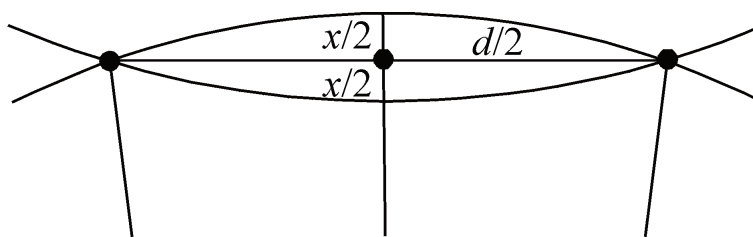


Фаза частного солнечного затмения равна

$$F = \frac{x}{D} \approx \frac{d^2}{2D^2} = 0.005.$$

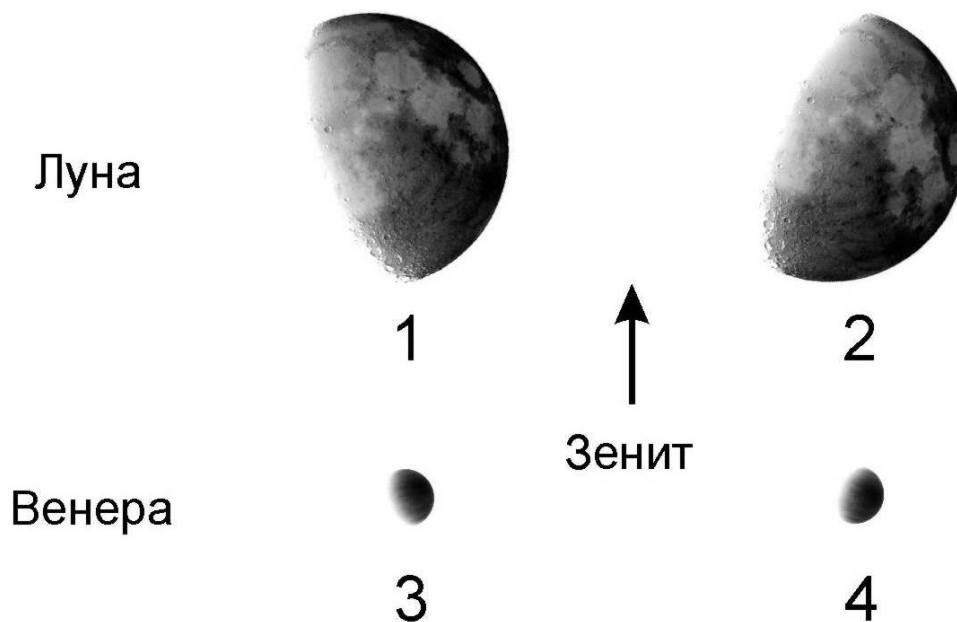


Х. 1

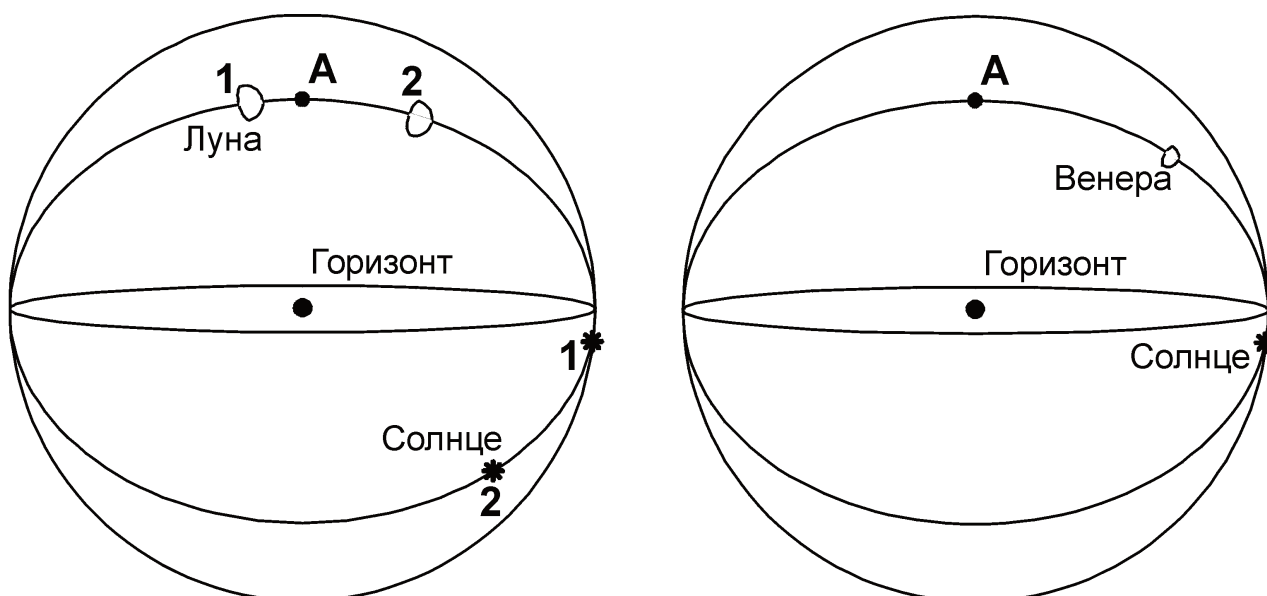
ЛИК ЛУНЫ И ЛИК ВЕНЕРЫ

О.С. Угольников

? Вам предложены четыре фотографии Луны и Венеры (негатив) в фазе, большей 0.5, ориентированные горизонтально (направление на зенит соответствует стрелке вверх). Какие из этих четырех конфигураций могут иметь место на темном небе (Солнце под горизонтом), а какие – нет?



! На рисунке показаны Луна и Венера в практически одинаковых фазах, больших 0.5, яркая выпуклость дисков которых наклонена вверх или вниз. Луна – естественный спутник Земли, находящийся значительно ближе к нам, чем Солнце. Луна имеет фазу 0.5, располагаясь практически точно в 90° на небе от Солнца. Если же фаза больше 0.5 – угловое расстояние от Солнца до Луны превышает 90°, но меньше 180°, если только фаза не равна единице. Венера – внутренняя планета, находящаяся существенно дальше от Земли. На нашем небе она не уходит от Солнца дальше, чем на 47°.



Рассмотрим взаимное расположение Солнца, Венеры и Луны на небе Земли. Проведем большой круг через Солнце и Луну, которые не находятся на горизонте. Этот круг (близкий к эклиптике) будет пересекать горизонт в некоторых двух точках. Посередине между ними, в самой высокой точке этого круга (точке А) он будет перпендикулярен вертикали – направлению на зенит. Угловое расстояние между Солнцем и Луной больше 90° , поэтому она может находиться на небе как левее точки А (ранним вечером, положение 1), так и правее нее (положение 2). А вот Венера находится на небе недалеко от Солнца, и в темное время суток будет находиться правее точки А. Поэтому ночью возможно увидеть конфигурации, показанные на фото цифрами 1, 2 и 4, но нельзя увидеть Венеру в конфигурации 3.

