

[۹۰ نمره]

(30) - D01) سال با سیارات فراخورشیدی

این مسئله برخی از جنبه‌های دوروش اصلی تشخیص سیارات فراخورشیدی را بررسی می‌کند: سرعت شعاعی سیاره و گذر سیاره از جلوی ستاره. در طول این مسئله، ما یک منظومه خاص که فقط دارای یک سیاره (P) است که در مداری دایره‌ای با شعاع a به دور یک ستاره از نوع خورشید (S) می‌گردد، را در نظر خواهیم گرفت. ما این منظومه را "سامانه SP" می‌نامیم.

(D01.1)	8 نمره
---------	--------

قدر ظاهری در باند مرئی (V) ستاره ی S برابر با $7.65 \pm 0.03 \text{ mag}$ و این منظومه دارای اختلاف منظری بر حسب ثانیه قوسی برابر با $20.67 \pm 0.05 \text{ miliarcsecond}$ است. تصحیح بولومتریک BC ستاره برابر با -0.065 mag است.

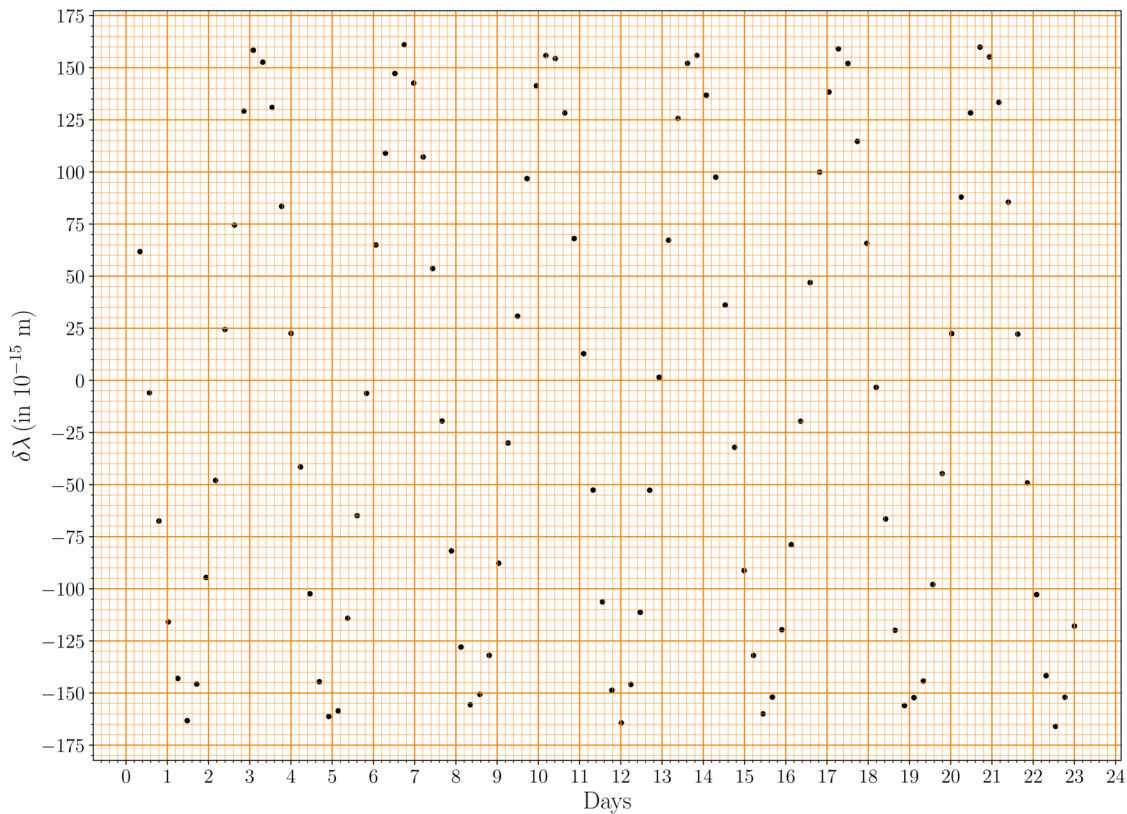
با فرض این که رابطه جرم-درخشندگی ستارگان به صورت $L \propto M^4$ باشد، جرم ستاره، یعنی M_s ، را بر حسب جرم خورشید ($M_\odot$) به دست آورید.

سپس خطای جرم محاسبه شده برای ستاره را نیز بر حسب جرم خورشید گزارش کنید. ممکن است به $d \ln x / dx = 1/x$ نیاز داشته باشید.

روش سرعت شعاعی

در روش سرعت شعاعی، از اثر دوپلر استفاده می‌شود. تغییر طول موج بین طول موجی که رصد شده است (λ_{obs}) و طول موج اصلی (λ_0) که واقعا در ابتدا از ستاره خارج شده است برابر با $\delta\lambda \equiv \lambda_{\text{obs}} - \lambda_0$ است. این طول موج می‌تواند یک طول موج شناخته شده از طیفی باشد که از نور سیاره دریافت می‌شود.

