(30 (D01 عامًا من الكواكب الخارجية [90 علامة]

تستكشف هذه المسألة بعض جوانب الطريقتين الرئيسيتين لاكتشاف الكواكب الخارجية: السرعة الشعاعية والعبور. خلال هذه المسألة سوف ندرس نظامًا معينًا يتكون من كوكب واحد (P) في مدار دائري بنصف قطر a حول نجم شبيه بالشمس (S). سنشير إلى هذا النظام باسم "نظام SP".

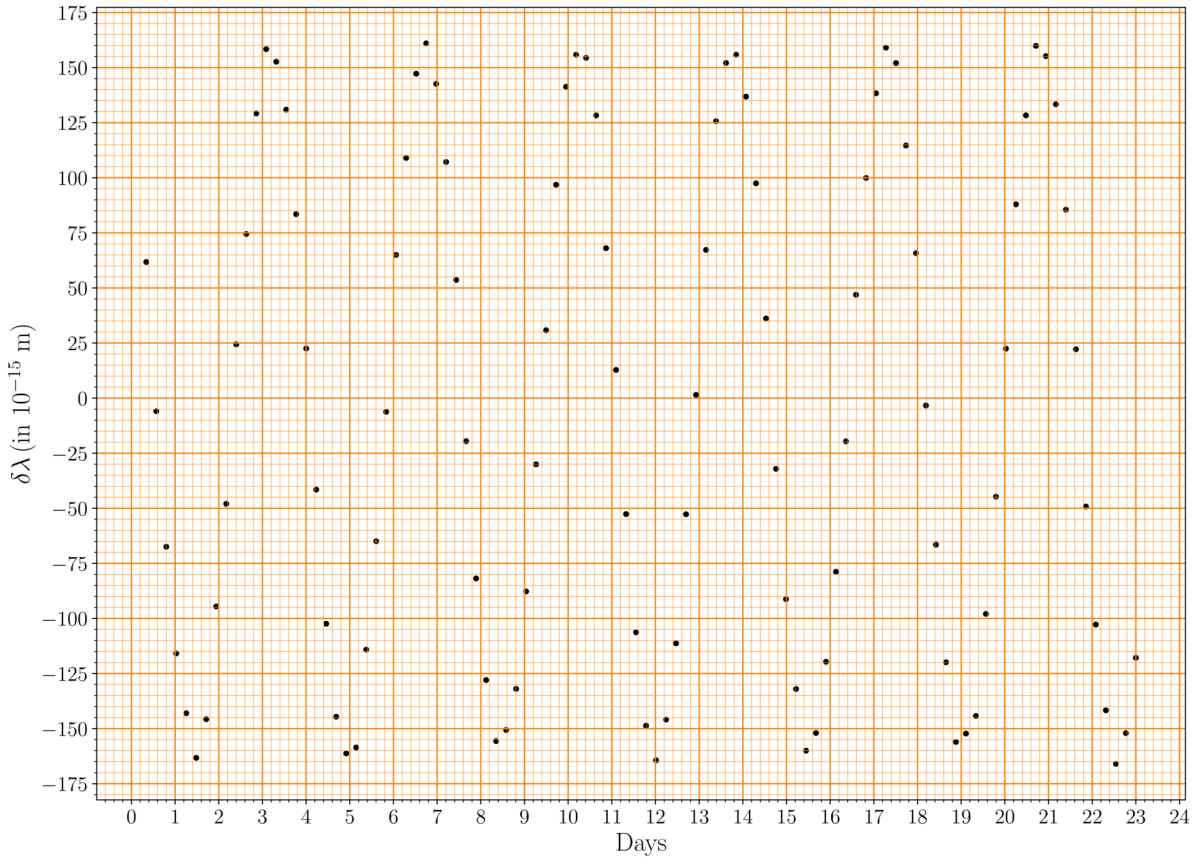
(D01.1)القدر الظاهري للنجم S في نطاق V هو 7.65 ± 0.03 قدر، والاختلاف المنظري هو 20.67 ± 0.05 ملي ثانية قوسية والتصحيح البولومتري (BC) هو -0.0650 قدر. وبالتالي فإن النجم له سطوع بولومتري أعلى من سطوعه في نطاق V.