Х. 2 ПОЛЯРНЫЕ ЗВЕЗДЫ

А.Н. Акинъчиков

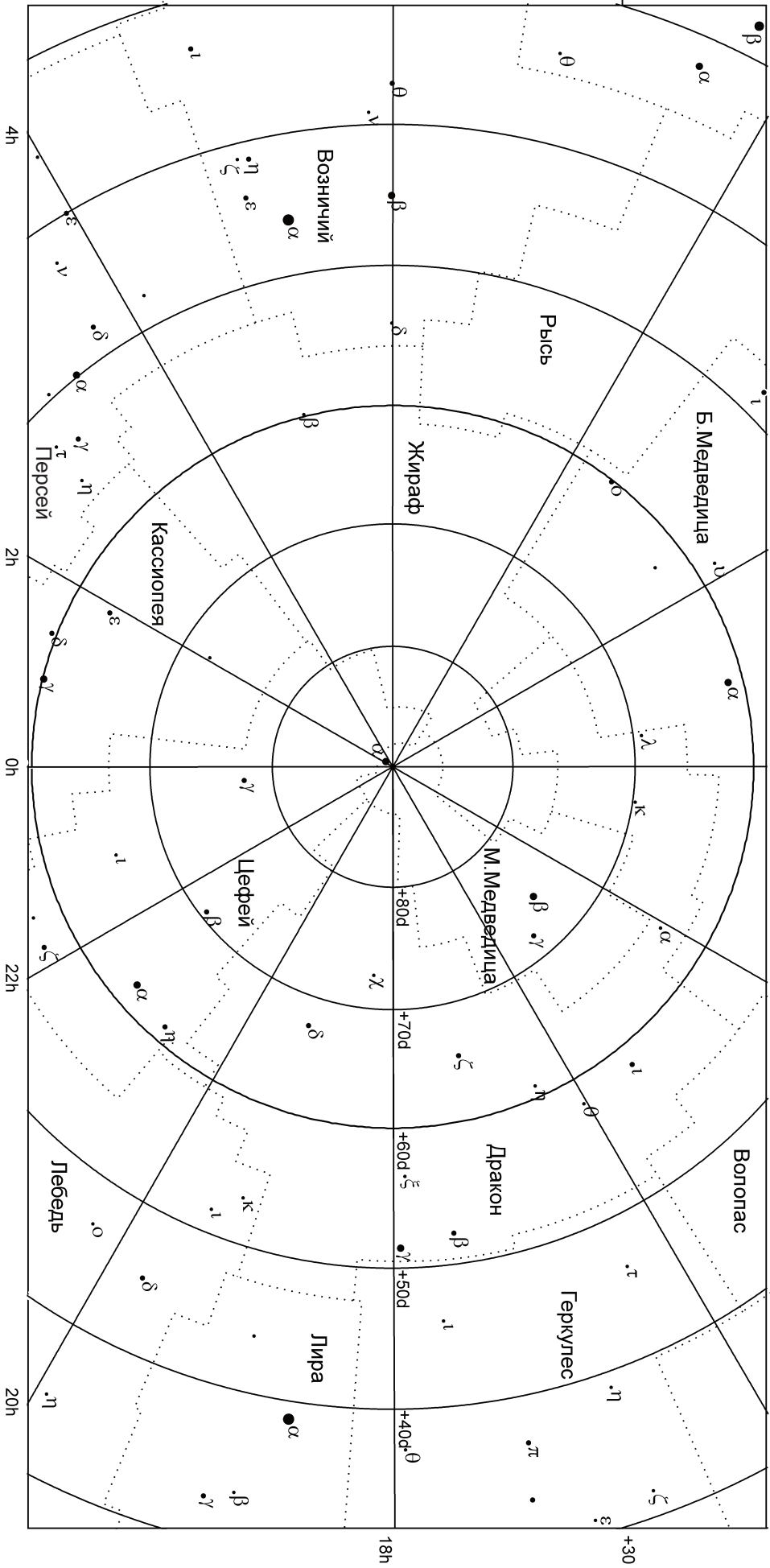
? Перед Вами звездная карта околополярной области неба со звездами до 4^м. Определите, какие из этих звезд и в какое время в пределах ближайших 10 тысяч лет в прошлом и будущем можно назвать «Полярными»? «Полярной» считается звезда, ближайшая из всех звезд карты к текущему положению Северного полюса мира. Считать величину прецессии и наклона экватора к эклиптике постоянными. Собственными движениями звезд пренебречь.

! Изменение текущего положения полюса мира обусловлено прецессией – вращением оси Земли вокруг оси орбиты Земли. Если считать прецессию и наклон экватора к эклиптике постоянными величинами, то полюс мира будет описывать окружность вокруг полюса эклиптики. Зная координаты полюса эклиптики (прямое восхождение 18ч, склонение $+66.6^\circ$), изобразим эту окружность.

