

(D01) Ekzoplanetlərin 30 İli

[90 bal]

Bu problem ekzoplanetlərin aşkarlanmasının iki əsas metodunun bəzi aspektlərini araşdırır: radial sürət və tranzit. Bu problem boyunca biz tək planetli (P) və radiusu  $a$  olan dairəvi orbitdə Günəş tipli ulduzun (S) ətrafında dövr edən xüsusi bir sistemi nəzərdən keçirəcəyik. Bu sistemə “SP sistemi” deyəcəyik.

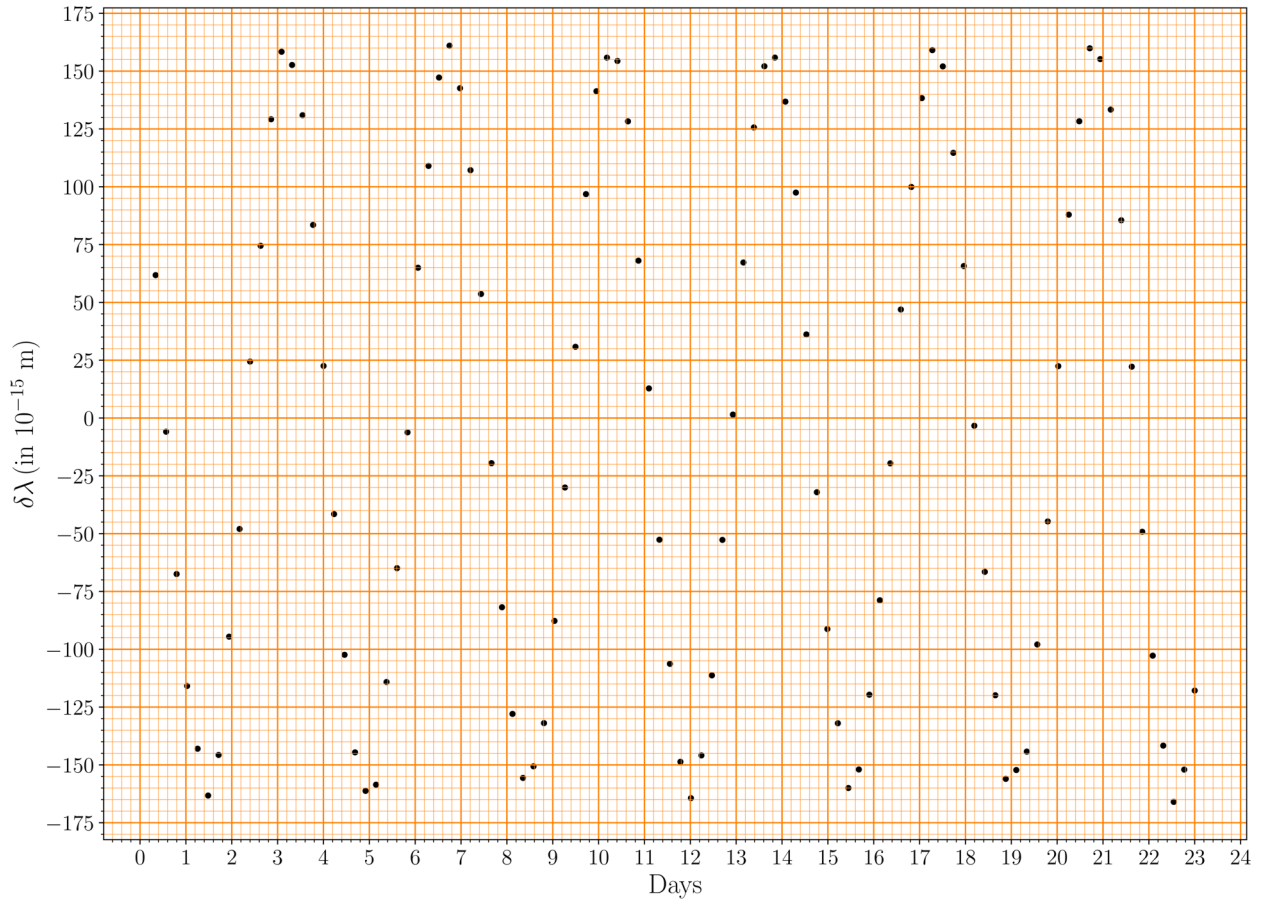
(D01.1) Ulduz S-in V-bandda görünən parlaqlığı  $7.65 \pm 0.03$  mag, paralaksı  $20.67 \pm 0.05$  milliarc saniyə və bolometrik düzəliş (BC)  $-0.065$  mag-dır.

