



10 класс

X. 1

СОЛНЕЧНЫЕ ЧАСЫ

А.Н. Акинъчиков

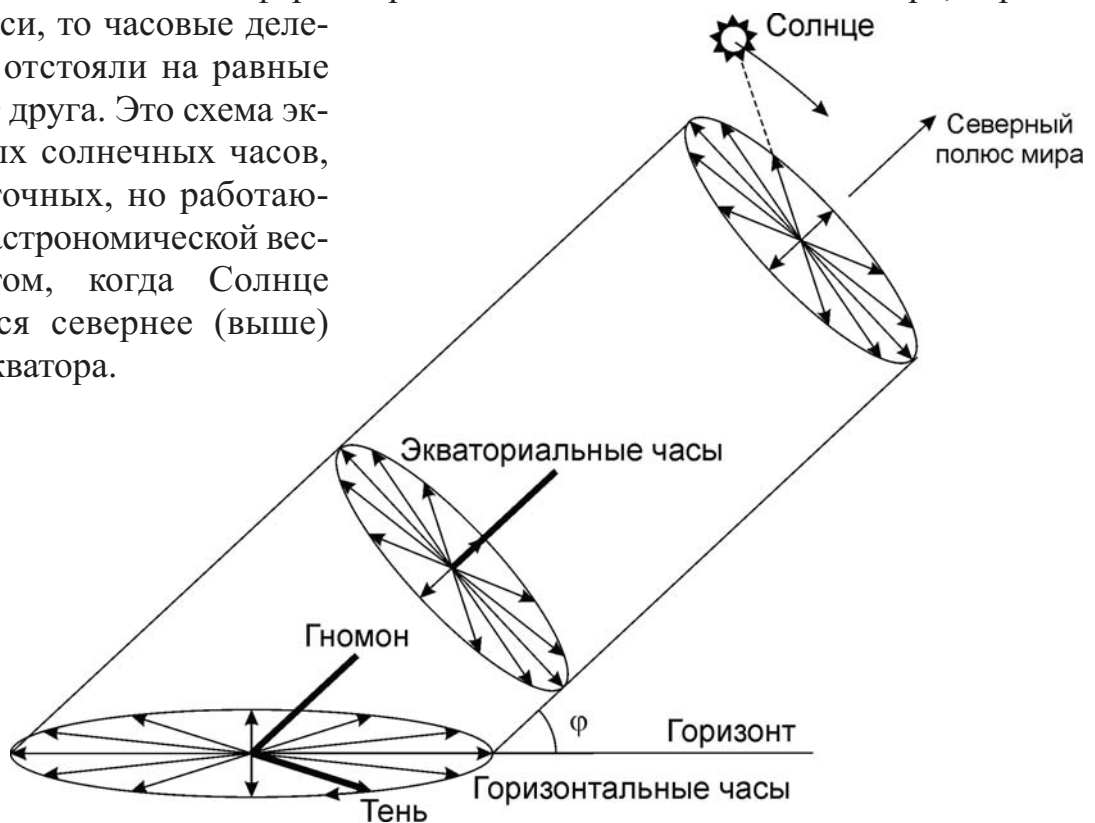
? Во Владивостоке (43° с.ш., 132° в.д.) решили построить большие горизонтальные солнечные часы с неподвижным гномоном, которые показывали бы наиболее точное (по возможности) время днем в ясную погоду в любой сезон года. Нарисуйте, каким должен быть циферблат этих часов по отношению к сторонам горизонта. Время во Владивостоке опережает московское на 7 часов.