منحنی زیر، تغییرات طول موج، یعنی $\delta\lambda$ ، را برای خط جذبی آهن Fe I از دید ناظری که از زمین به منظومه SP نگاه می‌کند، در طول زمان نشان می‌دهد. طول موج اولیه ساطع شده این خط طیفی از منظومه برابر با $(\lambda_0 = 543.45 \times 10^{-9} \text{ m})$ است.



سرعت شعاعی نیمه مقدار (semi-amplitude) را که با علامت K مشخص می کنیم به صورت $K \equiv \frac{(v_{r, \max} - v_{r, \min})}{2}$ تعریف می شود که در آن $v_{r, \max}$ و $v_{r, \min}$ به ترتیب عبارت از سرعت های شعاعی بیشینه و کمینه ی دیده شده برای سیاره هستند.

برای یک مدار دایروی سیاره به دور ستاره، می توان K را به صورت زیر نوشت:

$$K = \left(\frac{2\pi G}{T} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{M_p \sin i}{(M_p + M_s)^{\frac{2}{3}}}$$

که در آن T و i به ترتیب برابر با دوره تناوب مداری سیاره به دور ستاره و زاویه انحراف صفحه مداری سیاره به دور ستاره هستند. این زاویه انحراف به صورت زاویه بین بردار عمود بر صفحه مداری سیاره و راستای دید (یعنی خط واصل زمین به ستاره ی منظومه) تعریف می شود.

در رابطه بالا M_p و M_s به ترتیب، جرم های سیاره و ستاره هستند.

(D01.2) از نمودار داده شده در پاسخبرگ Summary Answersheet استفاده کنید و به سوالات زیر پاسخ دهید و پاسخ خود را نیز در نمودار پاسخبرگ وارد کنید. دقت کنید که نمودار موجود در پاسخبرگ 90 deg چرخیده است و محور زمانی آن به صورت عمودی قرار گرفته است.

(D01.2a)

8 نمره

با توجه به نقاط نشان داده در نمودار پاسخبرگ، یک منحنی نرم تمیز از همه آن ها عبور دهید.

(D01.2b)

11 نمره

در این بخش می خواهیم T و K را به همراه خطای آن ها پیدا کنیم. برای این منظور، تمام نقاط مهم و بارز در مجموعه نقاط داده شده در سوال، را که برای تعیین این دو پارامتر مفید هستند، مشخص کنید. یعنی برای آن نقاطی که برای تعیین دو پارامتر T و K به طور معمول از آن ها می توان استفاده نمود، مشخصه های عمودی و افقی آن ها را از نمودار، با عنوان مناسب برای سطرها و ستون ها با رعایت نظم مناسب، در جدول موجود در پاسخبرگ Summary Answersheet وارد کنید. محاسبات لازم برای تعیین این دو پارامتر را در پاسخبرگ بنویسید و محاسبات خطای این دو پارامتر را نیز بنویسید و نتایج را در پاسخبرگ خلاصه با واحد مناسب وارد کنید.

(D01.2c)

5 نمره

حال، در رابطه داده شده در سوال از تقریب $M_p \ll M_s$ استفاده کنید و کمینه ی جرم سیاره که می توان از آن رابطه، با داشتن حداقل اطلاعات تخمین زد، $M_{p, \min}$ ، را بر حسب جرم خورشید $M_\odot$ به دست آورید. این سوال در امتداد سوالات قبلی است. خطای این جرم کمینه سیاره را نیز بر حسب جرم خورشید به دست آورید.

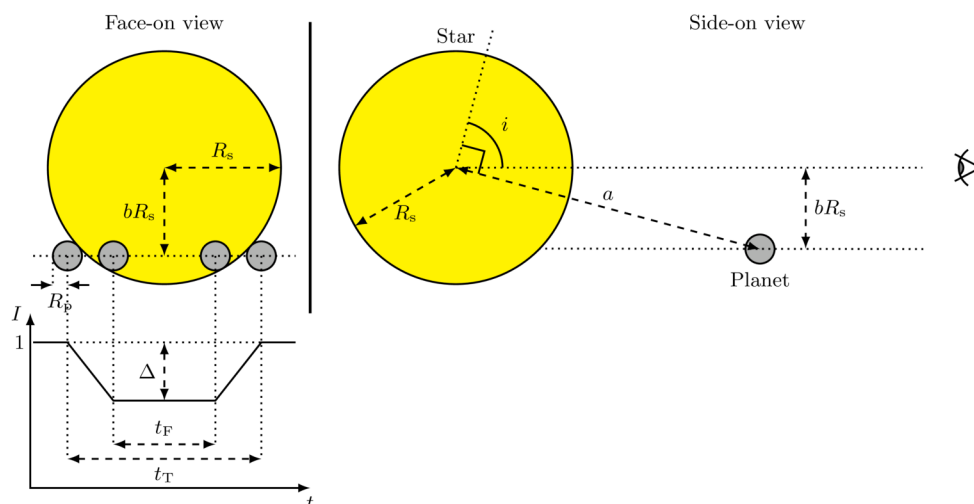
(D01.2d)

4 نمره

با استفاده از $M_{p, \min}$ که در بخش (D01.2c) به دست آوردید، مقدار کمینه ای برای نیم قطر بزرگ، $a_{\min}$ ، بر حسب واحد نجومی AU به دست آورید. خطای این مقدار کمینه نیم قطر بزرگ را نیز بر حسب واحد نجومی به دست آورید.