قدّر كتلة النجم، $M_{\rm s}$ (بوحدات $\mathrm{M}_\odot$)، بافتراض علاقة الكتلة - السطوع (L–M) على شكل $L \propto M^4$. قدّر أيضًا عدم اليقين في $M_{\rm s}$. قد تحتاج إلى $\mathrm{d}\ln x/\mathrm{d}x = 1/x$. **[8]**

طريقة السرعة الشعاعية

تستخدم طريقة السرعة الشعاعية تحول دوبلر $\delta\lambda \equiv \lambda_{\rm obs} - \lambda_0$ بين الطول الموجي المرصود $\lambda_{\rm obs}$ والطول الموجي الأصلي λ_0 لخط طيفي معروف للكشف عن كوكب خارجي وتحديد خصائصه.

يوضح الشكل أدناه $\delta\lambda$ لخط الحديد (Fe I) ($\lambda_0 = 543.45 \times 10^{-9}$ m) كدالة للزمن كما تمت ملاحظته لنظام SP.



تعرَّف نصف سعة السرعة الشعاعية K بأنها $K \equiv (v_{\rm r,\,max} - v_{\rm r,\,min})/2$ حيث $v_{\rm r,\,max}$ و $v_{\rm r,\,min}$ هما الحد الأقصى والحد الأدنى للسرعات الشعاعية، على التوالي. بالنسبة لمدار كوكبي دائري، يمكن كتابة نصف السعة K على النحو التالي:

$$K = \left(\frac{2\pi G}{T}\right)^{1/3} \frac{M_{\rm p}\sin i}{(M_{\rm p}+M_{\rm s})^{2/3}}$$

حيث T هي الفترة، و i هو ميل المدار الكوكبي (الزاوية بين العمودي على مستوى مدار الكوكب وخط رؤية الراصد)، و $M_{\rm p}$ و $M_{\rm s}$ هما كتلتا الكوكب والنجم، على التوالي.

(D01.2)استخدم الرسم البياني المعطى أعلاه في ورقة إجابة الملخص (مدار بزاوية $90\,\deg$) للإجابة على ما يلي.

(D01.2a)ارسم منحنى سلس مرتبط بالبيانات المرصودة الموضحة في الرسم البياني. **[2]**

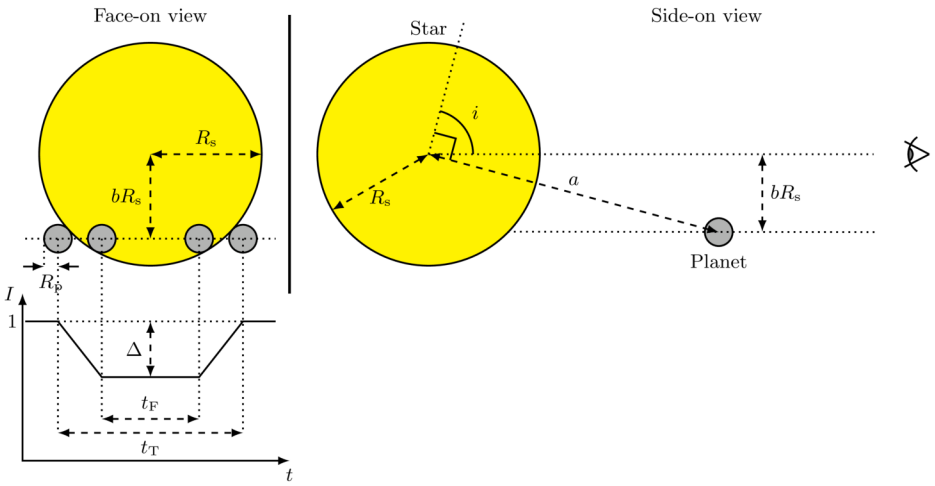
(D01.2b)اختر نقاطًا مناسبة على المنحنى الذي رسمته واستخدم طرقًا مناسبة لتحديد T و K مع حساب نسبة الخطأ المرتبطة بهما. يجب عرض جميع نقاط البيانات المستخدمة لحساب T و K في الجدول الموجود في ورقة ملخص الإجابة. استخدم باقي الجدول لإظهار حساباتك، حسب الحاجة، مع عناوين مناسبة. **[11]**