Kütlə-parlaqlıq ( $M-L$ ) əlaqəsinin  $L \propto M^4$  formasında olduğunu fərz edərək, ulduzun kütləsini, [8]  
 $M_s$  (vahidlərdə  $M_\odot$ ) qiymətləndirin. Həmçinin  $M_s$  üçün qeyri-müəyyənliyi (xəta) qiymətləndirin.

Radial sürət metodu

Radial sürət metodu ekzoplaneti aşkar etmək və onun xüsusiyyətlərini müəyyən etmək üçün məlum spektral xəttin müşahidə olunan dalğa uzunluğu  $\lambda_{\text{obs}}$  ilə sakit vəziyyətdəki dalğa uzunluğu  $\lambda_0$  arasındakı Doppler sürüşməsindən  $\delta\lambda \equiv \lambda_{\text{obs}} - \lambda_0$  istifadə edir.

Aşağıdakı şəkildə SP sistemi üçün müşahidə olunmuş Fe I xəttinin ( $\lambda_0 = 543.45 \times 10^{-9}$  m)  $\delta\lambda$  dəyişməsi zamanın funksiyası kimi göstərilmişdir.



Radial sürət yarım-amplitudası  $K$  belə təyin olunur:  $K \equiv (v_{r, \text{max}} - v_{r, \text{min}})/2$ , burada  $v_{r, \text{max}}$  və  $v_{r, \text{min}}$  müvafiq olaraq minimum və maksimum radial sürətlərdir. Dairəvi planetar orbit üçün yarım-amplituda  $K$  belə yazıla bilər:

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

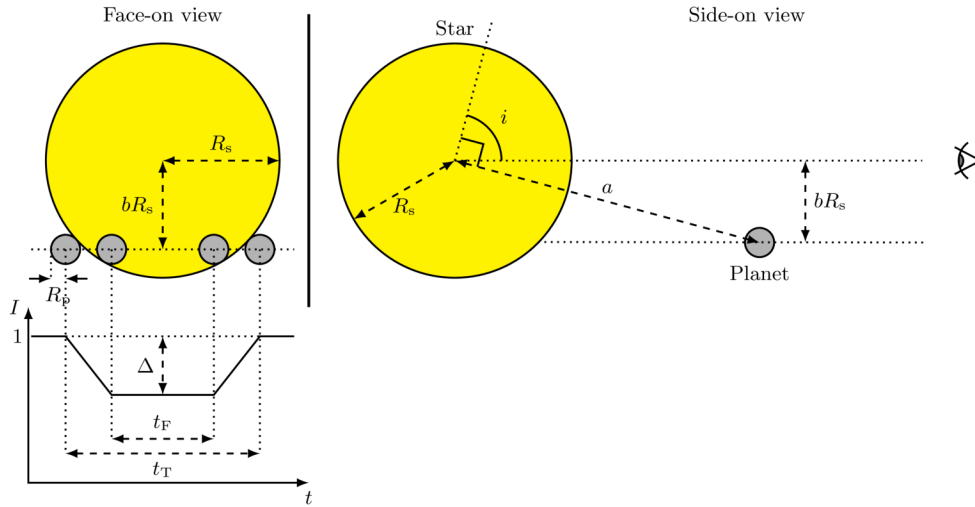
burada  $T$  perioddur,  $i$  planetar orbitin meylidir (planetin orbital müstəvisinə normal ilə müşahidəçinin baxış xətti arasındakı bucaq),  $M_p$  və  $M_s$  müvafiq olaraq planetin və ulduzun kütlələridir.

(D01.2) Aşağıdakı sualları cavablandırmaq üçün Cavab Vərəqində verilmiş qrafikdən istifadə edin.