روش عبور (بدون در نظر گرفتن اثر تاریکی لبه ی ستاره)

شکل شماتیک زیر، عبور سیاره از جلوی ستاره را از دید ناظر زمینی نشان می دهد. شکل به مقیاس رسم نشده است. در این بخش از سؤال فرض کنید که قرص دیده شده از ستاره دارای روشنایی سطحی یکنواخت است که به خاطر بعضی نویز های ذاتی موجود در ستاره، ممکن است مقداری نویز هم در نمودار آن ببینید.



در شکل بالا، منحنی شدت نوری نرمال شده I ، برای ستاره در طول زمان t ، هنگامی که سیاره از جلوی ستاره عبور می کند رسم شده است. نرمال سازی به این صورت است که شدت نور منظومه، در زمان هایی غیر از عبور، برابر با واحد (یک) گرفته شده است. مقدار بیشترین کاهش در شدت نوری، در منحنی نوری نرمال شده با Δ نشان داده شده است. برای یک ستاره با قرصی که دارای شدت نوری یکنواخت در نقاط مختلفش است، شعاع سیاره، یعنی R_p ، به Δ به صورت زیر وابسته است

$$\left(\frac{R_p}{R_s}\right)^2 = \Delta,$$

که در آن R_s ، شعاع ستاره است.

کل مدت زمان عبور سیاره از جلوی ستاره (یعنی وقتی حداقل بخشی از سیاره یا اینکه کل سیاره جلوی قرص ستاره باشد) با t_T داده می شود.

هم چنین t_F ، مدت زمانی است که کل قرص سیاره جلوی ستاره باشد.

پارامتر برخورد یا تأثیر، "impact parameter"، که با b نشان داده می شود، نسبت فاصله عمودی مسیر سیاره تا مرکز قرص ستاره، به شعاع ستاره، یعنی R_s ، است. برای تعریف، به تصویر هم می توانید نگاه کنید.

برای یک منظومه ی ستاره-سیاره که تقریباً از لبه دیده می شود، پارامتر برخورد با فرمول زیر داده می شود

$$b = \left[\frac{(1 - \sqrt{\Delta})^2 - \left(\frac{t_F}{t_T}\right)^2(1 + \sqrt{\Delta})^2}{1 - \left(\frac{t_F}{t_T}\right)^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

