

Методическое пособие по сборке астрольбии и солнечных часов своими руками

————— ☾ —————
Для учителей астрономии и их учеников



В данном пособии вы найдёте...

Краткую историческую сводку по астролябии и солнечным часам

Обзор функционала приборов

Подробную инструкцию к сборке астролябии своими руками с нуля

Инструкцию по сборке астролябии с помощью готовых шаблонов

Сами шаблоны

Инструкцию по сборке настенных солнечных часов

Шаблон формул для расчета конструкции солнечных часов

Инструкцию по проверке работоспособности собранных моделей

Автор-разработчик пособия:

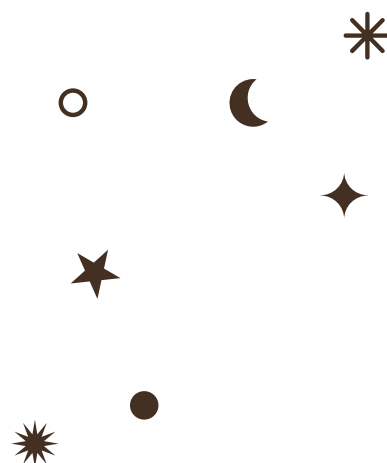
Перлов А.А.

Что такое астролябия?

Астролябии — это сложные астрономические приборы, сочетающие в себе механическую модель вращения небесной сферы с простым прицелом, который можно использовать для наблюдения за высотой объектов над горизонтом.

Способы применения астролябии

1. Определение положения Солнца на эклиптике для заданной даты
2. Определение высоты светила над горизонтом
3. **Определение времени восхода Солнца и точки на горизонте**
4. Определение времени по высоте Солнца над горизонтом
5. **Определение времени по звёздам**
6. Вид звёздного неба в заданное время/дату



Вариант сборки с нуля

- Собрать астролябию можно и самостоятельно, только это потребует больше времени и навыков построения углов, заданной величины.
- **Тарелка.** Основа астролябии – это тарелка, чем больше размеры, тем выше точность. По внешнему краю тарелки нужно нанести шкалу углов и, при желании, шкалу дат, что позволит увеличить функциональность прибора.
- **Паук.** На лицевой стороне, которая выполняет роль планисферы, необходимо разметить паука. Самое главное на пауке - верно разметить линию горизонта, которая должна соответствовать географической широте местности. В продвинутой версии можно сделать индикаторы путеводных звёзд. Тимпан можно отрисовать самостоятельно, либо распечатать подходящий по размеру. В универсальной конструкции можно сделать несколько тимпанов (Северное и Южное полушарие). Линейка может быть неградуированной или с условным масштабом, в большинстве простых операций она нужна для совмещения точек пересечения линий и круговой шкалы даты.
- **Обратная сторона** астролябии обязательно имеет круговую шкалу градусной меры, на которой мы будем ориентироваться с помощью алидады – линейка указатель с визирами. В нашей астролябии мы решили повысить точность измерения высоты над горизонтом до десятых градуса за счет шкалы нониуса.