- (D01.2a) Qrafikdə göstərilən müşahidə olunan dataları birləşdirərək əlaqəli hamar bir əyri çəkin. [2]
- (D01.2b) Çəkdiyiniz əyridə uyğun nöqtələri seçin və uyğun metodlardan istifadə edərək  $T$  və  $K$  ilə onların qeyri-müəyyənliklərini (sapmanı) müəyyən edin.  $T$  və  $K$  -nin hesablanması üçün istifadə olunan bütün datalar Nəticələrin Cədvəlində göstərilməlidir. Cədvəlin qalan hissəsindən ara hesablamaları uyğun başlıqlar altında göstərmək üçün istifadə edin. [11]
- (D01.2c)  $M_p \ll M_s$  olduğunu qəbul edərək, planetin minimum kütləsini  $M_{p, \min}$  (in  $M_\odot$ ) tapın və müvafiq qeyri-müəyyənliyi tapın. [5]
- (D01.2d) (D01.2c) hissəsində alınan  $M_{p, \min}$  qiymətindən istifadə edərək, planetin orbitinin böyük yarım oxunun minimum qiymətini  $a_{\min}$  (au-larla) və onun qeyri-müəyyənliyini hesablayın. [4]

### Tranzit metodu (limb qaralması olmadan)

Planet tranzitin sxematik diaqramı (ölçüyə uyğun çəkilməmiş) aşağıda göstərilmişdir. Əvvəlcə, ulduz diskini ulduzun özündən gələn bəzi daxili küylə (noise) birlikdə vahid orta intensivliyə malik olduğunu qəbul edəcəyik.



Yuxarıdakı tranzitin sxematik diaqramında normallaşdırılmış intensivliyin işıq əyrisi,  $I$ , zamanın  $t$  funksiyası kimi göstərilmişdir. Tranzitdən kənarda orta ulduz intensivliyi vahid olaraq qəbul edilir. İntensivliyin maksimum azalması normallaşdırılmış işıq əyrisində  $\Delta$  ilə verilir. Vahid parlaq ulduz diskini planetin radiusu,  $R_p$ ,  $\Delta$  ilə

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

olaraq əlaqələndirilir, burada  $R_s$  ulduzun radiusudur.

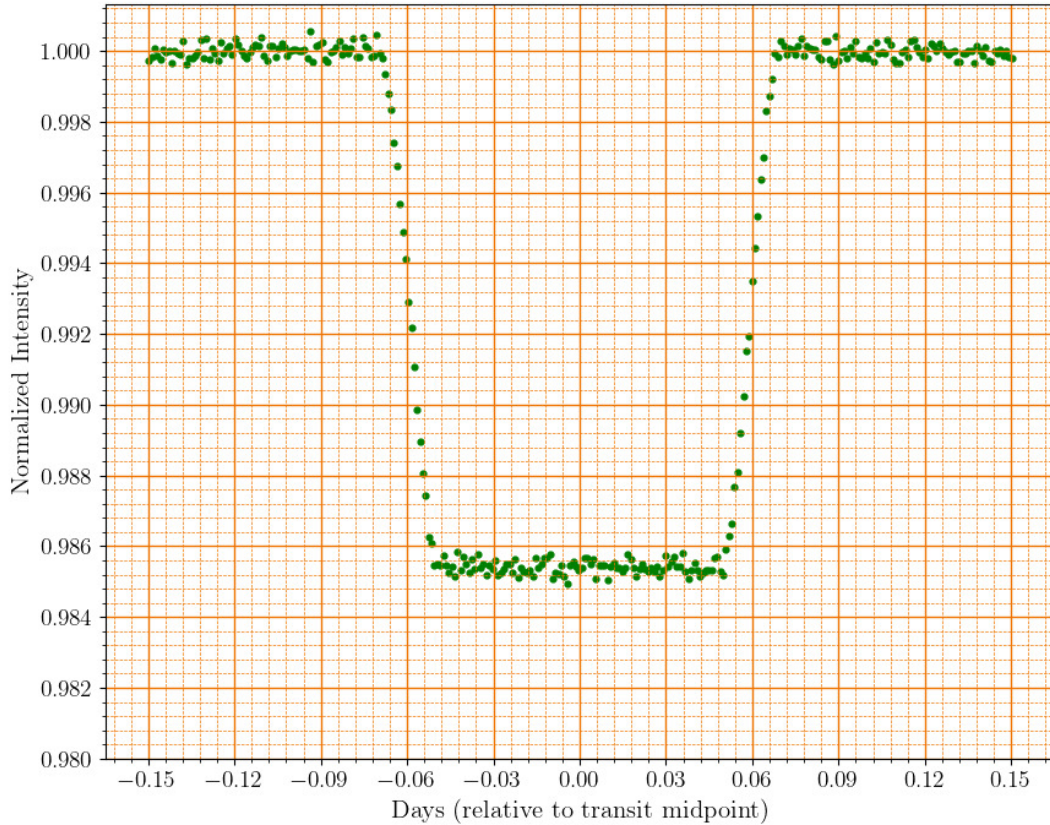
Tranzitin ümumi müddəti (planetin ulduz diskini qismən və ya tamamilə örtməsi zamanı)  $t_T$  ilə verilir, planetin ulduz diskini tamamilə önündə olduğu müddət isə  $t_F$  ilə verilir. “Təsir parametri”  $b$  tranzitin orta nöqtəsində planetin və ulduz disk mərkəzinin proyeksiya edilmiş məsafəsidir, ulduz radiusu  $R_s$  vahidlərində ölçülür.

