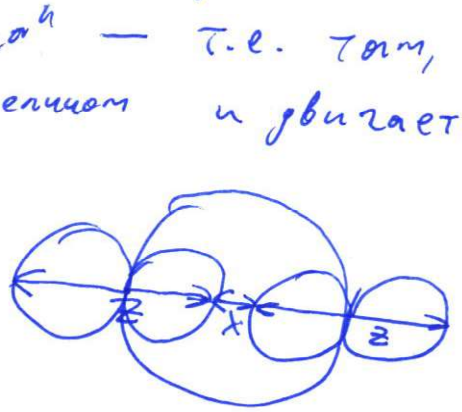
 Жун-15

Для начала рассчитаем скорость движения планета по орбите. Известно: $P = 1{,}4$ дня $= 1{,}4 \cdot 86400 с = 120960 с \approx 1{,}21 \cdot 10^5 с$
$r = 3$ млн. км $= 3 \cdot 10^6$ км. Тогда: $v = \frac{2\pi r}{P} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10^6 км}{1{,}21 \cdot 10^5 с} = \frac{60\pi}{1{,}21} \cdot \frac{км}{с} =$
$= 155{,}7 \approx \underline{156 \frac{км}{с}}$

Заметим, что в минимуме блеска, ~~звездная~~ относительный ~~величина~~ поток составляет $\approx 0{,}433$ от изначального (до затмения). Т.е. он уменьшился более чем в два раза, значит, планета закрыла большую часть звезды. Тогда они должны быть сопоставимых размеров. Это также подтверждается тем, что у минимума очень короткий участок „плоского дна" — т.е. там, где планета уже зашла на звезду целиком и движется по ней. На рисунке это соответствует участку X. Т.к. его продолжительность заметно меньше чем продолжительность участков Z, размеры тел должны не отличаться сильно.



На всякий случай проверим, насколько большой вклад в излучение может вкладывать планета. Запишем ур-е теплового баланса:

$$(1-A)\sigma T_{зв}^4 \cdot \left(\frac{R_{зв}}{r}\right)^2 \cdot \pi R_{пл}^2 = \sigma T_{пл}^4 \cdot 4\pi R_{пл}^2$$

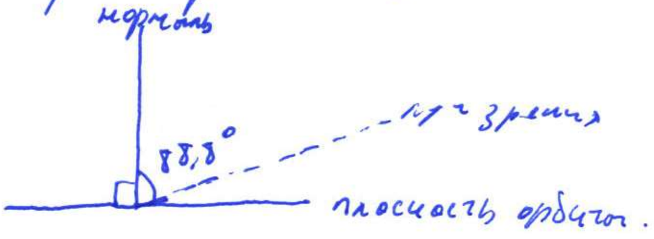
$$T_{пл}^4 = T_{зв}^4 \cdot \left(\frac{1-A}{4}\right) \left(R_{зв}/r\right)^2$$

нам неизвестно альбедо A, оно может быть в пределах $[0;1]$ (от АЧТ до полностью отражающего тела)

 $T_{пл}^4 = T_{зв}^4 \left(\frac{1-A}{4}\right) \cdot \left(R_{зв}/r\right)^2$

Мы пока не знаем размеров звезды. ~~Она может~~ если она будет порядков ~~солнечных размеров~~ радиуса орбиты, то планета может внести значительный вклад в поток. С другой стороны, тогда планета должна будет быть примерно таких же размеров (мы это уже установили), а планет размеров ~~Солнца~~ в млн. км. не бывает. Но это уже много рассуждений. Давайте оставим $T_{пл}$ пока таким, а дальше посмотрим.

Нам известно, что угол между лучом зрения и нормалью к плоскости орбиты $= 88{,}8^\circ$. Это почти 90°. Поэтому можно считать что мы смотрим примерно в плоскость орбиты.



Запишем потоки:

$$\frac{F_{min}}{F_0} = \frac{0{,}433}{1} = \frac{T_{зв}^4\left(R_{зв}^2 - R_{пл}^2\right) + T_{пл}^4 R_{пл}^2}{T_{зв}^4 R_{зв}^2 + T_{пл}^4 R_{пл}^2}$$

подставляя: $T_{пл}^4 = T_{зв}^4 \left(\frac{1-A}{4}\right)\left(R_{зв}/r\right)^2$:

$$\frac{F_{min}}{F_0} = \frac{T_{зв}^4\left(R_{зв}^2 - R_{пл}^2\right) + T_{зв}^4\left(\frac{1-A}{4}\right)\left(R_{зв}/r\right)^2 R_{пл}^2}{T_{зв}^4 R_{зв}^2 + T_{зв}^4\left(\frac{1-A}{4}\right)\left(R_{зв}/r\right)^2 R_{пл}^2} =$$

$$= \frac{\left(R_{зв}^2 + \frac{1-A}{4}\cdot\left(\frac{R_{зв}}{r}\right)^2 R_{пл}^2\right) - R_{пл}^2}{\left(R_{зв}^2 + \frac{1-A}{4}\cdot\left(\frac{R_{зв}}{r}\right)^2 \cdot R_{пл}^2\right)} = 1 - \frac{R_{пл}^2}{R_{зв}^2 + \frac{1-A}{4}\cdot\left(\frac{R_{зв}}{r}\right)^2 R_{пл}^2} = 0.433$$

$$\frac{R_{пл}^2}{R_{зв}^2 + \left(\frac{1-A}{4}\right)\left(\frac{R_{зв}}{r}\right)^2 R_{пл}^2} = 1 - 0{,}433 = 0{,}567$$

$$\frac{R_{пл}^2}{0{,}567} = R_{зв}^2 + \left(\frac{1-A}{4}\right)\left(\frac{R_{зв}}{r}\right)^2 R_{пл}^2 = R_{зв}^2\left(1 + \frac{1-A}{4}\cdot\left(\frac{R_{пл}}{r}\right)^2\right)$$

$$R_{зв}^2 = \frac{R_{пл}^2}{0.567\left(1 + \frac{1-A}{4}\cdot\left(\frac{R_{пл}}{r}\right)^2\right)}$$

 Тут необходимо значение $R_{пл}$ для дальнейших расчётов. Для этого вернёмся к графику.