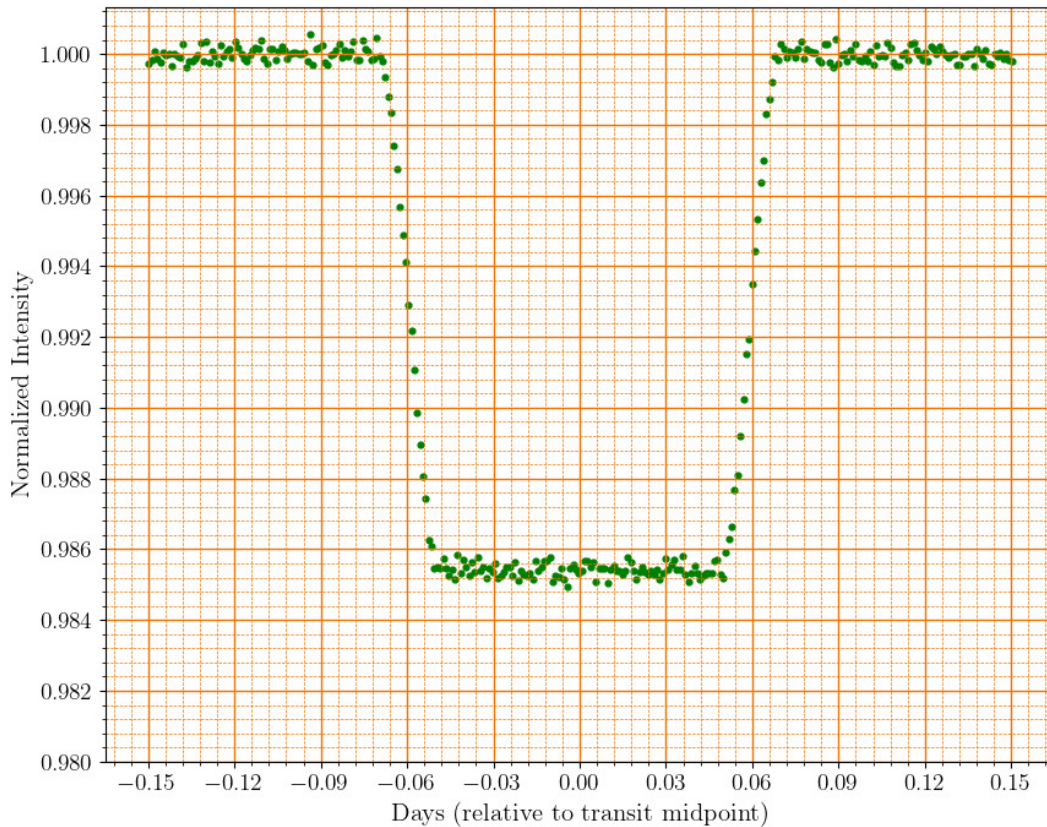
3 نمره	(D01.3)
--------	---------

برای سیستم SP، یعنی منظومه ستاره سیاره، شعاع ستاره به صورت زیر داده می شود

$$R_s = 1.20R_{\odot}$$

در این سیستم، عبور سیاره از جلوی ستاره واقعاً دیده می شود. حال با در نظر گرفتن این که عبور حتماً وجود دارد، با استفاده از شعاع مداری (یا همان نیم قطر بزرگ) کمینه که در بخش D01.2d حساب کردید، مقدار کمینه زاویه انحراف مداری ممکن، $i_{\min}$ ، را به دست آورید.

با در نظر گرفتن قرص ستاره، با روشنایی سطحی یکنواخت، منحنی نوری در زمان عبور سیاره از جلوی ستاره به صورت زیر داده شده است.



(D01.4)

با استفاده از منحنی نوری داده شده به سوالات زیر پاسخ دهید. منحنی نوری در پاسخبرگ خلاصه یا Summary Answersheet نیز داده شده است. رسم یا محاسبات خود را در نمودار موجود در پاسخبرگ انجام دهید.

(D01.4a)	3 نمره
----------	--------

مقدار زمان های t_T و t_F را بر حسب روز، با نشان دادن نقاط مناسب در نمودار، مشخص کنید و توضیحات یا محاسبات لازم را نیز در پاسخبرگ بنویسید.

(D01.4b)	2 نمره
----------	--------

مقدار متوسط تقریبی Δ را با نشان دادن و علامت زدن خواندن های مناسب در نمودار، به دست آورید.

سپس R_p را بر حسب شعاع خورشید $R_\odot$ به دست آورید.

(D01.4c)	2 نمره
----------	--------

حال که دلتا را یافتید، فرض کنید شعاع مداری سیاره به دور ستاره، برابر با $a_{\min}$ باشد که به دست آورده بودید. با توجه به صورت سوال، انحراف مداری i را بر حسب درجه به دست آورید.

معرفی اثر تاریکی لبه

در بخش گذشته فرض کرده بودیم روشنایی قرص ستاره یکنواخت است. در واقعیت، به خاطر اثر "تاریکی لبه" روشنایی قرص ستاره به صورت یکنواخت دیده نمی شود. این اثر اپتیکی است که باعث می شود نواحی مرکزی ستاره، از لبه های آن پرنورتر دیده شوند.

اثر تاریکی لبه را می توان با اندازه گیری شدت $J(\theta) \equiv \frac{I(\theta)}{I(0)}$ مطالعه نمود. در این رابطه θ برابر با زاویه بین راستای عمود بر سطح ستاره و راستایی است که مرکز ستاره را به ناظر وصل می کند.

هم چنین $I(\theta)$ شدت مشاهده شده از قرص ستاره در یک زاویه دلخواه است و $I(0)$ برابر با شدت روشنایی در مرکز قرص ستاره است. برای یک ناظر بسیار دور، θ بین صفر تا 90، از $\theta = 0$ (مرکز ستاره) تا $\theta \approx 90^\circ$ (لبه ستاره) تغییر می کند.

(D01.5)

جدول زیر شدت های سطحی $J(\theta)$ اندازه گیری شده در یک طول موج مشخص را برای تتاهای مختلف، برای خورشید نشان می دهد. ما در نظر می گیریم که علاوه بر خورشید، ستاره این منظومه نیز از همین پروفایل اندازه گیری شده شدت سطحی تبعیت می کند.

θ	$J(\theta)$	θ	$J(\theta)$	θ	$J(\theta)$	θ	$J(\theta)$
0°	1.000	20°	0.971	40°	0.883	70°	0.595
10°	0.994	25°	0.950	50°	0.794	80°	0.475
15°	0.984	30°	0.943	60°	0.724	90°	0.312

پروفایل روشنایی تاریکی لبه را می توان به صورت فرمول درجه دو زیر مدل کرد.

$$J(\theta) = 1 - a_1(1 - \cos \theta) - a_2(1 - \cos \theta)^2,$$

که در آن a_1 و a_2 دو ثابت هستند که باید تعیین شوند.

حال می خواهیم طی بخش های بعدی، با فکر کردن و برازش ساده ای، دو پارامتر مجهول a_1 و a_2 را با پیدا کردن متغیرهای مناسب از فرمول بالا و استفاده از داده های بالا و رسم نمودار، به دست آورید.

