طوری‌که $S(0) = 1\ M_{sun}/yr$ و $t^* = 3\ Gyr$ مقادیر ثابتی هستند. برای سادگی فرض کنید که فقط ۱۰ نوع ستاره با جرم‌های ۱، ۲، ۳، ... و ۱۰ جرم خورشید تولید می‌شوند و تابع توزیع جرمی ستاره‌های تولید شده با رابطهٔ زیر داده می‌شود:

$$\frac{dN(M)}{dM} = k\, M^{-3}$$

محاسبات و نکته‌های مهم

که در آن k مقدار ثابتی است.

الف) اگر فرض کنیم اولین دوره ستاره زایی در مدت ۱۰ میلیون سال اتفاق افتاده باشد و مجموعاً در این مرحله ۱ میلیون ستاره تولید شده باشد مقدار ثابت k را به‌دست آورید.

ب) پس از اولین دورهٔ ستاره زایی، تعداد ستاره‌های تولید شده از هر جرم را به‌دست آورده و در یک جدول ۱۰ سطری نمایش دهید و نمودار تابع توزیع جرمی (یعنی محور افقی جرم ستاره و محور عمودی تعداد ستارگان) را رسم کنید (از جدول موجود در پاسخنامه استفاده کنید).

ج) در زمان $t = ۱۰\ \mathrm{Gyr}$ تابع جرم ستاره‌هایی که روی رشتهٔ اصلی قرار دارند را مجدداً پس از محاسبه در جدول جدیدی وارد کرده و نمودار تابع جرم را رسم کنید. (از جدول موجود در پاسخنامه استفاده کنید).

راهنمایی: رابطهٔ جرم- طول عمر رشتهٔ اصلی ستارگان را به صورت زیر در نظر بگیرید.

$$T = ۱۰\ \mathrm{Gyr}\ (M/M_{sun})^{-۲}$$

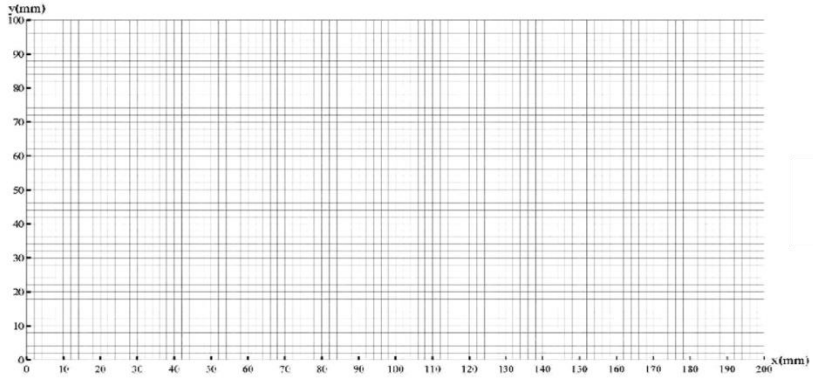
(۶۰ نمره)