Сборка астрольбии по шаблону

01

Загрузка шаблонов

Все шаблоны можно найти на сайте

In-the-sky.org

Шаблоны являются интеллектуальной собственностью Доминика Форда

02

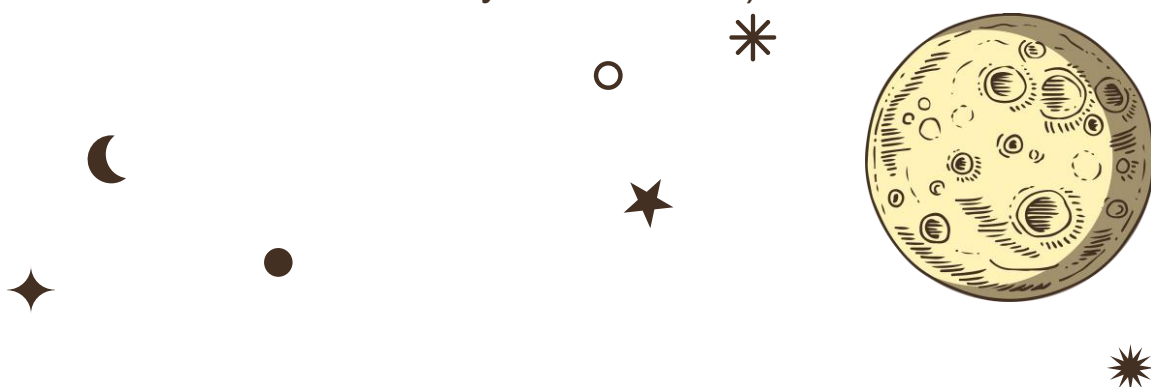
Печать элементов

Распечатайте все элементы на бумаге или тонком картоне. Карту звёздного неба следует распечатать на ацетатной прозрачной плёнке (или же перерисовать на прозрачный тонкий пластик)

03

Вырезаем и клеим

Вырежьте переднюю и заднюю стороны корпуса и приклейте их встык (можно приклеить на заранее вырезанную форму из картона, чтобы придать конструкции большую жесткость).



Сборка астролябии по шаблону

04

Добавим небо

Поместите напечатанную (или нарисованную) на прозрачном пластике карту звёздного неба на переднюю часть астролябии.

05

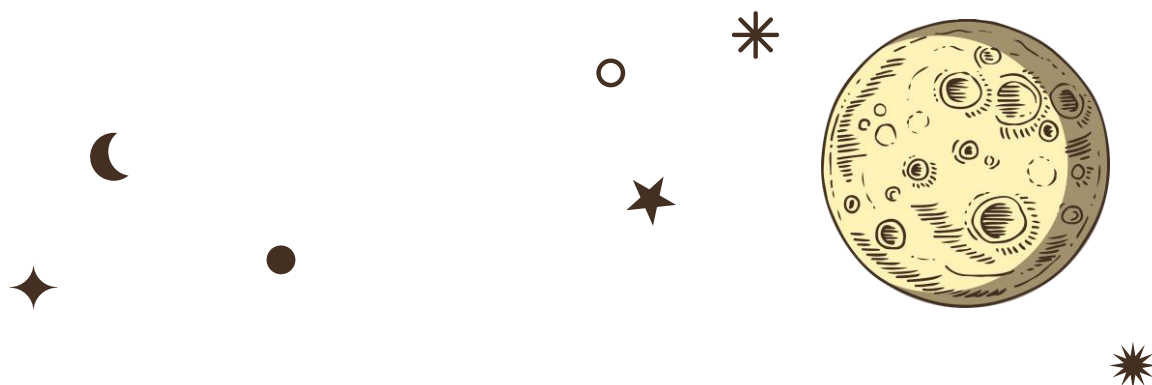
Измерительные элементы

Вырежьте линейку и алидаду. Линейку нужно разместить поверх сетки на передней части астролябии. Алидаду нужно разместить на задней части астролябии.

06

Финальный шаг

Теперь все части астролябии нужно соединить с помощью штифтового крепления.





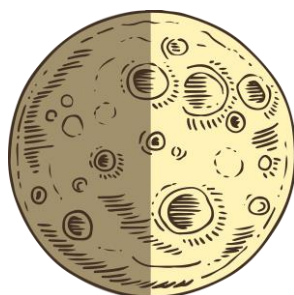
Поверка



1. Вращением карты звёздного неба соединить эклиптику и линию горизонта. Линейкой определить время восхода и сравнить с реальным утренним наблюдением.



2. Измерить высоту Полярной звезды над горизонтом с помощью алидады на задней стороне астролябии и сравнить с географической широтой местности, где ведётся наблюдение.