2 نمره	(D01.5a)
--------	----------

یک جفت از متغیرها، به صورت (x_1, y_1) ، در نظر بگیرید که با توجه به فرمول داده شده برای روشنایی سطحی، به خوبی و سادگی ارتباط دو پارامتر J و θ را مشخص می کنند.

عبارت هایی برای این که x_1 و y_1 را دقیقاً چه گرفته اید در پاسخبرگ بنویسید.

اگر نیاز دارید پارامترهای اضافه ای را در نظر بگیرید، آن ها را با (x_2, y_2) و ... نشان دهید.

4 نمره	(D01.5b)
--------	----------

حال، متغیرهایی را که تعریف کردید با استفاده از مقادیر جدول بالا، مقداردهی کنید و مقادیرهای هر دو متغیر را در جدول موجود در پاسخبرگ وارد کنید.

7 نمره	(D01.5c)
--------	----------

متغیرهایی که تعریف کرده اید را در کاغذ نموداری که به شما داده شده است رسم کنید و نام آن را "D01.5c" بگذارید.

(D01.5d)

نمره 7

حال پارامترهای a_1 و a_2 را محاسبه کنید و نمودار مناسب آن را رسم کنید. نیازی به گزارش خطا یا علامت زدن خطا در نمودار نیست.

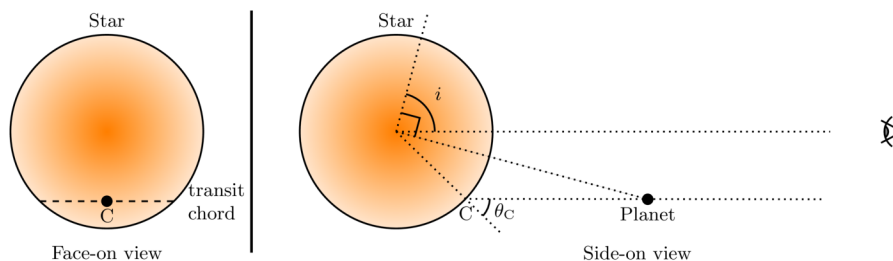
بررسی عبور سیاره و اثر تاریکی لبه با هم

حال در این بخش در نظر می گیریم سیاره از مقابل ستاره که اثر تاریکی لبه نیز دارد، عبور می کند. در حضور اثر تاریکی لبه که پروفایل روشنایی ستاره را باید با تابع درجه دو $J(\theta)$ (که قبلاً به شما داده شد) مدل کنیم، شدت میانگین کل قرص ستاره، وقتی که سیاره جلوی آن نیست، به صورت زیر داده می شود:

$$\langle I \rangle = \left(1 - \frac{a_1}{3} - \frac{a_2}{6} \right) I(0)$$

در این شرایط، کاهش نور ستاره در اثر عبور سیاره، دیگر فقط به اندازه نسبی سیاره نسبت به ستاره، یعنی نسبت $\left(\frac{R_p}{R_s} \right)$ بستگی ندارد. بلکه به پروفایل روشنایی سطحی ستاره در طول مسیری که سیاره از روبروی ستاره می گذرد نیز بستگی دارد. خود این مسیر نیز به زاویه انحراف مداری سیاره به دور ستاره، یعنی i ، بستگی دارد.

شکل شماتیک زیر (که با رعایت مقیاس رسم نشده است) موقعیت قرارگیری سیاره و ستاره و ناظر را نشان می دهد. در این شکل ها، مناطق روشن تر ستاره، پر رنگ تر نشان داده شده اند و سیاره نیز با نقطه ای با رنگ مشکی نمایش داده شده است.



رابطه بین $\left(\frac{R_p}{R_s} \right)$ و مقدار اندازه گیری شده برای Δ از منحنی نوری، به صورت زیر داده می شود

$$\Delta = \frac{I(\theta_C)}{\langle I \rangle} \left(\frac{R_p}{R_s} \right)^2,$$

که در آن $I(\theta_C)$ عبارت است از شدت روشنایی سطحی قرص ستاره دقیقاً در نقطه ی وسط مسیر خطی عبور سیاره از جلوی ستاره (یعنی نقطه ی C در شکل بالا) است.

در رابطه بالا، θ_C عبارت است از زاویه بین راستای دید ناظر و راستای عمود بر سطح ستاره در نقطه ی وسط مسیر. به شکل توجه کنید.

از رابطه بالا برای دلتا معلوم است که برای یک ستاره مشخص، یک مقدار مشخص از Δ ، به ازای ترکیب های مختلفی از ابعاد سیاره، یعنی R_p ، و زاویه انحراف مداری، یعنی i ، می تواند به دست آید.

(D01.6)

این امکان وجود دارد که R_p و i را به طور یکتا، با استفاده از منحنی نوری منظومه در هنگام عبور سیاره، با مطالعه دو طول موج λ_B (رنگ آبی) و λ_R (رنگ قرمز)، تعیین کرد.