(D01.2c)أوجد الحد الأدنى لكتلة الكوكب $M_{\rm p,min}$ (بوحدة $\mathrm{M}_\odot$)، ونسبة الخطأ المرتبط بها بافتراض أن $M_{\rm p} \ll M_{\rm s}$. **[5]**

(D01.2d)باستخدام قيمة $M_{\rm p,min}$ المقدرة في الجزء (D01.2c)، احسب الحد الأدنى لقيمة نصف المحور الرئيسي لمدار الكوكب، $a_{\rm min}$، بالوحدة الفلكية (au) ونسبة الخطأ المرتبط بها. **[4]**

طريقة العبور (بدون تعتيم الحافة)

يظهر الرسم التخطيطي لعبور كوكب (الرسم من غير مقياس صحيح) أدناه. في البداية، سنفترض أن قرص النجم له كثافة متوسطة موحدة مع بعض الضوضاء الذاتية بسبب النجم نفسه.



يظهر منحنى الضوء للكثافة المعيارية، I، كدالة للزمن t في الرسم التخطيطي للعبور أعلاه. تؤخذ كثافة النجم المتوسطة خارج العبور كوحدة واحدة. الانخفاض الأقصى في الكثافة يعطى بـ Δ في منحنى الضوء المعياري. بالنسبة لقرص نجمي موحد السطوع، يرتبط نصف قطر الكوكب، $R_{\rm p}$، بـ Δ كالتالي

$$\left(\frac{R_{\rm p}}{R_{\rm s}}\right)^2 = \Delta,$$

حيث $R_{\rm s}$ هو نصف قطر النجم.

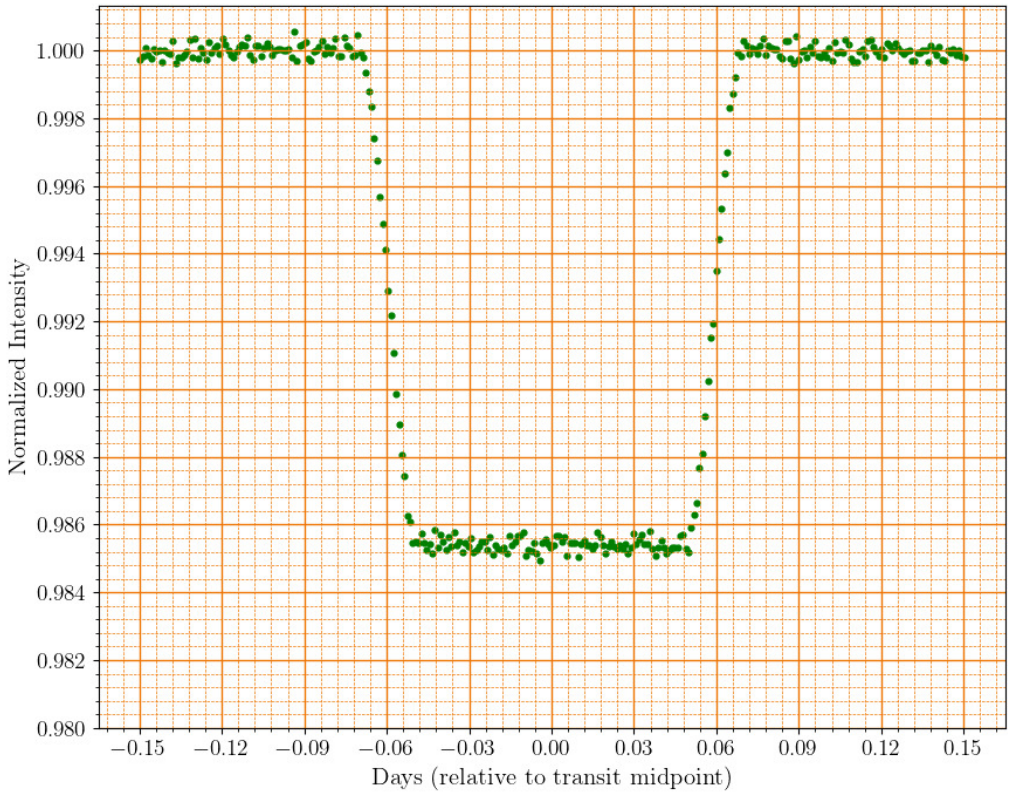
المدة الإجمالية للعبور (عندما يغطي جزء من الكوكب أو كله قرص النجم) تعطى بـ $t_{\rm T}$، بينما $t_{\rm F}$ تعطي المدة عندما يكون الكوكب بالكامل أمام قرص النجم. "معامل التأثير" b هو المسافة الساقطة بين الكوكب ومركز قرص النجم في منتصف العبور، بوحدات نصف قطر النجم، $R_{\rm s}$.