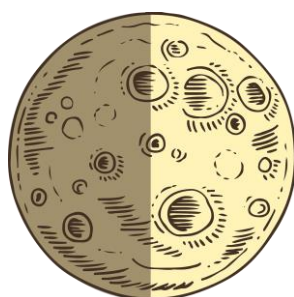




Операции с астролябией



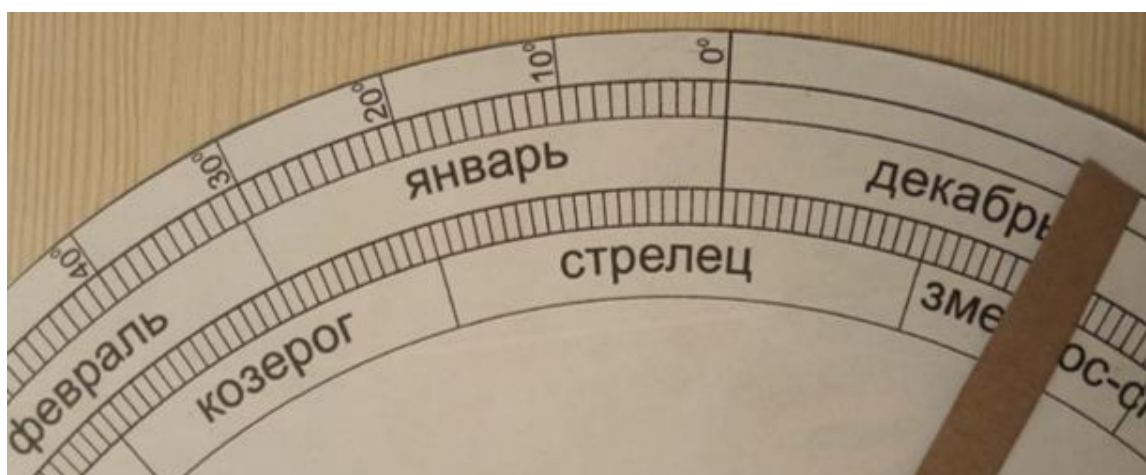
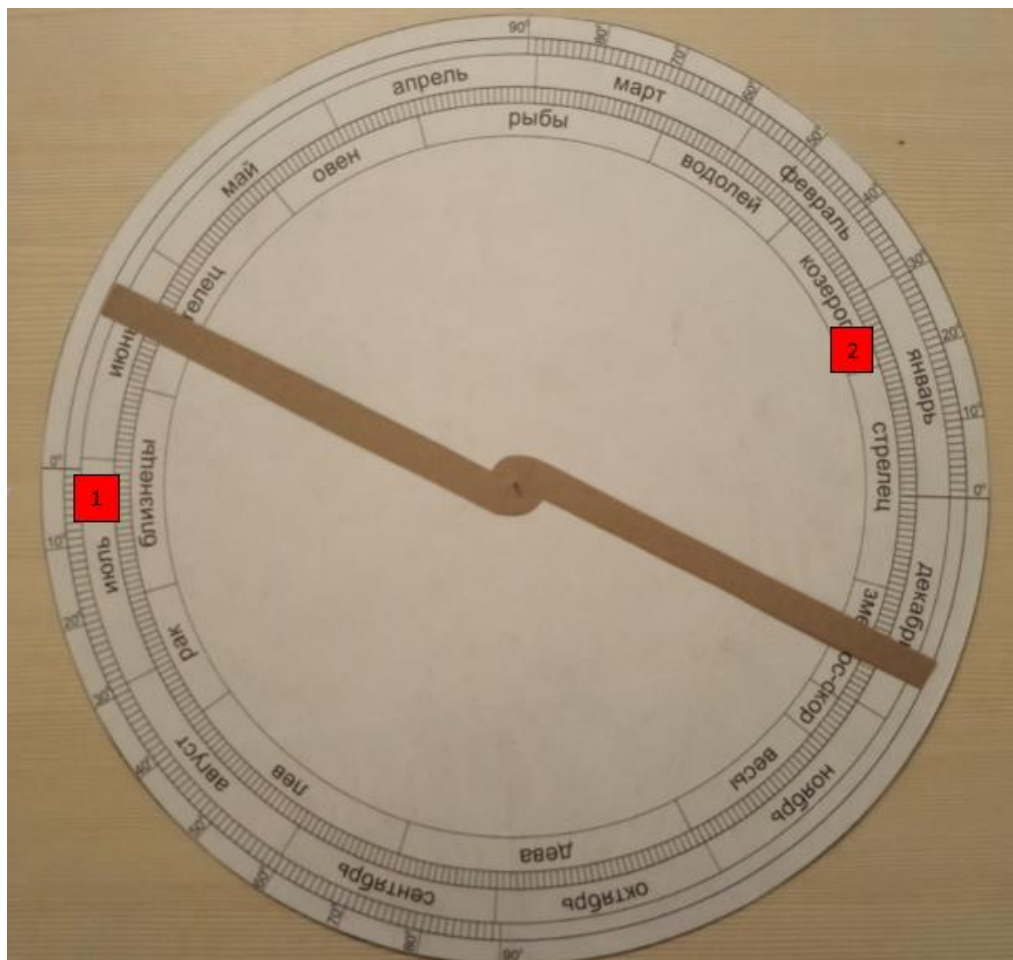
1. Определение положения Солнца на эклиптике для заданной даты
2. Определение высоты Солнца/звезды над горизонтом
3. Определение времени восхода Солнца и точки на горизонте, в которой Солнце пересечет линию горизонта
4. Определение времени по высоте Солнца над горизонтом
5. Определение времени по звездам



