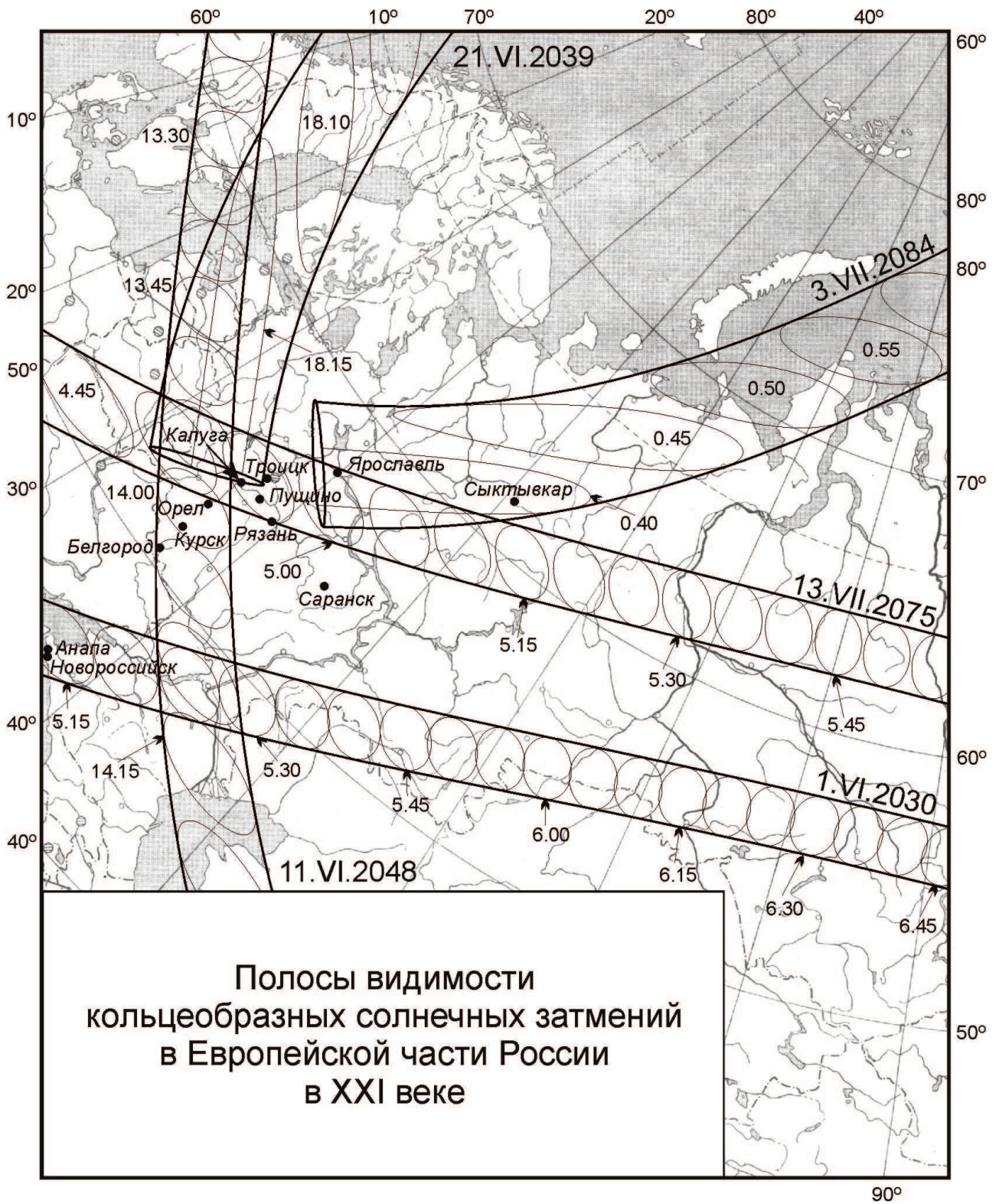


Практический тур – 9 класс



**X. 1****МОРСКОЙ ОСЕННИЙ ЗАКАТ**

О.С. Угольников

**?** Сентябрьским вечером в некоторой точке на берегу моря с широтой  $+46^\circ$  наблюдался заход Солнца точно за далекой косой (фото). На следующий вечер такая же картина наблюдалась в другой точке набережной, удаленной от первой на 46 метров. Считая направление на запад перпендикулярным берегу, найдите расстояние до косы.