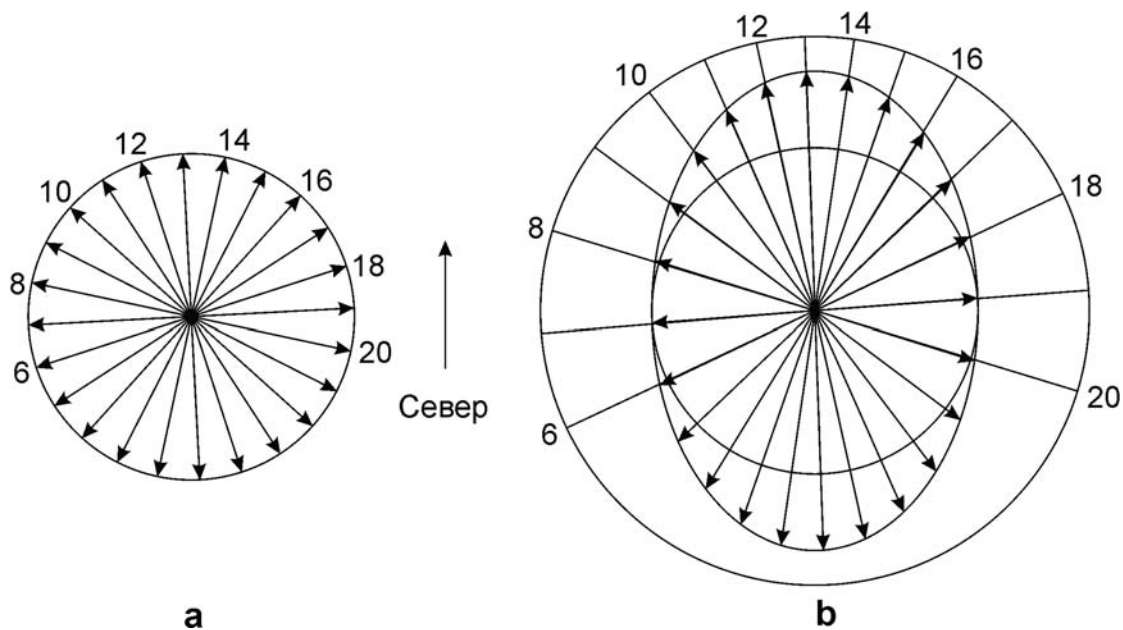
! Для начала вычислим, какое время во Владивостоке будет полуденным. По Всемирному времени это соответствует:

$$UT = 12^{\text{ч}} - \lambda = 03^{\text{ч}}12^{\text{м}}.$$

Время на часах жителей Владивостока есть московское время плюс 7 часов, то есть, Всемирное время плюс 10 часов. В итоге, средний солнечный полдень наступает во Владивостоке в $13^{\text{ч}}12^{\text{м}}$. Мы не учитываем уравнение времени и не вычисляем момент истинного солнечного полудня, так как оно постоянно меняется в пределах ± 15 -16 минут, а часы рассчитаны на работу в течение всего года.

Для того, чтобы часы работали более-менее точно в любой сезон, их ось должна быть направлена не в зенит, а в Северный полюс мира. В этом случае Солнце в ходе своего видимого суточного движения будет равномерно вращаться вокруг этой оси. Если бы циферблат располагался в плоскости экватора, перпендикулярно оси, то часовые деления там бы отстояли на равные углы друг от друга. Это схема экваториальных солнечных часов, простых и точных, но работающих только астрономической весной и летом, когда Солнце располагается севернее (выше) небесного экватора.





В случае горизонтальных часов равномерный циферблат экваториальных часов отображается на горизонтальную плоскость (см. рисунок слева). Это приводит к искажению циферблата – растяжению его в направлении "север-юг" в $K=(1/\sin\varphi)$ раз, где φ – широта места. В случае Владивостока (широта 43°) величина K составляет 1.47.

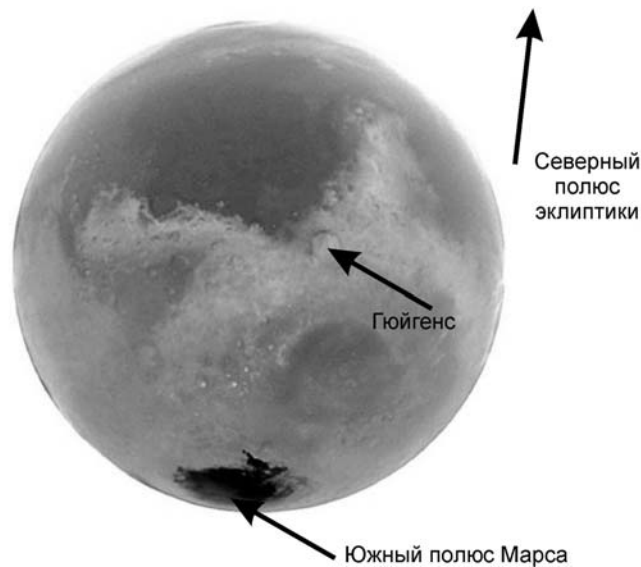
Теперь становится ясной процедура построения циферблата. Вначале изображаем круглый циферблат, у которого направление на север будет на 12 минут (3 градуса) правее деления 13 часов (модель "а" на рисунке сверху). Так мы добиваемся правильного отображения полудня для Владивостока.