Определение положения Солнца на эклиптике для заданной даты



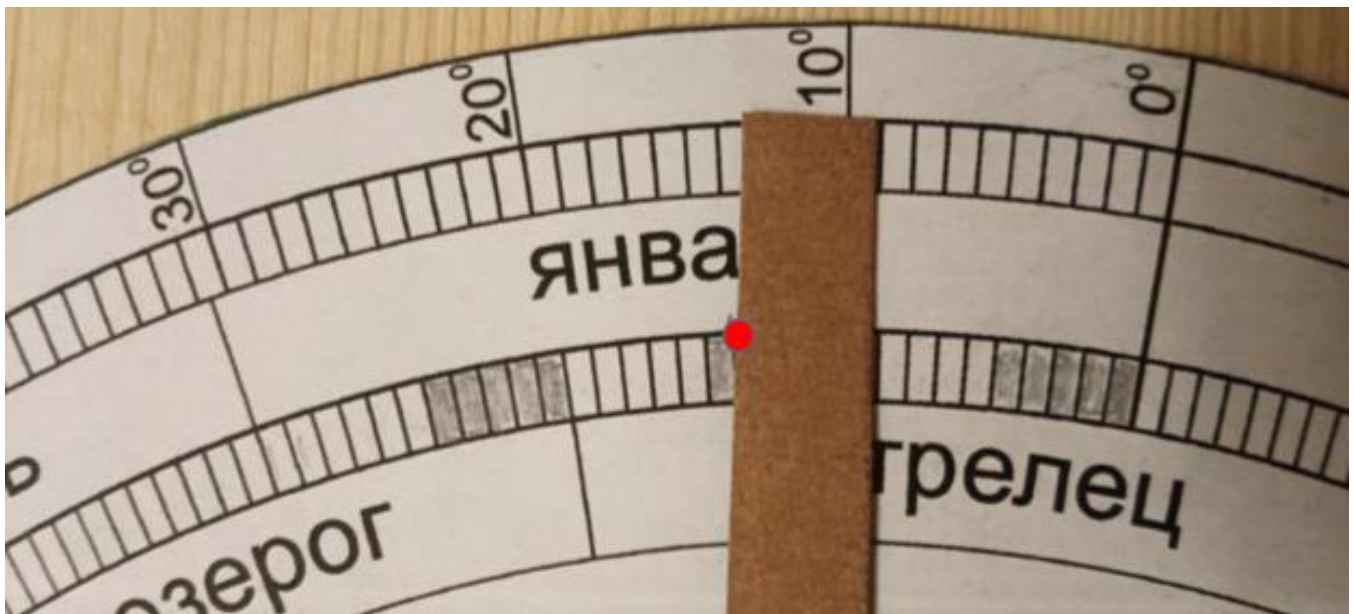
Это базовая операция, без которой любые операции по определению времени невозможны. Взглянем на обратную сторону астрольбии:





•Находим нужную нам дату на кольце календаря. Вращая алидаду, подводим ее к этой дате и читаем на зодиакальном кольце в каком созвездии и на каком положении находится Солнце в этот день.