Demək olar ki, kənardan baxılan ulduz-planet orbiti üçün təsir parametri aşağıdakı formula ilə verilir

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

- (D01.3) SP sistemi üçün ulduzun radiusu  $R_s = 1.20R_\odot$  olduğu bilinir və planetin tranziti görünür. (D01 [3]  
.2d) hissəsində qiymətləndirilən minimal orbital radiusdan  $a_{\min}$  istifadə edərək, inklinalasiya  
(maillik)  $i_{\min}$  bucağının minimum qiyməti tapın.

Ulduz diskinin vahid parlaqlığa malik olduğunu fərz etsək, tranzit işıqəyrisi aşağıda göstərilirdiyi kimi görünür.



- (D01.4) Verilmiş işıq əyrisindən istifadə edərək aşağıdakı suallara cavab verin. İstinad üçün yuxarıdakı işıq  
əyrisi Cavab vərəqində də verilmişdir.
- (D01.4a) Qrafik üzərində müvafiq nöqtələri müəyyən edib,  $t_T$  və  $t_F$  dəyərlərini günlərlə təxmin [3]  
edin və həmin müvafiq nöqtələri qrafikdə qeyd edin.
- (D01.4b) Müvafiq nöqtələri qeyd edərək,  $\Delta$ -nın orta dəyərini təxmin edin və beləliklə  $R_p$  [2]  
dəyərini  $R_\odot$  vahidləri ilə tapın.
- (D01.4c) Orbital radiusun  $a_{\min}$  olduğunu qəbul edərək  $i$  dəyərini dərəcələrlə müəyyən edin. [2]

### Ətraf (limb) qaralmasının təqdimatı

İndiyədək ulduz diskinin parlaqlığının hər nöqtədə vahid (bircins) olduğunu fərz etmişik. Əslində, müşahidə olunan ulduz diskinin parlaq olması "ətraf qaralması" səbəbindən bərabər deyil — burada ulduz diskinin mərkəzi hissəsi kənarından, yəni "ətraf"dan daha parlaq görünür.

Ətraf qaralması effekti nisbi intensivlik  $J(\theta) \equiv \frac{I(\theta)}{I(0)}$  ilə ölçülə bilər, burada  $\theta$  ulduz səthinə normal olan nöqtə ilə müşahidəçi arasında olan bucaqdır,  $I(\theta)$  həmin nöqtədə ulduz diskinin müşahidə olunan intensivliyidir, ( $I(0)$  isə

ulduz diskinin mərkəzindəki intensivlikdir). Uzaq müşahidəçi üçün  $\theta, \theta = 0$  (diskin mərkəzi) ilə  $\theta \approx 90^\circ$  (diskin kənarı) arasında dəyişir.

(D01.5) Aşağıdakı cədvəl Günəş üçün müəyyən bir dalğa uzunluğunda ölçülmüş  $J(\theta)$  dəyərlərini verir. Biz ulduz S üçün də eyni ətraf qaralması profilinin keçərli olduğunu qəbul edəcəyik.

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

Ətraf qaralması profili kvadratik formül ilə modelləşdirilə bilər:

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

burada  $a_1$  və  $a_2$  iki sabitdir.

Biz verilmiş məlumatlardan istifadə edərək uyğun dəyişənlərlə qrafik çəkərək naməlum  $a_1$  və  $a_2$  əmsallarını təxmin edəcəyik.

(D01.5a)  $(x_1, y_1)$  dəyişən cütünü seçin ki, bunlar  $\theta$  və  $J$ -nin uyğun funksiyaları olsun, və  $x$  və  $y$  [2]  
oxları boyunca təsvir etmək istədiyiniz  $a_1$  və  $a_2$ -ni müəyyənləşdirin.  $x_1$  və  $y_1$  üçün ifadələri yazın.

Əgər əlavə təsvirlər üçün əlavə dəyişənlər təyin etməyə ehtiyacınız varsa, onları  $(x_2, y_2)$  kimi təyin edin.