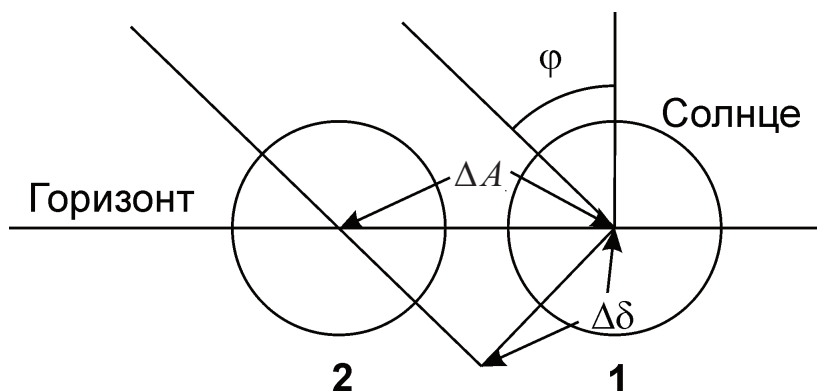
**!** За один день Солнце перемещается по эклиптике на угол  $\gamma$ , равный  $(360/365.25) = 0.986^\circ$ . В сентябре, вблизи осеннего равноденствия, это движение происходит под углом  $\varepsilon$  ( $23.4^\circ$ ) к экватору. Склонение Солнца за один день уменьшится на величину

$$\Delta\delta = \gamma \sin \varepsilon = 0.39^\circ.$$

Рассмотрим положение Солнца в момент захода в два последующих вечера. Разница азимутов точек захода центра диска Солнца равна

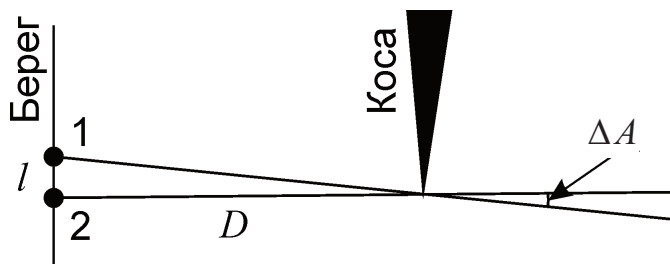
$$\Delta A = \frac{\Delta\delta}{\cos\varphi} = \frac{\gamma \sin\varepsilon}{\cos\varphi} = 0.56^\circ.$$

Здесь  $\varphi$  – широта места наблюдения. Атмосферная рефракция не изменяет картину, так как она в равной степени поднимает изображения Солнца над горизонтом. Рассмотрим положение косы и двух точек на берегу, из которых наблюдался заход Солнца за косой.



Так как угол  $\Delta A$  мал, выражаем его в радианной мере и определяем расстояние до косы по формуле:

$$D = \frac{l}{\Delta A} = \frac{l \cos \varphi}{\gamma \sin \varepsilon} = 4.7 \text{ км.}$$