Далее мы растягиваем этот циферблат в 1.47 раз в направлении "север-юг". Полученный эллиптический циферблат уже можно использовать в горизонтальных часах во Владивостоке. При желании его можно сделать также круглым, продолжая отрезки, соответствующие определенным делениям часов, до пересечения с окружностью нужного радиуса (модель "b" на рисунке). Однако, шкала на этом круге уже не будет равномерной. Деления, соответствующие ночи для любого сезона во Владивостоке, наносить нет смысла, так как ночью солнечные часы работать не могут.

Х. 2 МАРСИАНСКИЙ ЛОКАТОР

О.С. Угольников

? Ученые создали супер-мощную лазерную установку для локации поверхности Марса непосредственно с южного полюса Земли. Отметьте на рисунке (на обороте, негатив) точку, в которую нужно направить лазерный луч, чтобы изучить область кратера Гюйгенс. Марс находится в великом противостоянии с Землей, на рисунке указаны южный полюс Марса и направление на северный полюс эклиптики в момент проведения эксперимента. Наклоном орбиты Марса к эклиптике пренебречь. Считать луч лазера очень узким, атмосферные помехи не учитывать. Орбиту Земли считать круговой.



В момент великого противостояния Марс повернут к Земле своим дневным полушарием, причем к Солнцу и Земле обращен южный полюс планеты. Проведем диаметр через южный полюс Марса и центр его видимого диска. Обратим внимание, что эта линия оказывается параллельной направлению на Северный полюс эклиптики.

Кратер Гюйгенс располагается правее и немного выше середины диска Марса. С учетом того, что Марс обращен к Земле южным полюсом, можем сделать вывод, что Гюйгенс располагается вблизи экватора Марса. Он также расположен недалеко от полуденной линии, и в момент эксперимента за счет осевого движения Марса будет двигаться практически перпендикулярно этой линии слева направо. Скорость этого движения будет равна

$$v = \frac{2\pi R}{T} = 240 \text{ м/с.}$$

Осевое вращение самой Земли на картину не влияет, так как локатор находится на южном полюсе Земли. Кроме этого, Марс движется в пространстве относительно Земли. В противостоянии это движение попятное и на рисунке оно тоже будет направлено слева направо. Так как мы пренебрегаем наклоном орбиты Марса к эклиптике, то это движение будет происходить перпендикулярно направлению на Северный полюс эклиптики, то есть вдоль той же самой линии, что и движение кратера Гюйгенс за счет осевого вращения Марса. Скорость этого движения есть разность орбитальных скоростей Земли и Марса. Учтем, что Марс находится в великом противостоянии, то есть в перигелии своей орбиты:

$$V = u_E - u_M = \sqrt{\frac{GM}{a_E}} - \sqrt{\frac{GM}{a_M} \cdot \frac{1+e}{1-e}} = u_E \left(1 - \sqrt{\frac{a_E}{a_M} \cdot \frac{1+e}{1-e}} \right) = 3.3 \text{ км/с.}$$

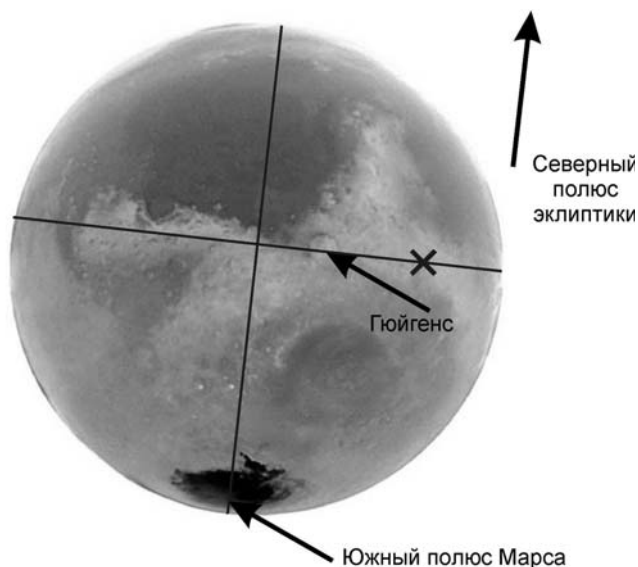
Здесь u_E и u_M – орбитальные скорости Земли и Марса, a_E и a_M – большие полуоси орбит этих планет, e – эксцентриситет орбиты Марса, M – масса Солнца. Полученная скорость значительно больше, и именно орбитальное движение планет внесет основную поправку в смещение Марса за период локации. Определим время, за которое лазерный луч достигнет Марса:

$$\tau = \frac{a_M(1-e) - a_E}{c} = 190 \text{ сек.}$$

За это время кратер Гюйгенс сместится вправо на расстояние

$$L = (V + v) \tau = 670 \text{ км}$$

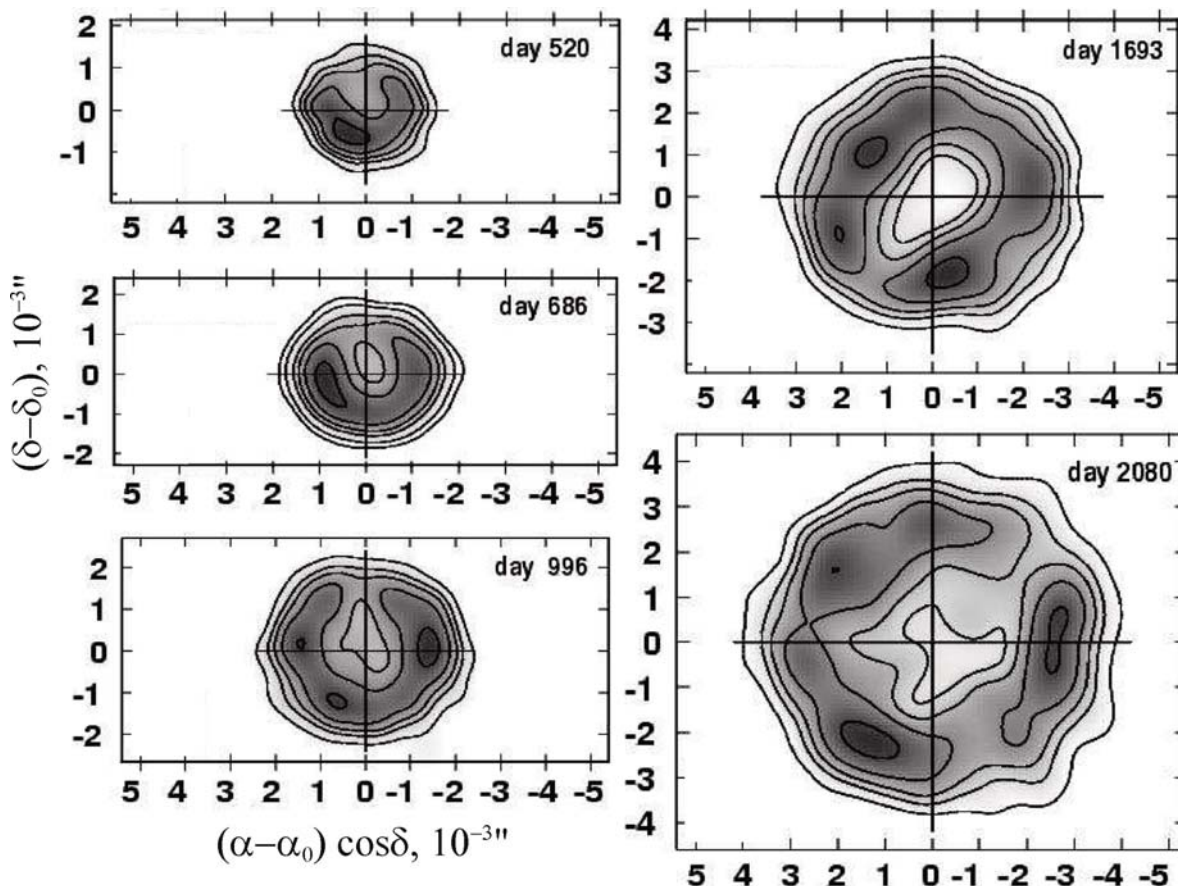
или 0.2 радиуса Марса. Учтем, что свет от Марса до Земли идет то же время, и в момент наблюдений он сам сместится на то же расстояние. В итоге, точка, в которую должен быть направлен лазерный импульс, смещена на расстояние $2L$ и помечена на рисунке крестиком.