(D01.5b) Qrafiklərin qurulması üçün zəruri olan qiymətləri cədvəl şəklində göstərin. [4]

(D01.5c) Yenidən təyin edilmiş dəyişənləri verilmiş qrafik kağızında təsvir edin (qrafikinizi “ [7]  
D01.5c” kimi işarələyin).

(D01.5d) Qrafikdən  $a_1$  və  $a_2$ -ni əldə edin. Xətalari tapmağa ehtiyac yoxdur. [7]

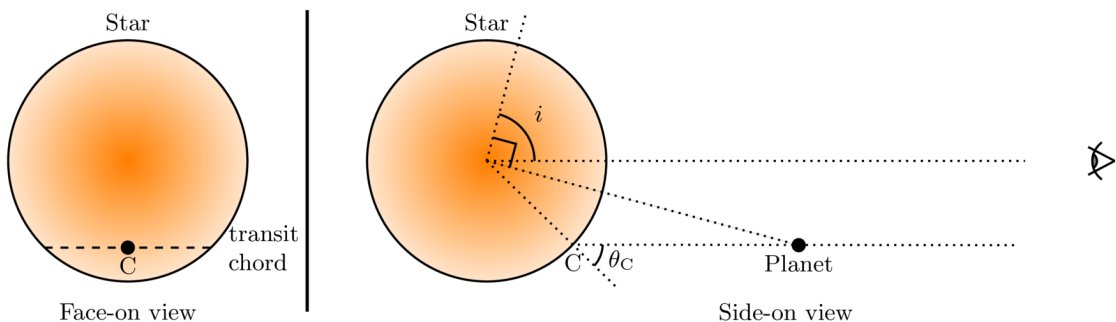
#### Ulduz diskinin mərkəzdən kənarlara doğru parlaqlığın azalması (limb darkening) şəraitində tranzit

İndi ulduz diskinin kənarının qaralması (limb darkening) şəraitində planet tranzitlərini nəzərdən keçirək. Kənarların parlaqlığının azalmasını yuxarıda verilmiş  $J(\theta)$ -nin kvadrat modeli ilə ifadə etdikdə, tranzit olmadan bütün ulduz diskinin müşahidə olunan orta intensivliyi  $\langle I \rangle$ , aşağıdakı kimi verilir:

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

Planetin tranziti nəticəsində yaranan parlaqlığın azalması indi təkcə planetin və ulduzun nisbi ölçüsündən  $\left(\frac{R_p}{R_s}\right)$  deyil, həm də tranzit yolu boyunca ulduz diskinin intensivlik profilindən asılıdır ki, bu da öz növbəsində maililik bucağından  $i$  asılıdır.

Aşağıdakı sxematik diaqram (ölçüyə uyğun çəkilməyib) konfigurasiyanı göstərir. Nəzərə alın ki, ulduzun daha parlaq hissəsi daha tünd çalarda təsvir olunub, planet isə qara nöqtə kimi göstərilir.



Burada  $\left(\frac{R_p}{R_s}\right)$  və işıq əyrisindən ölçülən  $\Delta$  arasındakı əlaqə belədir:

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

burada  $I(\theta_C)$  tranzit yolunun orta nöqtəsindəki (yuxarıdakı şəkildə C nöqtəsi) ulduz diskinin intensivliyidir,  $\theta_C$  isə həmin nöqtədə baxış xətti ilə səthə normal arasındakı bucaqdır. Yuxarıdakılardan aydındır ki, verilmiş bir ulduz üçün, eyni  $\Delta$  qiyməti planet ölçüsünün,  $R_p$ , və meyl bucağının,  $i$ , bir çox kombinasiyaları ilə əldə edilə bilər.

- (D01.6) İki dalğa uzunluğunda (məsələn,  $\lambda_B$  (mavi) və  $\lambda_R$  (qırmızı)) tranzit işıq ayrılərindən alınan məlumatlardan istifadə etməklə  $R_p$  və  $i$ -ni müəyyən etmək olar. Bu iki dalğa uzunluğu üçün kənar qaralma (darkening) əmsalları aşağıda verilmişdir:

| Dalğa uzunluğu | $a_1$ | $a_2$ |
|----------------|-------|-------|
| $\lambda_B$    | 0.82  | 0.05  |
| $\lambda_R$    | 0.24  | 0.20  |

- (D01.6a) Aşağıdakılardan  $\lambda_B$  üçün maksimum tranzit dərinliyi  $\Delta$  və orbitin orbital meyl ( $i$ ) [2]  
arasındakı əlaqəni təsvir edən düzgün ifadəni seçin.