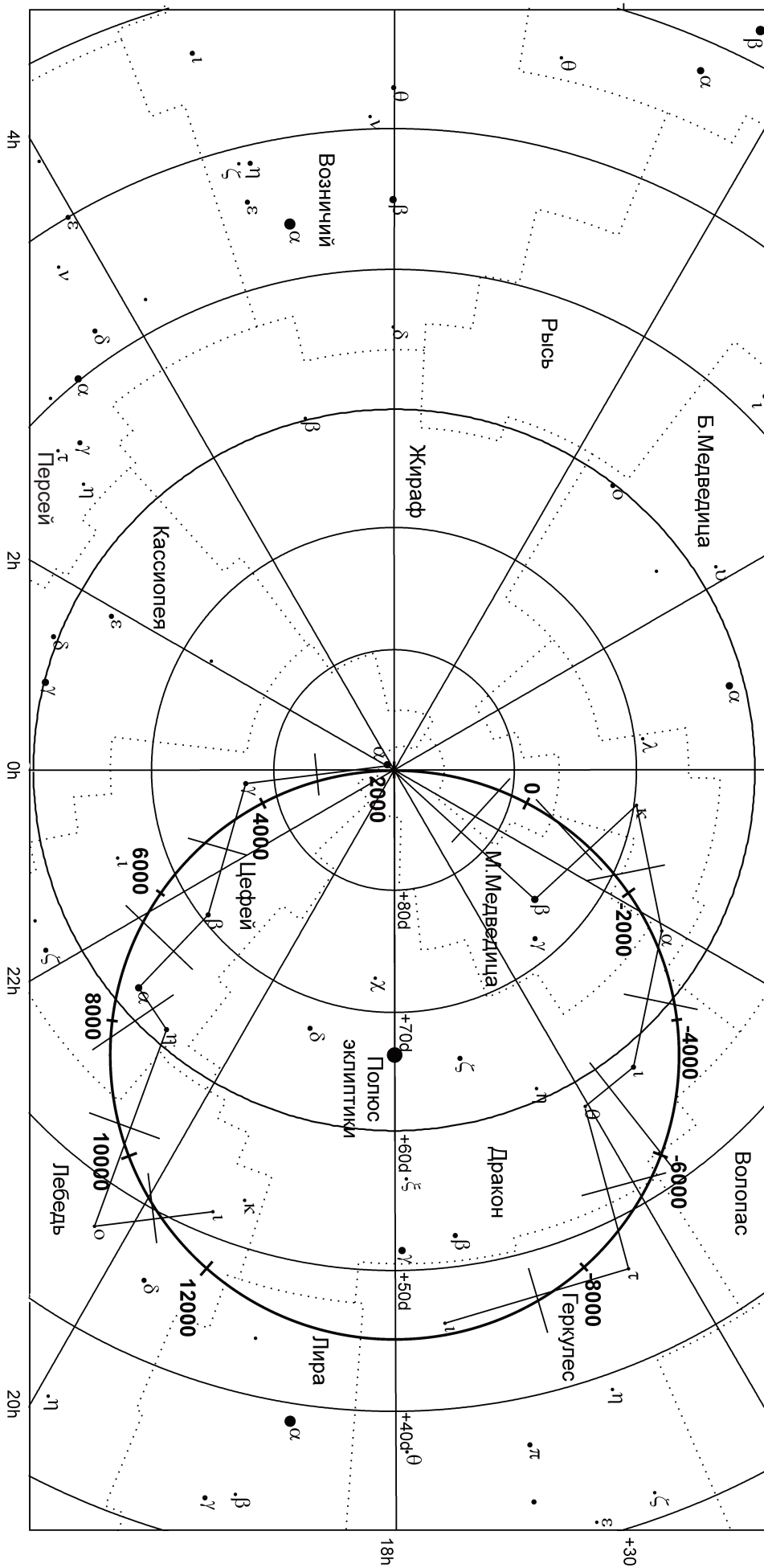
Полюс мира движется против часовой стрелки с периодом в 26000 лет. Исходя из этого, мы можем отметить его положения в интересующий интервал времени (10 тысяч лет в прошлое и будущее, т.е. от -8000 до 12000 года).