ضرایب اثر تاریکی لبه به ازای این دو طول موج در جدول زیر داده شده اند.

Wavelength	a_1	a_2
λ_B	0.82	0.05
λ_R	0.24	0.20

(D01.6a)

2 نمره

پاسخ مناسب را از بین سه گزینه زیر که ارتباط بین بیشینه افت روشنائی در هنگام عبور، یعنی Δ ، را به ازای طول موج λ_B و زاویه انحراف مداری (i) را به خوبی توصیف می کند، انتخاب کنید و آن را در پاسخبرگ خلاصه Summary Answersheet با علامت ☒ مشخص کنید. در پاسخبرگ نیز استدلال لازم را ارائه دهید.

A. با کاهش i ، مقدار Δ افزایش می یابد.

B. با کاهش i ، مقدار Δ کاهش می یابد.

C. مقدار Δ مستقل از i است و به آن ربطی ندارد.

(D01.6b)

4 نمره

بیشینه افت نوری در هنگام عبور سیاره، یعنی Δ ، برای منظومه ی SP، به این صورت اندازه گیری شده است.

به ازای رصد طول موج آبی رنگ λ_B ، دلتا برابر با 0.0182

و به ازای طول موج قرمز رنگ λ_R ، دلتا برابر با 0.0159 می باشد.

برای منحنی نوری هر دو رنگ λ_B و λ_R ، در نموداری که در پاسخبرگ خلاصه به شما داده شده است، دو منحنی مناسب رسم کنید و آن ها را با نام های "B" و "R" مشخص کنید. دلیل انتخاب خود را در پاسخبرگ مختصراً توضیح دهید. برای رسم دو منحنی، فرض کنید مدت زمان عبور کلی، یعنی عبور کل سیاره از جلوی ستاره برای هر دو طول موج یکسان است. منحنی ها نیاز به رعایت مقیاس ندارند و شکل مقایسه کیفی درست مورد انتظار است.

(D01.7)

حال می خواهیم یک روش ترسیمی به کار ببریم برای این که مقدارهای R_p و i را برای منظومه SP پیدا کنیم. این کار را با استفاده از اندازه گیری هایی که برای Δ در دو طول موج λ_B و λ_R به دست آمده است، انجام می دهیم.

(D01.7a)

6 نمره

به منظوری که در بالا ذکر شد، با استفاده از روابطی که در صورت سوال داده شده اند، عبارت ها و روابطی مناسب بنویسید که متغیرهای متناسب با این هدف را به همدیگر مربوط کنند. ممکن است i یا b یا R_p در روابط شما موجود باشند.

5 نمره	(D01.7b)
--------	----------

به هدف ذکر شده در بالا، پارامترهای مناسب را با مقدار آن ها در جدول پاسخبرگ وارد کنید.

7 نمره	(D01.7c)
--------	----------

یک نمودار مناسب در کاغذ نمودار رسم کنید و نام آن را "D01.7c" بگذارید.

4 نمره	(D01.7d)
--------	----------

از نمودار، مقدارهای R_p (بر حسب $R_{\odot}$) و i (بر حسب درجه) را به دست آورید و در پاسخبرگ وارد کنید.

2 نمره	(D01.8)
--------	---------

با توجه به نتایج به دست آمده در این مسأله، مشخص کنید که آیا سیاره ی P، خاکی (ROCKY) یا گازی (GASEOUS) است و در باکس مناسب در پاسخبرگ خلاصه Summary Answersheet تیک (✓) آن را بزنید و استدلال لازم در پاسخبرگ نیز ارائه دهید.

(D02) پیش‌بینی زمان‌های رسیدن فوران‌های جرمی تاج خورشیدی یا همان کرونا به زمین [۶۰ نمره]

خورشید گاهی اوقات پلاسمای مغناطیسی را که به عنوان فوران‌های جرمی تاج خورشیدی یا کرونا (CMEs) شناخته می‌شود، از سطح خود آزاد کرده و به سمت بیرون پرتاب می‌کند. پیش‌بینی دقیق زمان‌های رسیدن آن‌ها به زمین برای درک و کاهش اثرات احتمالی آن‌ها بر ماهواره‌های در حال گردش به دور زمین بسیار مهم است. در این مسئله، هدف ما پیش‌بینی زمان‌های رسیدن CME ها، با توسعه یک مدل تجربی و با استفاده از داده‌های ۱۰ عدد CME است. در طول این مسئله، فاصله بین سطح خورشید و زمین $214R_{\odot}$ در نظر گرفته می‌شود.

علاوه بر این، فرض کنید که خورشید به دور خود نمی‌چرخد. CME ها به دلیل نیروهای الکترومغناطیسی، گرانشی و کششی، در طول انتشار خود شتاب متغیری را تجربه می‌کنند. در دو بخش اول این مسئله، فرض می‌کنیم که ناحیه بین خورشید و زمین خلاء می‌باشد.