بالنسبة لمدار كوكب-نجم شبه مرئي من الحافة، يعطى معامل التأثير بالصيغة

$$b = \left[\frac{(1-\sqrt{\Delta})^2 - (t_{\mathrm{F}}/t_{\mathrm{T}})^2(1+\sqrt{\Delta})^2}{1-(t_{\mathrm{F}}/t_{\mathrm{T}})^2} \right]^{1/2}$$

(D01.3)بالنسبة لنظام SP، من المعروف أن نصف قطر النجم هو $R_{\mathrm{s}} = 1.20\mathrm{R}_{\odot}$، وعبور الكوكب مرئي بالفعل. باستخدام الحد الأدنى لنصف القطر المداري، $a_{\min}$، المقدر في الجزء (D01.2d)، أوجد القيمة الدنيا، $i_{\min}$، لزاوية الميل. **[3]**

بافتراض قرص نجمي ذو سطوع موحد، سيبدو منحنى الضوء للعبور كما هو موضح أدناه.



(D01.4)باستخدام منحنى الضوء المعطى، أجب عن الأسئلة التالية. كمرجع، تم إدراج منحنى الضوء المذكور أعلاه أيضًا في ورقة ملخص الإجابات.

(D01.4a)قدّر قيم t_{T} و t_{F} بالأيام عن طريق وضع علامات على القراءات المناسبة في الرسم البياني. **[3]**

(D01.4b)قدّر القيمة المتوسطة لـ Δ عن طريق وضع علامات على القراءات المناسبة في الرسم البياني وبالتالي إيجاد R_{p} بوحدات $\mathrm{R}_{\odot}$. **[2]**

(D01.4c)حدد قيمة i بالدرجات بافتراض أن نصف قطر المدار هو $a_{\min}$. **[2]**

مقدمة عن تعتيم الحافة

حتى الآن افترضنا أن قرص النجم متجانس السطوع. في الواقع، السطوع المرصود لقرص النجم ليس متجانسًا بسبب "تعتيم الحافة" — وهو تأثير بصري يظهر فيه الجزء المركزي من قرص النجم أكثر سطوعًا من الحافة.

يمكن قياس تأثير تعتيم الحافة بواسطة الشدة النسبية $J(\theta) \equiv \frac{I(\theta)}{I(0)}$، حيث θ هي الزاوية بين العمودي على سطح النجم عند نقطة ما والخط الذي يربط الراصد بتلك النقطة، $I(\theta)$ هي الشدة المرصودة لقرص النجم عند تلك النقطة ($I(0)$ هي الشدة في مركز قرص النجم). بالنسبة للراصد البعيد، تتغير θ من $\theta = 0$ (مركز القرص) إلى $\theta \approx 90^\circ$ (حافة القرص).

(D01.5)يعرض الجدول أدناه قيم $J(\theta)$ المقاسة عند طول موجي معين للشمس. سنفترض أن نفس نمط تعتيم الحافة ينطبق على النجم S.

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

يمكن نمذجة نمط تعتيم الحافة باستخدام صيغة تربيعية:

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

حيث a_1 و a_2 هما ثابتان.

سنقوم بتقدير المعاملات المجهولة a_1 و a_2 من البيانات المعطاة عن طريق إنشاء رسم بياني بمتغيرات مناسبة.

(D01.5a)اختر زوجًا من المتغيرات (x_1, y_1) وهي دوال مناسبة لـ θ و J، والتي ترغب في رسمها على محوري x و y، على التوالي، لتحديد a_1 و a_2. اكتب تعبيرات x_1 و y_1. **[2]**

إذا كنت بحاجة إلى تعريف متغيرات إضافية لرسومات إضافية، قم بتعريفها كـ (x_2, y_2)، وهكذا.