- A.  $i$  azaldıqca  $\Delta$  artır.  
B.  $i$  azaldıqca  $\Delta$  azalır.  
C. Tranzit dərinliyi  $\Delta$  - orbitin orbital meyl  $i$ -dən asılı deyil.

- (D01.6b) "SP sistemi" üçün maksimum keçid dərinliyi ( $\Delta$ )-nin qiyməti,  $\lambda_B$  və  $\lambda_R$  üçün [4]  
müvafiq olaraq 0.0182 və 0.0159 ölçüldü.

Hər iki  $\lambda_B$  və  $\lambda_R$  üçün sxematik tranzit işıq ayrılarını verilmiş şəbəkədə çəkin və ayrıləri müvafiq olaraq "B" və "R" ilə işarələyin. Ümumi tranzit müddətinin hər iki dalğa uzunluğu üçün eyni olduğunu fərz edin. Əyrilər miqyaslı olmasa da, işıq ayrılarının formaları düzgün olmalıdır.

- (D01.7) SP sistemi üçün  $R_p$  və  $i$ -ni tapmaq məqsədilə,  $\lambda_B$  və  $\lambda_R$  üçün ölçülmüş  $\Delta$  dəyərlərindən istifadə edərək qrafik metod tətbiq olunacaq.

- (D01.7a) Müvafiq dəyişənləri əlaqələndirən uyğun ifadəni yazın. (İpucu: Müvafiq dəyişənlər [6]  
arasında  $i$  və ya  $b$ , və  $R_p$  nəzərə ala bilərsiniz.)

- (D01.7b) Qrafikə salınacaq uyğun kəmiyyətləri cədvəl şəklində göstərin. [5]

- (D01.7c) Uyğun bir qrafik çəkin və onu "D01.7c" kimi işarələyin. [7]

- (D01.7d) Qrafikdən  $R_p$  ( $R_\odot$  ilə) və  $i$  (dərəcələrlə) qiymətlərini təqribi müəyyən edin. [4]

- (D01.8) Bu məsələdə əldə edilən nəticələrə əsaslanaraq, Cavab Vərəqində uyğun xana işarələyərək (✓) P [2]  
planetinin "QAYA" və ya "QAZ" planet olduğunu göstərin.



**(D02) Günəşdən gələn tac kütləsinin Yerə çatma vaxtlarının proqnozlaşdırılması**
**[60 bal]**

Günəş bəzən Günəşin səthindən qaynaqlanan və xaricə doğru yayılan maqnitləşdirilmiş tac kütlə atılmaları (CME) adlanan plazma buraxır. Onların Yerə çatma vaxtlarının dəqiq proqnozlaşdırılması, Yer ətrafında dövr edən peyklərə potensial təsirlərini anlamaq və azaltmaq üçün çox vacibdir. Bu məsələdə, 10 CME-nin məlumatlarından istifadə edərək təcrübəyə əsaslanan model hazırlamaqla CME-lərin çatma vaxtlarını proqnozlaşdırmağı hədəfləyirik. Bu məsələ boyunca, Günəşin səthi ilə Yer arasındakı məsafə  $214R_{\odot}$  olaraq qəbul edilir.

Günəşin dönmədiyini fərz edin. Elektromaqnit, cazibə və sürükləmə (drag) qüvvələri səbəbindən, CME-lər yayılmaları boyunca dəyişən təcillə hərəkət edirlər. Bu məsələnin ilk iki hissəsində, Günəş ilə Yer arasındakı fəzanın vakuum olduğunu fərz edirik.

**CMEs vakuum vasitəsilə.**

(D02.1) Aşağıdakı cədvəldə 10 CME üçün Günəş səthindən ( $= 1R_{\odot}$ ) ayrıldıqdakı ilkin sürət,  $u$ , Yerə çatdıqdakı son sürət,  $v$ , və Günəşin səthindən ayrıldıqdan sonra Yerə çatma vaxtı (saatla),  $\tau$ , verilmişdir.

| CME   | $u$                     | $v$                     | $\tau$ |
|-------|-------------------------|-------------------------|--------|
| Ad    | (km san <sup>-1</sup> ) | (km san <sup>-1</sup> ) | (saat) |
| 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) Hər bir CME üçün orta təcili,  $a$ , m san<sup>-2</sup> ilə hesablayın.