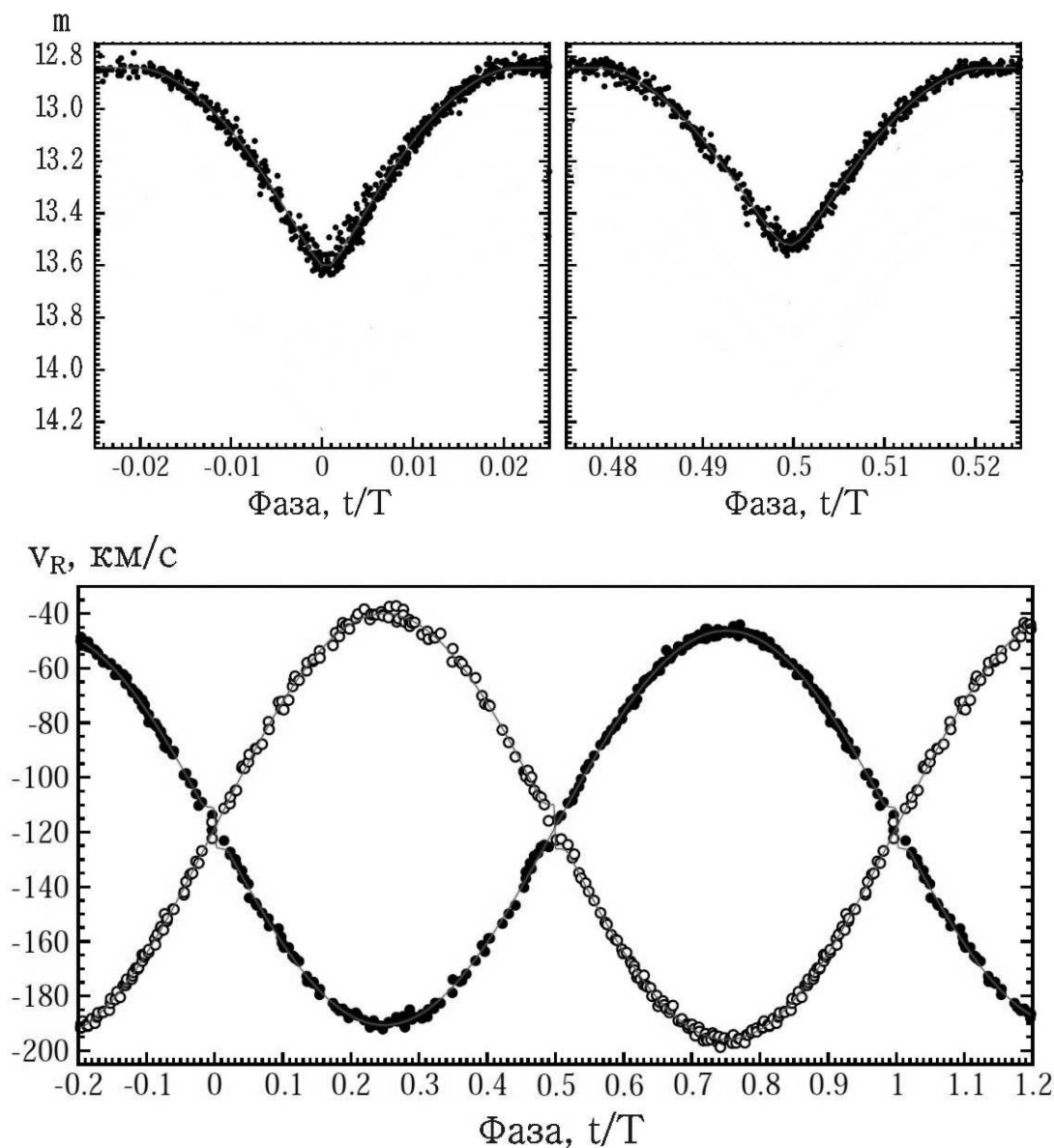


## X. 2

### ЗВЕЗДНЫЙ ВАЛЬС

О.С. УГОЛЬНИКОВ

**?** На графиках приведены кривые блеска (вблизи минимумов) и кривая лучевых скоростей компонент затменной двойной системы CM Дракона. Орбитальный период системы составляет 1.27 дня. По оси абсцисс отложена величина фазы (время, деленное на период). Считая звезды сферическими, определите величины их средней плотности.