(D01.5b)قم بجدولة القيم اللازمة لرسوماتك. **[4]**

(D01.5c)ارسم المتغيرات المعرفة حديثًا على ورقة الرسم البياني المعطاة (قم بتمييز الرسم البياني الخاص بك بـ "D01.5c"). **[7]**

(D01.5d)احصل على a_1 و a_2 من الرسم البياني. لا حاجة لتحديد نسب عدم اليقين في القيم. **[7]**

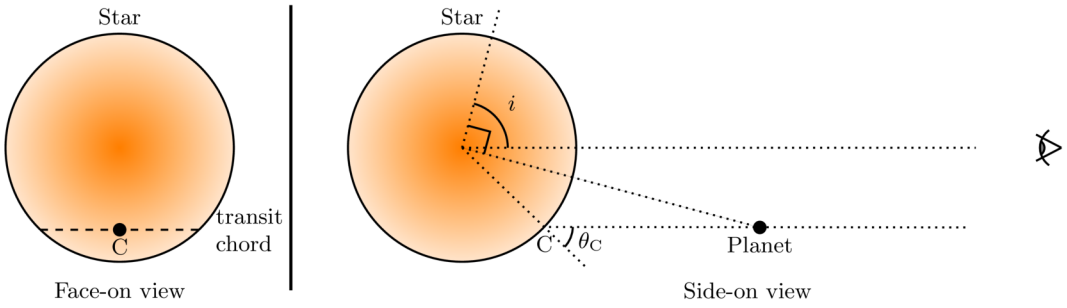
العبور في وجود تعتيم الحافة

الآن، نتناول عبور الكواكب عبر قرص نجمي معتم الحافة. في وجود تعتيم الحافة، الذي سنقوم بنمذجته باستخدام الصيغة التربيعية لـ $J(\theta)$ المذكورة أعلاه، فإن متوسط الشدة المرصودة للقرص النجمي بأكمله (بدون أي عبور)، $\langle I \rangle$، يُعطى بـ:

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

علاوة على ذلك، فإن الانخفاض في الضوء الناجم عن الكوكب العابر يعتمد الآن ليس فقط على الحجم النسبي للكوكب والنجم، $\left(\frac{R_\mathrm{p}}{R_\mathrm{s}}\right)$، ولكن أيضًا على نمط شدة القرص النجمي على طول وتر العبور، والذي بدوره يعتمد على زاوية الميل، i.

يوضح الرسم التخطيطي أدناه (غير مرسوم بمقياس) هذا التكوين. لاحظ أن الجزء الأكثر سطوعًا من النجم يظهر بظل أغمق، بينما يظهر الكوكب كنقطة سوداء.



هنا العلاقة بين $\left(\frac{R_p}{R_s}\right)$ و Δ المقاسة من منحنى الضوء هي

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

حيث $I(\theta_C)$ هي شدة القرص النجمي عند منتصف وتر العبور (النقطة C في الشكل أعلاه)، و θ_C هي الزاوية بين خط النظر والعمودي على السطح عند تلك النقطة. من الواضح مما سبق أنه بالنسبة لنجم معين، يمكن إنتاج نفس قيمة Δ بواسطة العديد من مجموعات حجم الكوكب، R_p، وزاوية الميل i.

(D01.6)من الممكن تحديد كل من R_p و i بشكل فريد باستخدام بيانات من منحنيات الضوء العابرة عند طولين موجيين، افرض، λ_B (أزرق) و λ_R (أحمر). معاملات تعتيم الحافة لهذين الطولين الموجيين معطاة أدناه:

الطول الموجي	a_1	a_2
λ_B	0.82	0.05
λ_R	0.24	0.20

(D01.6a)اختر العبارة الصحيحة من بين العبارات التالية التي تصف العلاقة بين الحد الأقصى لعمق العبور Δ لـ λ_B وزاوية الميل (i) للمدار وضع علامة (✔) في ورقة الإجابة الملخصة. **[2]**

A. Δ يزداد مع انخفاض i.
B. Δ ينخفض مع انخفاض i.
C. Δ مستقل عن i.

(D01.6b)تم قياس الحد الأقصى لعمق العبور (Δ) لـ "نظام SP" ليكون 0.0182 و 0.0159 لـ λ_B و λ_R على التوالي. **[4]**

ارسم منحنيات ضوء العبور التخطيطية لكل من λ_B و λ_R على الشبكة المعطاة وقم بتسمية المنحنيات بـ "B" و "R" على التوالي. افترض أن المدة الإجمالية للعبور هي نفسها لكلا الطولين الموجيين. لا يلزم أن تكون المنحنيات بمقياس دقيق، ولكن يجب أن تمثل أشكال منحنيات الضوء بشكل صحيح.