**[3]**

(D02.1b)

Biz CME-nin təcili  $a_{\text{model}}$  üçün təcrübəyə əsaslanan model qəbul edirik və bu onun ilkin sürəti  $u$  -dan asılıdır. Belə ki,  $a_{\text{model}} = m \left( \frac{u}{u_0} \right) + \alpha$ ; burada,  $a_{\text{model}}$  m san<sup>-2</sup> ilə ifadə olunur,  $u$  km san<sup>-1</sup> ilə ifadə olunur və  $u_0 = 1.00 \times 10^3$  km san<sup>-1</sup>.

Uyğun qrafikdən istifadə edərək  $m$  və  $\alpha$  sabitlərini və sabitlərin qeyri-müəyyənliklərini (uncertainty) müəyyənəldirin (qrafikinizi “D02.1b” kimi işarələyin).

**[15]**

(D02.1c) Hər bir CME üçün  $a_{\text{model}}$  qiymətlərini m san<sup>-2</sup> vahidlərində cədvəl şəklində göstərin. Daha sonra hesablanmış təcil,  $a$ , və model qiymətləri arasındakı kök-orta kvadrat sapmanı (deviation)  $\delta a_{\text{rms}}$  hesablayın.

**[4]**

(D02.2) Biz ilkin sürətləri müvafiq olaraq  $u = 1044 \text{ km san}^{-1}$  və  $273 \text{ km san}^{-1}$  olan iki digər CME-ni (CME-1 və CME-2) nəzərdən keçiririk.

(D02.2a) (D02.1b)-də əldə edilən təcrübi hesablama modelini istifadə edərək, müvafiq olaraq [4] CME-1 və CME-2 üçün Yerə çatma vaxtlarını  $\tau_{1, m}$  və  $\tau_{2, m}$  (saatla) hesablayın.

(D02.2b) CME-1 və CME-2-nin Yerə çatma vaxtları müvafiq olaraq 46.0 saat və 74.5 saatdır. Əgər [2] təcrübi modeldə bir CME üçün hesablanan çatma vaxtı müşahidə olunan çatma vaxtının 20%-i daxilindədirsə, təcrübi model müəyyən bir CME üçün etibarlı hesab olunur; əks halda, etibarlı deyil. Hər bir CME üçün modelin etibarlılığını Cavab Vərəqində uyğun damanı işarələməklə (✓) göstərin.

### Günəş küləyinin mövcudluğunda CME-lər

Əslində, Günəş və Yer arasındakı fəza günəş küləyi ilə doludur, bu da CME-lərə sürükləmə qüvvəsi tətbiq edir. Bu sürükləmə (drag) qüvvəsi CME-nin günəş küləyinə nəzərən nisbi sürətinə bağlı olaraq CME-ni ya yavaşlada, ya da sürətləndirə bilər. Günəş küləyinin təsirini nəzərə almaq üçün biz  $R_{\text{obs}}(t) \geq R_0$  məsafələr üçün "yalnız sürükləmə" modelindən istifadə edəcəyik, burada  $R_0$  sürükləmə qüvvəsinin CME-nin hərəkətinə təsir edən əsas (dominant) qüvvə olduğu məsafədir.

"Yalnız sürükləmə" modelindən müəyyən edilən Günəşin səthindən məsafə,  $R_D(t)$ , və bu modeldə CME-nin sürəti,  $V_D(t)$ , aşağıdakı kimi verilir:

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

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

burada,  $\gamma = 2 \times 10^{-8} \text{ km}^{-1}$ ,  $V_s$  günəş küləyinin sabit sürətidir,  $R_0$  və  $V_0$  isə  $t_0$  vaxtında məsafə və sürətdir və  $S$  işarə faktorudur.  $S = 1$  əgər  $V_0 > V_s$ ;  $S = -1$  əgər  $V_0 \leq V_s$ .