•Следует отметить, что на многих астролябиях не учитывается эксцентриситет орбиты Земли - календарь и кольцо эклиптики концентричны. Это вносит незначительную погрешность в вычисления, но подавляющее большинство астролябий изготавливалось именно так, с концентрически расположенными календарем и кольцом эклиптики.



•Из примера на фото: 14-му января соответствует положение

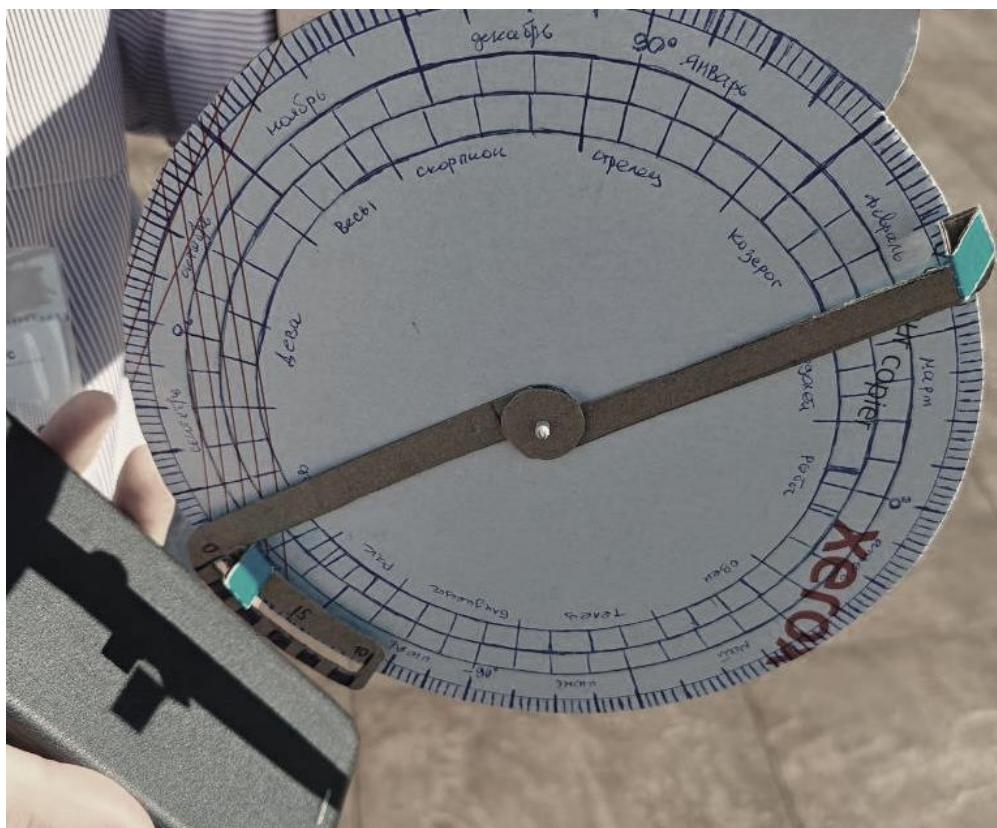
Определение высоты Солнца/звезды над горизонтом



Необходимо подвесить астрольбию за кольцо, так чтобы она свободно висела. Теперь обращаем внимание на оборотную сторону астрольбии и вращаем алидаду так, чтобы искомый объект был виден в щель между визирами.