(D01.7)سنستخدم طريقة بيانية لإيجاد قيم R_p و i لنظام SP باستخدام قياسات Δ عند λ_B و λ_R.

(D01.7a)اكتب تعبيرًا مناسبًا يربط بين المتغيرات ذات الصلة التي سيتم رسمها. (تلميح: يمكنك اعتبار i أو b، و R_p، من بين المتغيرات ذات الصلة.) **[6]**

(D01.7b)قم بجدولة الكميات المناسبة التي سيتم رسمها. **[5]**

(D01.7c)ارسم رسمًا بيانيًا مناسبًا وقم بتمييزه باسم "D01.7c". **[7]**

(D01.7d)قدّر قيم R_{p} (بوحدة $\mathrm{R}_{\odot}$) و i (بالدرجات) من الرسم البياني. **[4]**

(D01.8)بناءً على النتائج التي تم الحصول عليها في هذه المسألة، حدد ما إذا كان الكوكب P "صخريًا" أو "غازيًا" عن طريق وضع علامة (✓) في المربع المناسب في ورقة ملخص الإجابة. **[2]**

(D02) التنبؤ بأوقات وصول الانبعاثات الكتلية الإكليلية إلى الأرض [60 علامة]

تطلق الشمس في بعض الأحيان بلازما مغناطيسية، تسمى الانبعاثات الكتلية الإكليلية (CMEs)، التي تنشأ من سطح الشمس وتنتشر للخارج. التنبؤ الدقيق بأوقات وصولها إلى الأرض أمر بالغ الأهمية لفهم وتخفيف آثارها المحتملة على الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض. في هذه المسألة، نهدف إلى التنبؤ بأوقات وصول الانبعاثات الكتلية الإكليلية من خلال تطوير نموذج تجريبي، باستخدام بيانات 10 انبعاثات كتلية إكليلية. خلال هذه المسألة، تؤخذ المسافة بين سطح الشمس والأرض على أنها $214\mathrm{R}_\odot$.

علاوة على ذلك، افترض أن الشمس لا تدور. نظرًا للقوى الكهرومغناطيسية والجاذبية وقوى السحب، تتعرض الانبعاثات الكتلية الإكليلية لتسارع متغير طوال انتشارها. في الجزأين الأولين من هذه المسألة، نفترض أن المنطقة بين الشمس والأرض فارغة.

الانبعاثات الكتلية الإكليلية عبر الفراغ.

(D02.1) السرعة الأولية، u، عند سطح الشمس ($\mathrm{R}_\odot = 1$)، والسرعة النهائية، v، عند الوصول إلى الأرض، والوقت المستغرق للوصول إلى الأرض بعد مغادرة سطح الشمس (بالساعات)، τ، معطاة لـ 10 انبعاثات كتلية إكليلية في الجدول التالي.

الانبعاث الكتلي الإكليلي	u	v	τ
الاسم	(كم ث$^{-1}$)	(كم ث$^{-1}$)	(س)
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) احسب متوسط التسارع، a، لكل انبعاث كتلي إكليلي (CME) بوحدة م ث$^{-2}$. **[3]**

(D02.1b) نفترض نموذجًا تجريبيًا للتسارع، a_{model}، للانبعاث الكتلي الإكليلي، والذي يعتمد على سرعته الأولية u كالتالي، $a_{\mathrm{model}} = m\left(\frac{u}{u_0}\right) + \alpha$; حيث، a_{model} يُعبر عنه بوحدة m s^{-2}، وu يُعبر عنه بوحدة km s^{-1} و $u_0 = 1.00 \times 10^3$ km s^{-1}.