Х. 3 СВЕРХНОВАЯ В БЛИЗКОЙ ГАЛАКТИКЕ

Е.Н. Фадеев

? В некоторой галактике вспыхнула сверхновая звезда. В таблице (на обороте) вам даны значения лучевых скоростей, соответствующие краям линии H_α (6563 \AA) в спектре сверхновой. На рисунках даны радиокарты оболочки сверхновой (единицы – миллисекунды дуги). Считая расширение оболочки сферически симметричным, определите расстояние до галактики.



XXII Всероссийская олимпиада школьников по астрономии

| Дни после вспышки | Фиолетовое смещение, км/с | Красное смещение, км/с |
|-------------------|------------------------------|---------------------------|
| 553 | -10700 | 10500 |
| 670 | -10500 | 10500 |
| 976 | -10200 | 9600 |
| 1766 | -9600 | 9300 |
| 2028 | -9000 | 7600 |

Поскольку сверхновая вспыхнула в некоторой галактике, расстояние до нее равно расстоянию до галактики. Раз нам известно фиолетовое или красное смещение остатка фрагментов остатка сверхновой, мы можем определить лучевую скорость, с которой данный фрагмент остатка летит на нас или от нас. Из таблицы видно, что фиолетовое смещение всегда больше, чем красное. Это следствие того, что сверхновая как целое приближается к нам. Поскольку оболочка сохранила свою симметричность, будем считать, что во все стороны она расширяется одинаково.

Вычислим для каждого указанного дня значение скорости разлета оболочки, а также значение скорости самой оболочки.

| Дни после вспышки | Скорость оболочки, км/с | Скорость расширения оболочки, км/с | Угловой размер оболочки, $10^{-3}''$ | Скорость расширения, $10^{-6}''/\text{день}$ |
|-------------------|----------------------------|---------------------------------------|---|---|
| 520 | | | 1.5 | – |
| 553 | -100 | 10600 | | |
| 670 | 0 | 10500 | | |
| 686 | | | 2 | 3.0 |
| 976 | -300 | 9900 | | |
| 996 | | | 2.3 | 0.97 |
| 1693 | | | 3 | 1.0 |
| 1766 | -150 | 9450 | | |
| 2028 | -700 | 8300 | | |
| 2080 | | | 4 | 2.5 |

Как мы можем заметить, скорость оболочки сильно меняется, хотя естественно ожидать, что она меняться не должна. Точно так же, измерив размеры оболочки, мы получаем разные скорости ее расширения. Все это связано с большой погрешностью измерений как лучевых скоростей, так и размеров оболочки.

Расширение в картинной плоскости будет происходить с той же скоростью $v_t = v_r = v$. За время t оболочка расширится на vt , а ее угловой размер увеличится на $\Delta\theta = \mu t$, где μ – угловая скорость расширения оболочки. Мы можем определить среднюю угловую скорость расширения оболочки на промежутке от 520 до 2080 дня. Она составит $1.6 \cdot 10^{-6}$ угловых секунд в день ($7.8 \cdot 10^{-12}$ радиан в день или $9.0 \cdot 10^{-17} \text{ с}^{-1}$).

Осталось найти расстояние до центра оболочки D . Поскольку величины θ и $\Delta\theta$ экстремально малы, то:

$$x + vt = D \operatorname{tg}(\theta + \mu t) = D(\theta + \mu t).$$

Для начального момента исследуемого интервала (553 день) $x = D\theta$. Вычитая это равенство из предыдущей формулы, имеем:

$$vt = D\mu t.$$

Средняя пространственная скорость расширения оболочки v равна 9750 км/с. Из этого имеем

$$D = \frac{v}{\mu} = 1.1 \cdot 10^{20} \text{ км} = 3.5 \text{ Мпк}.$$

Приведенные данные относятся к Сверхновой $SN1993J$ в галактике M81.