Обратим внимание на несколько свойств системы СМ Дракона, существенно облегчающих решение задачи. Минимумы блеска наступают при фазах 0 и 0.5, то есть ровно через половину орбитального периода системы. В эти же моменты лучевые скорости звезд совпадают, как видно из соответствующего графика. Это может быть, если орбиты звезд круговые или эллиптические с линией апсид, перпендикулярной плоскости наблюдения (то есть проходящей через наблюдателя). Во втором из этих случаев уменьшение блеска во время первого и второго минимума имело бы разную длительность, а кривые лучевых скоростей выглядели бы асимметрично, чего не наблюдается. Итак, орбиты звезд круговые. По кривым блеска видно, что главный и вторичный минимумы имеют также практически одинаковую глубину и составляют около  $0.7^m$ , то есть видимая яркость системы уменьшается в 2 раза. Следовательно, затмения в системе практически полные, а входящие в систему звезды – почти одинаковые, иначе глубина, по крайней мере, одного минимума была бы меньше  $0.7^m$ . Понятно также, что наблюдатель находится в плоскости орбит звезд.

Вид кривых лучевой скорости системы указывает, что массы звезд также одинаковы с точностью до 10%, их орбиты фактически совпадают. Орбитальная скорость звезд  $v$  есть амплитуда синусоидальных колебаний лучевой скорости, она составляет 75 км/с. Зная орбитальный период системы  $T$ , получаем величину радиуса орбит звезд:

$$R = vT/2\pi.$$

Радиус составляет всего 1.3 млн км, что меньше 0.01 а.е. Запишем уравнение закона всемирного тяготения для этих звезд:

$$\frac{GM^2}{4R^2} = \frac{Mv^2}{R}.$$

Здесь  $M$  – масса каждой из звезд. Она равна

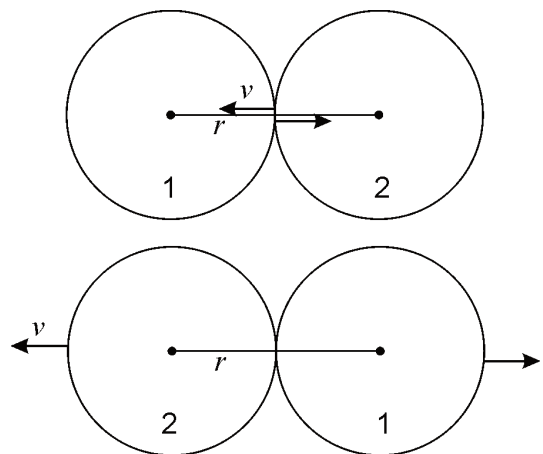
$$M = \frac{4v^2 R}{G} = \frac{2v^3 T}{\pi G}.$$

Численное значение массы составляет  $4.4 \cdot 10^{29}$  кг или 0.22 массы Солнца. По кривой блеска видим, что его длительность обоих минимумов  $t$  составляет 0.04 от орбитального периода  $T$ . Во время минимумов звезды движутся на небе навстречу друг другу, в начале и конце затмения их диски касаются друг друга. Длительность затмения составляет

$$t = 4r/2v = 2r/v.$$

Отсюда мы получаем, что радиус каждой из звезд  $r$  равен  $vt/2$  или 150 тысяч км (0.22 радиуса Солнца). Средняя плотность звезд равна

$$\rho = \frac{3M}{4\pi r^3} = 3 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3.$$