حدد الثوابت m وα وحالات عدم اليقين المرتبطة بها باستخدام رسم بياني مناسب (قم بتمييز الرسم البياني الخاص بك بـ "D02.1b"). **[15]**

(D02.1c) لكل انبعاث كتلي إكليلي، قم بجدولة a_{model} بوحدة م ث$^{-2}$. ومن ثم احسب الانحراف الجذري متوسط المربعات (rms) للتسارعات، δa_{rms}، بين التسارع المحسوب، a، وقيم النموذج، a_{model}. **[4]**

(D02.2) سنعتبر نوعين آخرين من الانبعاثات الكتلية الإكليلية: CME-1 و CME-2، بسرعات أولية، $u =$ 1044 km s^{-1} و 273 km s^{-1}، على التوالي.

(D02.2a) باستخدام النموذج التجريبي الذي تم الحصول عليه في (D02.1b)، احسب أوقات الوصول المتوقعة إلى الأرض، $\tau_{1,\mathrm{m}}$ و $\tau_{2,\mathrm{m}}$ (بالساعات)، لـ CME-1 و CME-2، على التوالي. **[4]**

(D02.2b) أوقات الوصول المرصودة إلى الأرض لـ CME-1 و CME-2 هي 46.0 ساعة و 74.5 ساعة، على التوالي. يعتبر النموذج التجريبي صالحًا (VALID) لـ CME معين إذا كان وقت الوصول المتوقع ضمن 20% من وقت الوصول المرصود؛ وإلا فهو غير صالح (NOT VALID). أشر إلى صلاحية النموذج لكل CME بوضع علامة (✓) في المربع المناسب في ورقة ملخص الإجابة. **[2]**

الانبعاثات الكتلية الإكليلية في وجود الرياح الشمسية

في الواقع، الفضاء بين الشمس والأرض مليء بالرياح الشمسية، التي تمارس قوة سحب على الانبعاثات الكتلية الإكليلية. يمكن لهذه القوة أن تبطئ أو تسرع الانبعاث الكتلي الإكليلي، اعتمادًا على سرعة الانبعاث بالنسبة لسرعة الرياح الشمسية. لمراعاة تأثير الرياح الشمسية، سنستخدم نموذج "السحب فقط" للمسافات $R_0 \geq R_{\mathrm{obs}}(t)$، حيث R_0 هي المسافة التي تصبح بعدها قوة السحب هي القوة المهيمنة التي تؤثر على حركة الانبعاث الكتلي الإكليلي.

المسافة من سطح الشمس كما تم تحديدها من نموذج "السحب فقط"، $R_{\mathrm{D}}(t)$، والسرعة، $V_{\mathrm{D}}(t)$، للانبعاث الكتلي الإكليلي في هذا النموذج تُعطى بـ

$$R_{\mathrm{D}}(t) = \frac{S}{\gamma}\ln\left[1 + S\gamma(V_0 - V_{\mathrm{s}})(t - t_0)\right] + V_{\mathrm{s}}(t - t_0) + R_0$$

$$V_{\mathrm{D}}(t) = \frac{V_0 - V_{\mathrm{s}}}{1 + S\gamma(V_0 - V_{\mathrm{s}})(t - t_0)} + V_{\mathrm{s}}$$

حيث، $\gamma = 2 \times 10^{-8}$ km^{-1}، V_{s} هي السرعة الثابتة للرياح الشمسية، R_0 و V_0 هما المسافة والسرعة، على التوالي، عند الزمن t_0، و S هو عامل الإشارة. $S = 1$ إذا كانت $V_0 > V_{\mathrm{s}}$؛ $S = -1$ إذا كانت $V_0 \leq V_{\mathrm{s}}$.

(D02.3) تُظهر الجداول أدناه المسافة الشعاعية المرصودة من سطح الشمس، $R_{\mathrm{obs}}(t)$ (مقاسة بـ $R_\odot$)، كدالة للزمن، t (بالساعات)، لانبعاثين كتليين إكليليين (CMEs): CME-3 و CME-4. تتوافق نقطة البيانات الأخيرة في كل جدول (D5 وP8، على التوالي) مع وقت وصول الانبعاث الكتلي الإكليلي المعني إلى الأرض. بالنسبة لهذا الجزء، افترض أن $V_{\mathrm{s}} = 330$ km s^{-1}.