Практический тур – 10 класс

- -
 -
 -
 -
- 0 1 2 3 4



- ● ● ● ●
- 1 2 3 4



В задаче нам нужно узнать, какая из приведенных на карте ярких звезд будет ближайшей к полюсу мира в тот или иной момент времени. Это достаточно просто сделать графически. Для этого нужно определить те звезды, которые являются ближайшими к разным частям выделенной окружности. Далее эти звезды последовательно соединяются отрезками, к которым проводятся серединные перпендикуляры. Пересечение этих перпендикуляров с окружностью, показывающей движение полюса мира, указывает моменты, когда роль «Полярной» будет переходить от одной звезды к другой. Сделав измерения на карте, мы получаем временные интервалы, во время которых различные звезды являются «Полярными»:

С	До	Звезда
–8000 г.	–6300 г.	τ Геркулеса
–6300 г.	–6000 г.	θ Дракона
–6000 г.	–3800 г.	ι Дракона
–3800 г.	–1600 г.	α Дракона
–1600 г.	–500 г.	κ Дракона
–500 г.	400 г.	β Малой Медведицы
400 г.	3100 г.	α Малой Медведицы
3100 г.	5000 г.	γ Цефея
5000 г.	6500 г.	β Цефея
6500 г.	8200 г.	α Цефея
8200 г.	9600 г.	η Цефея
9600 г.	10700 г.	ο Лебеда
10700 г.	12000 г.	ι Лебеда

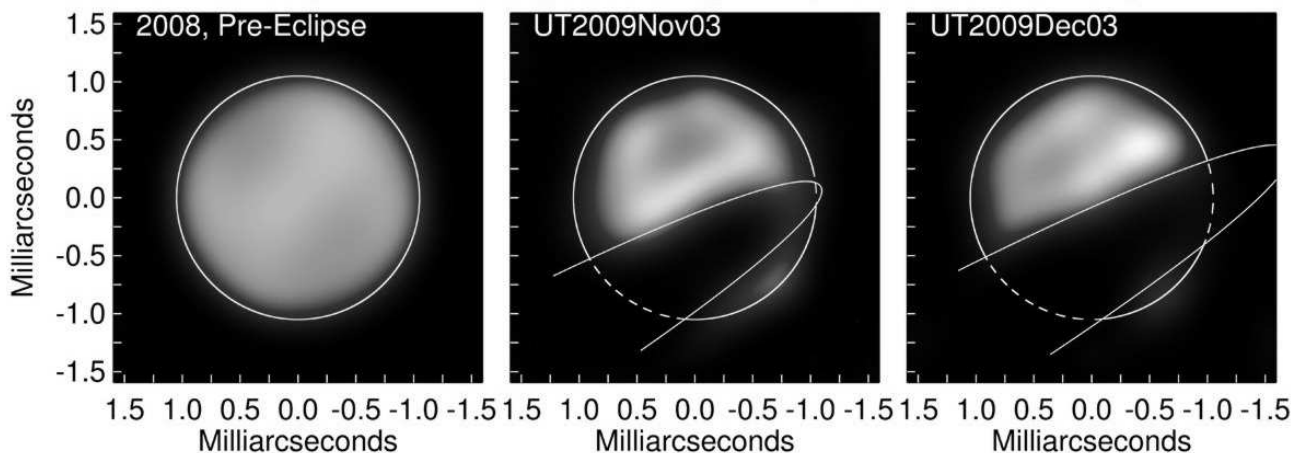
Х. 3

ПЫЛЕВОЙ ДИСК

А.М. Татарников, О.С. Угольников

? Затменная переменная система ε Возничего состоит из звезды 3^m и невидимого компонента, окруженного тонким пылевым диском цилиндрической формы (высота цилиндра существенно меньше его радиуса). Звезда удалена от Солнца на 600 пк. С 17 августа 2009 года до 13 мая 2011 года продолжалось затмение оптической звезды диском. На фотографиях (на обороте) показаны изображения звезды в 2008 году (до затмения), 3 ноября и 3 декабря 2009 года. Изображения получены на основе интерферометрических наблюдений на оптической сети телескопов CHARA (США). На картину наложены положения краев пылевого диска. Угловые единицы по координатным осям – миллисекунды дуги ($10^{-3}''$). Исходя из этой картины, оцените минимальную массу пылевого диска. Считать, что диск состоит из черных пылинок радиусом 1 мкм и плотностью 1 г/см³, пылинки задерживают свет по законам геометрической оптики.