خروج جرم از تاج خورشیدی (CMEs) در خلاء.

(D02.1) اگر سرعت اولیه کرونا یا همان CME در سطح خورشید را u ، و سرعت نهایی آن هنگام رسیدن به زمین را v ، و زمان رسیدن کرونا به زمین پس از ترک سطح خورشید را τ (که بر حسب ساعت داده شده) در نظر بگیریم، مقادیر این 3 کمیت برای ۱۰ عدد کرونا (CMEs) در جدول زیر ارائه شده است:

CME	u	v	τ
نام	$(\frac{km}{s})$	$(\frac{km}{s})$	(h)
CME-A	804	470	74.5
CME-B	247	360	127.5
CME-C	523	396	103.5
CME-D	830	415	71.0
CME-E	665	400	104.5
CME-F	347	350	101.5
CME-G	446	375	99.5
CME-H	155	360	97.0
CME-I	1016	515	67.0
CME-J	683	410	54.0

(D02.1a) شتاب متوسط، a ، را برای هر CME بر حسب $m s^{-2}$ محاسبه کنید. [3]

(D02.1b) یک مدل تجربی برای شتاب یک کرونا یا CME، وجود دارد که به سرعت اولیه آن u بستگی دارد. این

مدل به صورت، $a_{\text{model}} = m \left(\frac{u}{u_0} \right) + \alpha$ می‌باشد که در آن، a_{model} بر حسب $\frac{m}{s^2}$ ، u بر حسب $\frac{km}{s}$ بیان می‌شود. همچنین $u_0 = 1.00 \times 10^3 \frac{km}{s}$ می‌باشد.

ثابت‌های m و α و همچنین خطاهای هرکدام را با استفاده از فقط رسم نمودار تعیین کنید (نمودار خود [15] را به عنوان "D02.1b" علامت‌گذاری کنید).

(D02.1c) برای هر CME، a_{model} را بر حسب $\frac{m}{s^2}$ محاسبه کنید و مقادیر محاسبه شده را به همراه اسم هر کدام در یک جدول بنویسید. مقدار جذر میانگین مربعات اختلاف شتاب محاسبه شده، یعنی a ، و شتاب به دست آمده از مدل، یعنی a_{model} ، را محاسبه کنید، و با نماد δa_{rms} مقدار آن را گزارش کنید.

(D02.2) دو CME دیگر CME-1 و CME-2 را در نظر بگیرید که سرعت‌های اولیه هر کدام، u ، به ترتیب $1044 \frac{km}{s}$ و $273 \frac{km}{s}$ می‌باشد.

(D02.2a) با استفاده از مدل تجربی به دست آمده در قسمت (D02.1b)، زمان‌های مورد انتظاری که آن دو به زمین می‌رسند را برای CME-1 و CME-2، یعنی $\tau_{1,m}$ و $\tau_{2,m}$ (بر حسب ساعت)، محاسبه کنید.

(D02.2b) زمان‌های واقعی رصد شده برای CME-1 و CME-2 هنگامی که به زمین می‌رسند به ترتیب 46.0 ساعت و 74.5 ساعت هستند. مدل تجربی برای یک CME خاص معتبر در نظر گرفته می‌شود اگر زمان محاسبه شده در محدوده 20٪ از زمان واقعی رصد شده آن باشد؛ در غیر این صورت، معتبر نیست. اعتبار مدل را برای هر CME، با علامت زدن (✓) در جعبه مناسب در پاسخبرگ خلاصه نشان دهید.

بررسی CME ها در حضور باد خورشیدی

در واقعیت، فضای بین خورشید و زمین با باد خورشیدی پر شده است که نیروی کششی بر خروج جرم از تاج خورشیدی (CME) اعمال می‌کند. این نیروی کششی می‌تواند سرعت یک CME را نسبت به سرعت باد خورشیدی، کند یا تسریع کند. برای در نظر گرفتن تأثیر باد خورشیدی، ما از یک مدل به نام "فقط کشش" (drag-only) برای فواصل R_0 استفاده خواهیم کرد. R_0 فاصله‌ای است که در آن نیروی کششی به نیروی غالب در تأثیرگذاری بر حرکت CME تبدیل می‌شود.

$R_D(t)$ فاصله CME از سطح خورشید و $V_D(t)$ سرعت آن می‌باشد که از مدل "فقط کشش" طبق روابط زیر تعیین می‌شود:

$$R_D(t) = \frac{S}{\gamma} \ln [1 + S\gamma(V_0 - V_s)(t - t_0)] + V_s(t - t_0) + R_0$$

$$V_D(t) = \frac{V_0 - V_s}{1 + S\gamma(V_0 - V_s)(t - t_0)} + V_s$$

که در آن، $\gamma = 2 \times 10^{-8} \text{ km}^{-1}$ ، V_s سرعت ثابت باد خورشیدی است. همچنین R_0 و V_0 به ترتیب فاصله و سرعت CME در زمان t_0 هستند، و S ضریب علامت است. $S = 1$ خواهد بود اگر $V_0 > V_s$ ؛ و $S = -1$ خواهد بود اگر $V_0 \leq V_s$.