CME-3		
نقطة البيانات	t (بالساعة)	$R_{\rm obs}(t)$ (بـ $\mathrm{R}_\odot$)
D1	0.200	6.36
D2	0.480	7.99
D3	1.22	11.99
D4	1.49	13.51
D5	58.05	214

CME-4		
نقطة البيانات	t (بالساعة)	$R_{\rm obs}(t)$ (بـ $\mathrm{R}_\odot$)
P1	1.00	4.00
P2	3.00	6.00
P3	4.00	9.00
P4	5.00	11.0
P5	21.0	43.0
P6	50.0	100
P7	85.0	170
P8	111	214

سنقيّم ما إذا كان نموذج "السحب فقط" يتنبأ بشكل مُرضٍ بأوقات وصول هذه الانبعاثات الكتلية الإكليلية. لاستخدام هذا النموذج، يجب اختيار قيم مناسبة لـ t_0، وما يقابلها من R_0 و V_0.

(D02.3a) بالنسبة لـ CME-3، خذ الحالتين التاليتين: **[6]**
(C1) t_0 يتم اعتباره نقطة المنتصف للفترة D1 – D2
(C2) t_0 يتم اعتباره نقطة المنتصف للفترة D3 – D4
افترض أن السرعة تبقى ثابتة في كل فترة محددة D1–D2 و D3–D4، ولكن قد تختلف بين الفترتين.

باستخدام t_0، R_0، و V_0، احسب الفرق بين المسافة القطرية المرصودة والمتوقعة $\delta R_{\rm D} \equiv R_{\rm obs}(t) - R_{\rm D}(t)$ بوحدات $\mathrm{R}_\odot$ عند $t = 58.05$ h، لكل من الحالتين.

(D02.3b) قيّم $R_{\rm D}(t)$ عند النقاط P5 وP6 وP7 وP8 بين الشمس والأرض لـ CME-4 للحالتين التاليتين باعتماد إجراء مشابه لـ (D02.3a): **[4]**

(C3) t_0 يتم اعتباره نقطة المنتصف للفترة P1 – P2
(C4) t_0 يتم اعتباره نقطة المنتصف للفترة P3 – P4.

(D02.3c) ارسم $R_{\rm D}(t)$ (بوحدات $\mathrm{R}_\odot$) مقابل t (بالساعات) للحالتين C3 وC4، لـ CME-4 عند النقاط P5 وP6 وP7 وP8 (علّم رسمك البياني بـ "D02.3c"). على نفس الرسم البياني، ارسم منحنيات سلسة لـ $R_{\rm D}(t)$ للحالتين المذكورتين أعلاه. لهذا الجزء، خذ نطاق محور x من 0 إلى 180 ساعة. **[10]**

(D02.3d) باستخدام الرسم البياني، قدّر الفرق المطلق، $|\delta\tau|$ بين وقت وصول CME-4 الفعلي إلى الأرض ووقت وصوله المتوقع بواسطة نموذج السحب فقط، لكل من الحالتين C3 وC4. **[4]**

(D02.3e) أشر إلى ما إذا كانت العبارة التالية صحيحة أو خاطئة بوضع علامة (✓) في المربع المناسب في ورقة الإجابة الملخصة (لا حاجة لتبرير مكتوب): **[1]**
"قوى السحب التي تمارسها الرياح الشمسية على CMEs تصبح مهيمنة بالنسبة لـ CME-3 في وقت أبكر مقارنة بـ CME-4".

(D02.4)اعتبر السحب كقوة مهيمنة تؤثر على 10 انبعاثات كتلية إكليلية (CMEs) في الجزء D02.1. **[7]**
افترض أن نموذج "السحب فقط" قابل للتطبيق من سطح الشمس ($R_0 = 1\ \mathrm{R}_\odot$) وما بعده، لجميع الانبعاثات الكتلية الإكليلية.
قدّر وجدول سرعة الرياح الشمسية V_s km s^{-1} لكل انبعاث كتلي إكليلي. علاوة على ذلك، قدّر متوسط سرعة الرياح الشمسية $V_{s,avg}$ لجميع الانبعاثات الكتلية الإكليلية العشرة.