Epsilon Aurigae Eclipse (CHARA-MIRC)



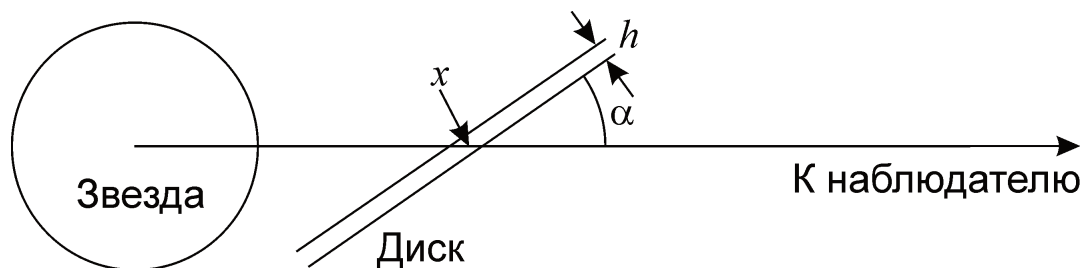
По интерферометрическим изображениям мы можем определить видимый диаметр оптического компонента системы звезды δ , он составляет $2.2 \cdot 10^{-3''}$. Умножая его на расстояние до звезды (600 пк), получаем ее диаметр d , выраженный в астрономических единицах – 1.3 а.е.

По изображениям 3 ноября и 3 декабря 2009 года мы видим, что диск виден с Земли как эллипс и движется практически вдоль своей большой оси. В реальности диск круглый, и его видимая эллиптическая форма объясняется эффектом проекции на небесную сферу. Сравнивая положения диска на двух фотографиях, получаем величину его перемещения относительно звезды за 1 месяц. Оно составляет примерно 1/3 от видимого диаметра звезды. 3 ноября правый край диска практически совпадает с лимбом звезды. В конце затмения (13 мая 2011 года), эта же точка лимба совпадет с левым краем диска. Следовательно, вся видимая большая ось диска пройдет через данную точку лимба за 18 месяцев, и его длина составляет 6 угловых диаметров звезды. Из этого следует, что пространственный диаметр диска L в 6 раз больше диаметра звезды и составляет около 8 а.е.

Области звезды, закрытые пылевым диском, выглядят существенно потемневшими (или даже совсем черными). Из этого мы можем сделать вывод, что лучи звезды, идущие к нам сквозь пыль, встречаются как минимум с одной пылинкой. Рассмотрим взаимное расположение звезды, пылевого диска и наблюдателя.

Зная, что диск имеет круглую форму и измерив малую ось его изображения на небе 1 ($0.6d$ или $0.1L$, соответствующая пространственная длина составляет 0.8 а.е.), получаем величину угла наклона плоскости диска к лучу зрения:

$$\alpha = \arcsin \frac{l}{L} = 6^\circ.$$



Практический тур – 10 класс

Обозначим толщину диска через h . Тогда длина пути лучей сквозь диск составит

$$x = \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{hL}{l}.$$

Если радиус пылинки равен r , то число пылинок на луче зрения будет равно их числу в цилиндрической трубке длиной x и радиусом основания r . Если концентрация пылинок равна n , то данное число составит

$$T = nx \cdot \pi r^2 = \frac{\pi n h L r^2}{l}.$$

Как было сказано выше, число T не меньше единицы. Тогда для концентрации справедливо неравенство:

$$n \geq \frac{l}{\pi h L r^2}.$$

Диск имеет радиус $(L/2)$ и толщину h . Общее число пылинок в нем:

$$N = \frac{\pi L^2 h}{4} n \geq \frac{lL}{4r^2}.$$

Интересно, что число в правой части неравенства не зависит от толщины диска и составляет лишь отношение его видимой площади к видимой площади пылинки. Данное неравенство можно было также получить, считая, что видимых площадей всех пылинок должно быть достаточно, чтобы покрыть весь диск по отношению к лучу зрения. Наконец, масса диска не меньше, чем

$$M = \frac{4}{3} \pi \rho r^3 N \geq \frac{\pi \rho l L r}{3}.$$

Минимальная масса равна всего $1.5 \cdot 10^{20}$ кг или $2.5 \cdot 10^{-5}$ масс Земли. Реальная масса диска на несколько порядков больше, так как он еще менее прозрачен, и на луче зрения оказывается большое число пылинок.

Epsilon Aurigae Eclipse (CHARA-MIRC)