Измерим продолжительность времени падающего участка кривой, от начала затмения до плато. Последнее достаточно маленькое и определить его границы тяжело, поэтому мы не можем просто померить его и сказать, что вот настолько звезда больше планеты. При этом, мы вполне можем оценить размер самой планеты, т.к участок с падающей кривой достаточно продолжителен и погрешность определения плато не внесёт большой погрешности в определение размеров.

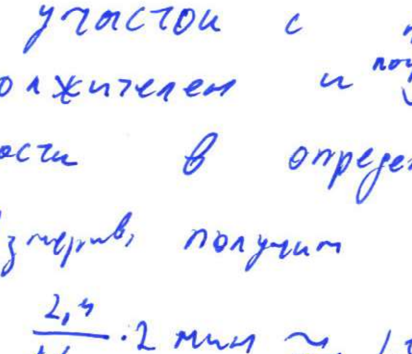
Измерив, получим что продолжительность этого участка

$$\tau = \frac{2,4}{1,6}\cdot 2\text{ мин} \approx 1,56\cdot 120\text{с} \approx 187\text{ с}$$

масштаб

$$v\cdot\tau = 2R_{пл} \Rightarrow R_{пл} = \frac{v\tau}{2} = \frac{156\frac{км}{с}\cdot 187\text{с}}{2} \approx$$

$$\approx 14586\text{ км} \approx 1,5\cdot10^4\text{ км}$$



$2R_{пл}$

$$R_{зв}^2 = \frac{R_{пл}^2}{0,567\left(1+\frac{1-A}{4}\left(R_{пл}/r\right)^2\right)}$$

верхний предел

$A \in [0;1]$: ~~нижний~~ верхний предел $A = 1$: $R_{зв}^2 = \frac{R_{пл}^2}{0.567}$

нижний предел

$A=0$: $R_{зв}^2 = \frac{R_{пл}^2}{0,567\left(1+\frac14\left(R_{пл}/r\right)^2\right)} \Rightarrow \left(R_{пл}/r\right)^2 = \left(\frac{1,5\cdot10^4}{3\cdot10^6}\right)^2 = \left(\frac12\cdot10^{-2}\right)^2 = \left(5\cdot10^{-3}\right)^2 =$

$= 25\cdot10^{-6}$

$\frac{25\cdot10^{-6}}{4} \ll 1 \Rightarrow$ можно пренебречь излучением планеты в любом случае.

Тогда:

$$R_{зв}^2 \approx \frac{R_{пл}^2}{0.567} \Rightarrow R_{зв} = \frac{R_{пл}}{\sqrt{0,567}} = \frac{R_{пл}}{\sqrt{1-0.433}} = \frac{R_{пл}}{(1-0.433)^{1/2}} \approx \frac{R_{пл}}{\left(1-\frac12\cdot0,433\right)} =$$

$$= \frac{R_{пл}}{1-0,217} = \frac{R_{пл}}{0,783} \approx \frac{1,5\cdot10^4\text{ км}}{0,78} \approx 1,9\cdot10^4\text{ км}.$$

Получилось, что радиус звезды всего лишь 19000 км. Это похоже на белый карлик, хоть и немного больше характерных размеров БК (10 тыс. км.) В радиусах Солнца $1,9\cdot10^4\text{ км} \approx 0,03\,R_\odot$

 $0{,}03 R_\odot < 0{,}08 R_\odot$,

минимальный размер чтобы образовалась ~~карликовая~~ нормальная звезда. ~~с термоядер~~ (не БК!!!)

Нейтронные звёзды по размеру вообще ~10 км. Чёрные дыры не подходят, т.к. у нас по условию звезда. Остаётся только белый карлик.

Можем рассчитать массу звезды, чтобы проверить подходит ли она по массе под БК.

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$ ← круговая скорость планеты, которая нам известна

$$\frac{v^2 r}{G} = M \qquad M = \frac{(1{,}56\cdot 10^5 \text{ м/с})^2 \cdot (3\cdot 10^9 \text{ м})}{6{,}67\cdot 10^{-11} \cdot \text{Н}\frac{\text{м}^2}{\text{кг}^2}} \approx 1{,}1\cdot 10^{30} \text{ кг} \approx \frac{M_\odot}{2}$$

Получилось, что примерно половина массы Солнца. Это примерно соответствует массе БК, которая ~~может~~ ~~в диапазо~~ обычно порядка массы Солнца. Поэтому, наша звезда — Белый Карлик.

Планета получилась с радиусом $\approx 1{,}5\cdot 10^4$ км. Для планет гигантов, это, кажется, маловато, а для планет земной группы многовато. Но, кажется, ~~бывает специальная группа~~ встречается такой тип планет, или суперземли*. Вот для них, наверное, это в самый раз. Так что, думаю наша планета — суперземля.

[* подобна планетам земной группы, но больше]