تعداد ستاره	جرم ستاره
سؤال ۷ قسمت ب	

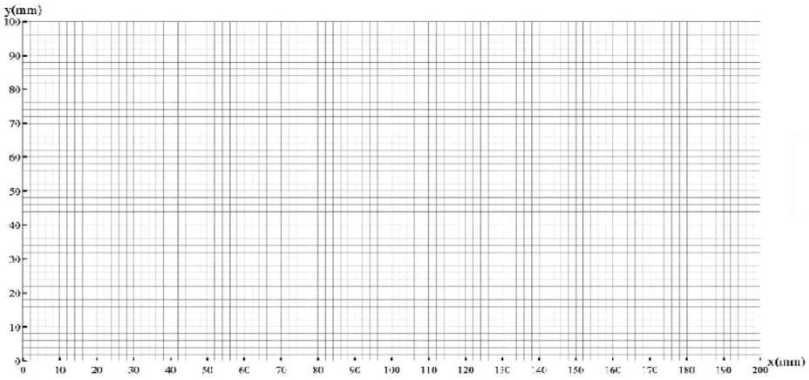
تعداد ستاره	جرم ستاره
سؤال ۷ قسمت ج	

محاسبات و نکته‌های مهم

سؤال ۷ قسمت ب



سؤال ۷ قسمت ج



۸- انفجار ابرنواختر SN۱۰۰۶ برای اولین بار توسط منجم مسلمان علی‌ابن رضوان در تابستان سال ۱۰۰۶ میلادی به شرح زیر گزارش شده است: "جرمی نورانی است به شکل دایره‌ای به بزرگی ۲٫۵ تا ۳ برابر سیاره زهره که آسمان را به خوبی روشن کرده است. شدت نور آن نزدیک به یک چهارم شدت نور ماه کامل است." همزمان راهبان مسیحی در سنت گالین نیز منحنی نوری این انفجار را به طور تقریبی ثبت کرده‌اند. براساس داده‌های آن‌ها به نظر می‌رسد که این انفجار از نوع ابرنواختر نوع Ia بوده است. ابرنواختر نوع Ia در یک سیستم دوتایی که یکی از مؤلفه‌های آن کوتوله سفید باشد رخ می‌دهد. وقتی جرم مؤلفهٔ کوتولهٔ سفید به یک حد خاص معروف به حد چاندراسخار می‌رسد انفجار رخ می‌دهد. به دلیل یکسان بودن این شرط حدی برای شروع انفجار، تمام ابرنواخترهای نوع Ia در بیشینهٔ روشنایی خود به قدر مطلق یکسانی می‌رسند که مقدار آن در فیلتر نور مریی برابر است با $M_V = -۱۹٫۵ \pm ۰٫۴$. در دو دههٔ گذشته رصدهای متعددی از بقایای این ابرنواختر انجام شده است. با مقایسهٔ تصاویر دیده شده در سال‌های متوالی مشخص شده است که پوش کروی تولید شده از بقایای این انفجار با سرعت $\alpha = ۰٫۲۸۰ \pm ۰٫۰۰۸ \ \text{mili arcsec.yr}^{-۱}$ در حال انبساط است. همچنین با اندازه‌گیری انتقال دوپلری خطوط طیفی، سرعت شعاعی پوش در حال انبساط نیز برابر با $V_r = ۲۹۰۰ \pm ۱۰۰ \ \text{km/s}$ اندازه‌گیری شده است. نهایتاً از قرمزشدگی طیف ستاره‌های همسایه، مقدار جذب میان ستاره‌ای در راستای دید SN۱۰۰۶ برابر $A_V = ۰٫۳۱ \pm ۰٫۱۰$ اندازه‌گیری شده است.

محاسبات و نکته‌های مهم

الف) فاصلهٔ ما از SN۱۰۰۶، و نیز خطای مربوطه را برحسب پارسک به دست آورید $(d, \Delta d)$.

ب) با فرض این‌که فاصلهٔ SN۱۰۰۶ تا ما در زمان انفجار نیز تقریباً همان d بوده، قدر ظاهری (mv) در بیشینهٔ درخشندگی را به همراه خطای مربوطه به‌دست آورید.

ج) مقدار قدر ظاهری محاسبه شده را با مشاهدهٔ علی‌ابن رضوان مقایسه کنید. (۴۰ نمره)

۹- فوتونی با بسامد f دارای جرم لختی مؤثر m است (جرم گرانشی فوتون از انرژی آن استخراج می‌شود). بنابراین فوتونی که از سطح یک ستاره گسیل می‌شود، هنگام فرار از میدان گرانشی ستاره، مقداری از انرژی خود را از دست می‌دهد.

الف) انتقال نسبی بسامد $\frac{\Delta f}{f}$ یک فوتون هنگام فرار از سطح یک ستاره به بی‌نهایت را برحسب جرم و شعاع ستاره به دست آورید. فرض کنید $\frac{\Delta f}{f} << ۱$.

ب) برای اندازه‌گیری شعاع ستاره‌ها در کهکشان راه شیری، یک فضاپیمای بدون سرنشین به فضا پرتاب شده است. از آنالیز طیف دو ستارهٔ مخالف (ستاره‌های ۱ و ۲) انتقال به سرخ $(\frac{\Delta\lambda}{\lambda})_۱ = ۲\times۱۰^{-۶}$ و $(\frac{\Delta\lambda}{\lambda})_۲ = ۱۰^{-۵}$ برای یکی از خطوط جذبی مشخص این ستاره‌ها اندازه‌گیری شده است. با فرض این‌که رابطهٔ جرم- شعاع ستاره‌های رشته اصلی به صورت $R \propto M^{۰/۶}$ باشد، نسبت شعاع ستاره ۲ به شعاع ستاره ۱ را به‌دست آورید. فرض کنید هر دو ستاره بر روی رشتهٔ اصلی قرار دارند. (۳۰ نمره)

۱۰- فرض کنید ستاره‌های رشتهٔ اصلی در تعادل ویریالی باشند، یعنی دو برابر مجموع انرژی جنبشی ذرات برابر است با اندازه انرژی پتانسیل گرانشی. همچنین فرض کنید جرم و درخشندگی ستاره‌ها به صورت $L \propto M^{\alpha}$ به هم مرتبط است. انرژی هسته‌ای تولید شده در ستاره‌ها نیز با رابطهٔ $\varepsilon_n \propto \rho_c T_c^B$ داده می‌شود که در آن ρ_c و T_c به ترتیب چگالی و دمای مرکزی ستاره هستند.

الف) با توجه به این‌که چگالی مرکزی ستاره به صورت $\rho_c \propto M^{\psi}$ با جرم ستاره متناسب است مقدار ثابت ψ را برحسب ثابت‌های α و β به‌دست آورید.

ب) با توجه به این‌که مقدار α همواره کمتر از ۵ است تعیین کنید به ازای چه مقادیر از β چگالی با جرم متناسب است (یعنی ψ مثبت است). (۲۵ نمره)

محاسبات و نکته‌های مهم

- **آشنایی و برنامه‌ریزی المپیادهای علمی**
- **اطلاع‌رسانی تمام اخبار المپیادی کشور**
- **مشاوره و کلاس‌های آنلاین**
- **آزمون‌های آنلاین المپیاد**
- **معرفی منابع و فروشگاه کتاب آنلاین**

برای دریافت، تصویر بالا را اسکن یا
"المپیاد آیریسک" را جستجو کنید.