(D02.3) Aşağıdakı cədvəllər iki CME (CME-3 və CME-4) üçün Günəşin səthindən müşahidə olunan radial məsafəni,  $R_{\text{obs}}(t)$  (ölçü vahidi  $R_\odot$ ), zamanın  $t$  (saatla) funksiyası olaraq göstərir. Hər bir cədvəldəki son məlumat nöqtəsi (müvafiq olaraq D5 və P8) müvafiq CME-nin Yerə çatma vaxtına uyğundur. Bu hissə üçün  $V_s = 330 \text{ km san}^{-1}$  qəbul edin.

| CME-3           |              |                                              |
|-----------------|--------------|----------------------------------------------|
| Məlumat nöqtəsi | $t$ (saatla) | $R_{\text{obs}}(t)$ (ölçü vahidi $R_\odot$ ) |
| 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           |              |                                              |
|-----------------|--------------|----------------------------------------------|
| Məlumat nöqtəsi | $t$ (saatla) | $R_{\text{obs}}(t)$ (ölçü vahidi $R_\odot$ ) |
| 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                                          |

Bu CME - lərin gəliş vaxtlarını "yalnız sürükləmə" modeli ilə kifayət qədər dəqiq proqnozlaşdırıb-proqnozlaşdırmadığını qiymətləndirəcəyik. Bu modeli istifadə etmək üçün müvafiq  $t_0$ , və eləcə də ona uyğun gələn  $R_0$  və  $V_0$  müəyyən edilməlidir.

- (D02.3a) CME-3 üçün aşağıdakı iki halı nəzərdən keçirin: [6]  
 (C1)  $t_0$  D1 – D2 intervalının orta nöqtəsi kimi götürülür  
 (C2)  $t_0$  D3 – D4 intervalının orta nöqtəsi kimi götürülür  
 Sürətin hər bir xüsusi D1–D2 və D3–D4 intervalında sabit qaldığını, lakin bu iki interval arasında fərqli ola biləcəyini fərz edin.
- $t_0$ ,  $R_0$  və  $V_0$ -dan istifadə edərək,  $t = 58.05$  saat olduqda hər iki hal üçün müşahidə olunan və proqnozlaşdırılan radial məsafə arasındakı fərq  $\delta R_D \equiv R_{\text{obs}}(t) - R_D(t)$  -i  $R_\odot$  ilə hesablayın.
- (D02.3b) (D02.3a) ilə oxşar proseduru qəbul edərək aşağıdakı hər iki hal üçün CME-4 -ün [4]  
 Günəş və Yer arasında P5, P6, P7 və P8 nöqtələrində  $R_D(t)$  məsafəsini müəyyən edin.
- (C3)  $t_0$  P1 – P2 intervalının orta nöqtəsi kimi götürülür  
 (C4)  $t_0$  P3 – P4 intervalının orta nöqtəsi kimi götürülür.
- (D02.3c) CME-4 üçün P5, P6, P7 və P8 nöqtələrində iki hal (C3 və C4) üçün  $R_D(t)$  ( $R_\odot$ ) vs  $t$  [10]  
 (saatla) asılığını çəkin (həmin qrafikinizi “D02.3c” kimi qeyd edin). Eyni qrafikdə yuxarıda qeyd olunan iki hal üçün  $R_D(t)$  nöqtələrini birləşdirən xətt çəkin. Bu hissə üçün  $x$  oxunun diapazonunu 0-dan 180 saata qədər götürün.
- (D02.3d) Qrafikdən istifadə edərək, CME-4-ün Yerə faktiki çatma vaxtı ilə yalnız sürükləmə [4]  
 modeli tərəfindən proqnozlaşdırılan çatma vaxtı arasındakı fərqi modulunu,  $|\delta\tau|$ , C3 və C4 halları üçün müəyyən edin.
- (D02.3e) Aşağıdakı ifadənin DOĞRU və ya YANLIŞ olduğunu Cavab Vərəqində uyğun xanada [1]  
 işarələyərək (✓) göstərin (yazılı əsaslandırma tələb olunmur):  
 “Günəş küləyinin CME-lərə göstərdiyi sürükləmə qüvvələri CME-3 üçün CME-4 ilə müqayisədə daha erkən zamanda üstünlük təşkil edir (ən dominant qüvvə olur)”.
- (D02.4) D02.1 hissəsində verilmiş 10 CME-də təsir edən əsas qüvvənin sürüklənmə olduğunu qəbul edin. [7]  
 “Yalnız sürüklənmə” modelinin Günəşin səthindən ( $R_0 = 1 R_\odot$ ) və ondan kənarda, bütün CME-lər üçün tətbiq oluna biləcəyini fərz edin.  
 Hər bir CME üçün günəş küləyinin sürətini  $V_s$  km san<sup>-1</sup> ilə hesablayın və cədvəl şəklində göstərin. Bundan əlavə, bütün 10 CME üçün orta günəş küləyi sürətini  $V_{s, \text{avg}}$  hesablayın.