(D02.3) جدول‌های زیر فاصله شعاعی مشاهده‌شده از سطح خورشید، $R_{\text{obs}}(t)$ (بر حسب $R_{\odot}$) را به عنوان تابعی از زمان، t (بر حسب ساعت)، برای دو CME جدید CME-3 و CME-4 نشان می‌دهند. آخرین نقطه داده در هر جدول (به ترتیب D5 و P8) مربوط به زمان رسیدن CME مربوطه به زمین است. برای این بخش، فرض کنید $V_s = 330 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.

CME-3			CME-4		
نقطه داده	t (بر حسب ساعت)	$R_{\text{obs}}(t)$ ($R_{\odot}$ بر حسب)	نقطه داده	t (بر حسب ساعت)	$R_{\text{obs}}(t)$ ($R_{\odot}$ بر حسب)
D1	0.200	6.36	P1	1.00	4.00
D2	0.480	7.99	P2	3.00	6.00
D3	1.22	11.99	P3	4.00	9.00
D4	1.49	13.51	P4	5.00	11.0
D5	58.05	214	P5	21.0	43.0
			P6	50.0	100
			P7	85.0	170
			P8	111	214

ما باید ارزیابی کنیم که آیا مدل "فقط کشش" زمان‌های رسیدن این CME‌ها را با دقت مناسب پیش‌بینی می‌کند یا خیر. برای استفاده از این مدل، انتخاب مناسبی از t_0 ، و مقادیر مرتبط R_0 و V_0 برای این زمان باید انجام شود.

[6] (D02.3a) برای CME-3، دو حالت زیر را در نظر بگیرید:

(C1) t_0 به عنوان نقطه میانی بازه D1 - D2 در نظر گرفته می شود

(C2) t_0 به عنوان نقطه میانی بازه D3 - D4 در نظر گرفته می شود

فرض کنید سرعت در داخل هر بازه خاص D1-D2 و D3-D4 ثابت باقی می ماند ولی خارج خود بازه ها می تواند تغییر کند.

با استفاده از t_0 ، R_0 و V_0 ، تفاوت بین فاصله شعاعی مشاهده شده و پیش بینی شده $\delta R_D \equiv R_{\text{obs}}(t) - R_D(t)$ را برحسب $R_\odot$ در $t = 58.05h$ ساعت، برای هر دو حالت محاسبه کنید.

[4] (D02.3b) با استفاده از روش مشابه (D02.3a)، $R_D(t)$ را برای CME-4 در نقاط P5، P6، P7 و P8

برای هر دو حالت زیر محاسبه کنید و نتایج را در جدول پاسخبرگ خلاصه بنویسید:

(C3) t_0 به عنوان نقطه میانی بازه P1 - P2 در نظر گرفته می شود

(C4) t_0 به عنوان نقطه میانی بازه P3 - P4 در نظر گرفته می شود.

[10] (D02.3c) نمودار $R_D(t)$ (به $R_\odot$) بر حسب t (به ساعت) برای دو حالت C3 و C4 برای CME-4 در

نقاط P5، P6، P7 و P8 رسم کنید (نمودار خود را با عنوان "D02.3c" علامت گذاری کنید). در همان نمودار، خط گذرنده از نقاط را برای هر دو حالت مذکور رسم کنید. برای این بخش، محدوده محور x را از 0 تا 180 ساعت در نظر بگیرید.

[4] (D02.3d) با استفاده از نمودار، تفاوت مطلق $|\delta\tau|$ بین زمان واقعی رسیدن CME-4 به زمین و زمان رسیدن

پیش بینی شده توسط مدل "فقط کشش" (drag-only) را برای هر یک از حالات C3 و C4 تخمین بزنید.

[1] (D02.3e) با علامت زدن گزینه مناسب در محل مشخص شده در پاسخبرگ خلاصه با علامت (✓) مشخص

کنید که آیا عبارت زیر صحیح یا غلط است (نیازی به توضیح کتبی نیست):

"نیروهای کششی اعمال شده توسط باد خورشیدی بر روی CME ها برای CME-3 در زمان زودتری نسبت به CME-4 غالب می شوند".

[7] (D02.4) فرض کنید که نیروی کشش یا همان drag force به عنوان نیروی غالب بر 10 عدد CME در بخش D02.1 عمل

می کند. فرض کنید که مدل "فقط کشش" از سطح خورشید $R_0 = 1R_\odot$ و فراتر از آن، برای همه CME ها قابل اعمال است.

سرعت باد خورشیدی V_s را با واحد کیلومتر بر ثانیه برای هر CME تخمین زده و در جدول پاسخبرگ خلاصه وارد کنید. علاوه بر این، با در نظر گرفتن اعداد محاسبه شده برای 10 عدد CME، سرعت متوسط باد خورشیدی $V_{s,avg}$ را محاسبه کنید.