# Х. 3

## РОССИЙСКО-БЕЛОРУССКАЯ КОМЕТА

О.С. Угольников

**?** 21 сентября 2012 года Виталий Невский (Белоруссия) и Артем Новичонок (Россия) с помощью 40-см рефлектора Международной научной оптической сети (International Scientific Optical Network, ISON) рядом с Кисловодском открыли новую комету, получившую обозначение C/2012 S1 (ISON). Комета была также найдена на более ранних снимках декабря 2011 и января 2012 года. В таблице даны измеренные значения блеска кометы в различные моменты времени (усредненные по нескольким наблюдениям) в течение одного года, а также расстояния до Земли и Солнца в это время. Считая, что зависимость светимости кометы от расстояния до Солнца  $r$  близка к  $r^{-4}$ , оцените ее блеск в день перигелия 28 ноября 2013 года, когда она окажется в 0.0125 а.е. от Солнца. Какой максимальный блеск может иметь эта комета при наблюдении на темном небе до и после перигелия (погружение Солнца под горизонт более  $18^\circ$ )?

Дата	Расстояние от Земли, $d$	Расстояние от Солнца, $r$	Блеск, $m$
	а.е.	а.е.	
28 декабря 2011	7.738	8.673	19.7
21 января 2012	7.491	8.415	20.2
21 сентября 2012	6.732	6.288	18.2
1 октября 2012	6.479	6.191	17.8
27 октября 2012	5.810	5.940	17.1
3 ноября 2012	5.622	5.870	16.9
1 декабря 2012	4.911	5.585	16.4
8 декабря 2012	4.753	5.513	16.3
4 января 2013	4.256	5.219	15.6

**!** Яркость кометы при наблюдении с Земли выражается формулой:

$$J = J_0 d^{-2} r^{-4},$$

где  $J_0$  – некоторая постоянная или медленно меняющаяся величина, определяемая физическими свойствами кометы,  $d$  – расстояние от кометы до Земли,  $r$  – расстояние от кометы до Солнца (оба расстояния выражены в астрономических единицах). Применяя формулу Погсона, получаем выражение для звездной величины кометы:

$$m = m_0 + 10 \lg r + 5 \lg d.$$

Здесь  $m_0$  – величина, называемая абсолютной звездной величиной кометы. Она может несколько изменяться по ходу движения кометы, что и создает неопределенность прогнозов блеска комет. Эту величину можно определить для каждого наблюдения:

Дата	$m_0$
28 декабря 2011	5.9
21 января 2012	6.6
21 сентября 2012	6.1
1 октября 2012	5.8
27 октября 2012	5.5
3 ноября 2012	5.5
1 декабря 2012	5.5
8 декабря 2012	5.5
4 января 2013	5.3

Мы видим, что абсолютная звездная величина кометы действительно медленно меняется, причем в начале 2013 года яркость кометы нарастала быстрее прогноза. Для определения блеска кометы в эпоху перигелия возьмем величину  $m_0$ , равную 5.5 – это значение дается наибольшим числом наблюдений, когда комета была уже достаточно ярка, и точность измерения блеска улучшилась.

Если комета подходит к Солнцу на расстояние существенно меньшее 1 а.е., то расстояние от нее до Земли будет примерно равно 1 а.е., а его логарифм, входящий в формулу для блеска кометы, обращается в ноль. Вычислим звездную величину кометы в момент ее перигелия (расстояние от Солнца  $r_p$ ):

$$m_p = m_0 + 10 \lg r_p = -13.5.$$

Комета ISON может стать ярчайшей кометой столетия! Правда, такую большую яркость она будет иметь только непосредственно в перигелии, располагаясь менее чем в двух радиусах Солнца от поверхности светила. На небе она будет менее чем в градусе от Солнца. Чтобы определить максимальный блеск кометы на темном небе, учтем, что для этого она должна отойти от Солнца на угол  $\gamma$  (не менее  $18^\circ$ ). Ее расстояние от Солнца, выраженное в астрономических единицах, должно быть не меньше  $\sin \gamma = 0.3$ . Считая расстояние до Земли вновь равным 1 а.е., получаем значение блеска:

$$m_N = m_0 + 10 \lg (\sin \gamma) \sim 0.$$