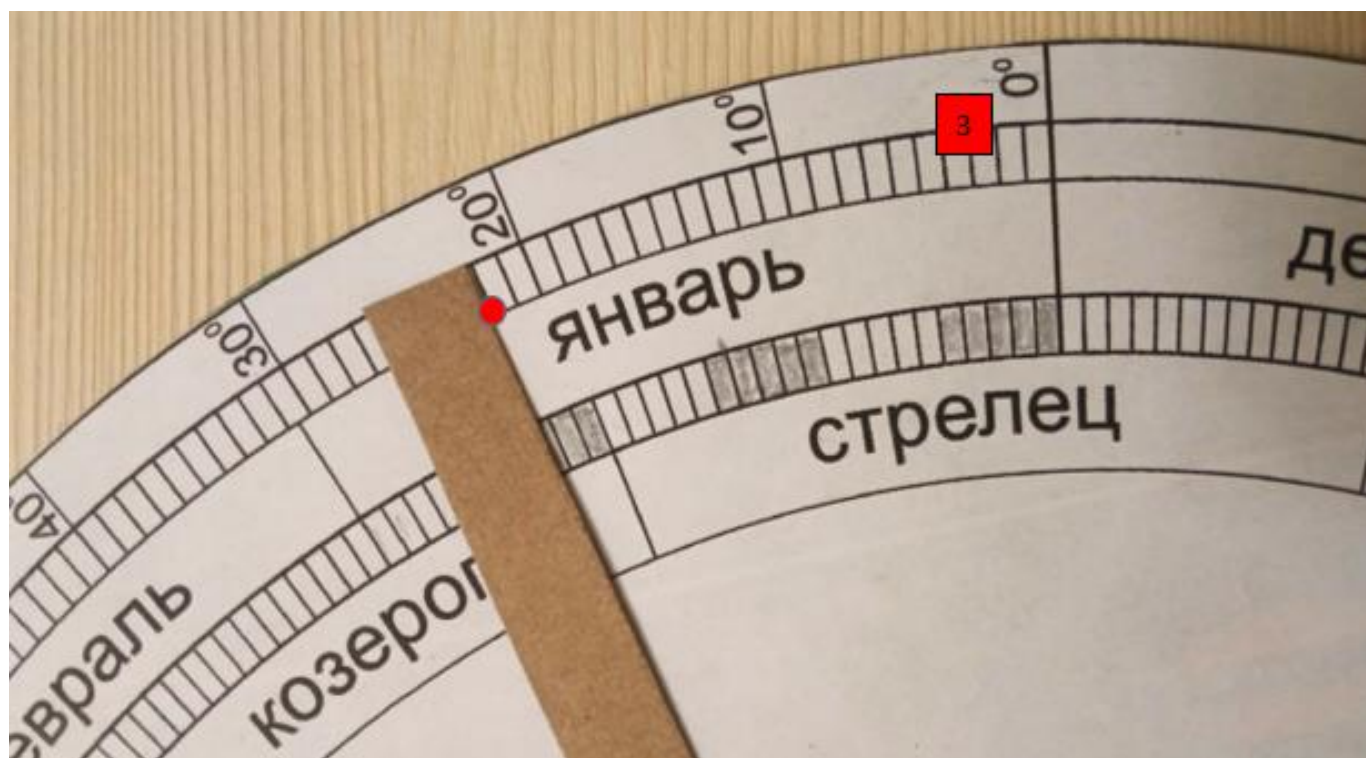
ОСТОРОЖНО! Ни в коем случае не смотрите прямо сквозь визирь на Солнце!

Для определения высоты Солнца лучше смотреть на то, как изменяется луч света при прохождении между визирами. Вращаем алидаду так, чтобы луч света, проходящий между визирами, превратился в тонкую щелочку. Также можно наблюдать за тенью визиров, как на фото ниже.

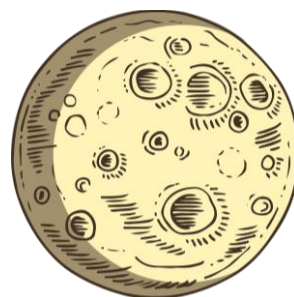
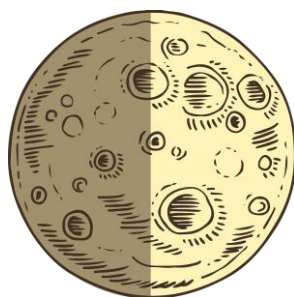




• Если вы смотрите на звезду - то щель между визирами, в которую видно звезду, должна быть минимальна. Читаем показания на угломерной шкале (3), куда указывает алидада.



• Из примера на фото: высота Солнца составляет 22°

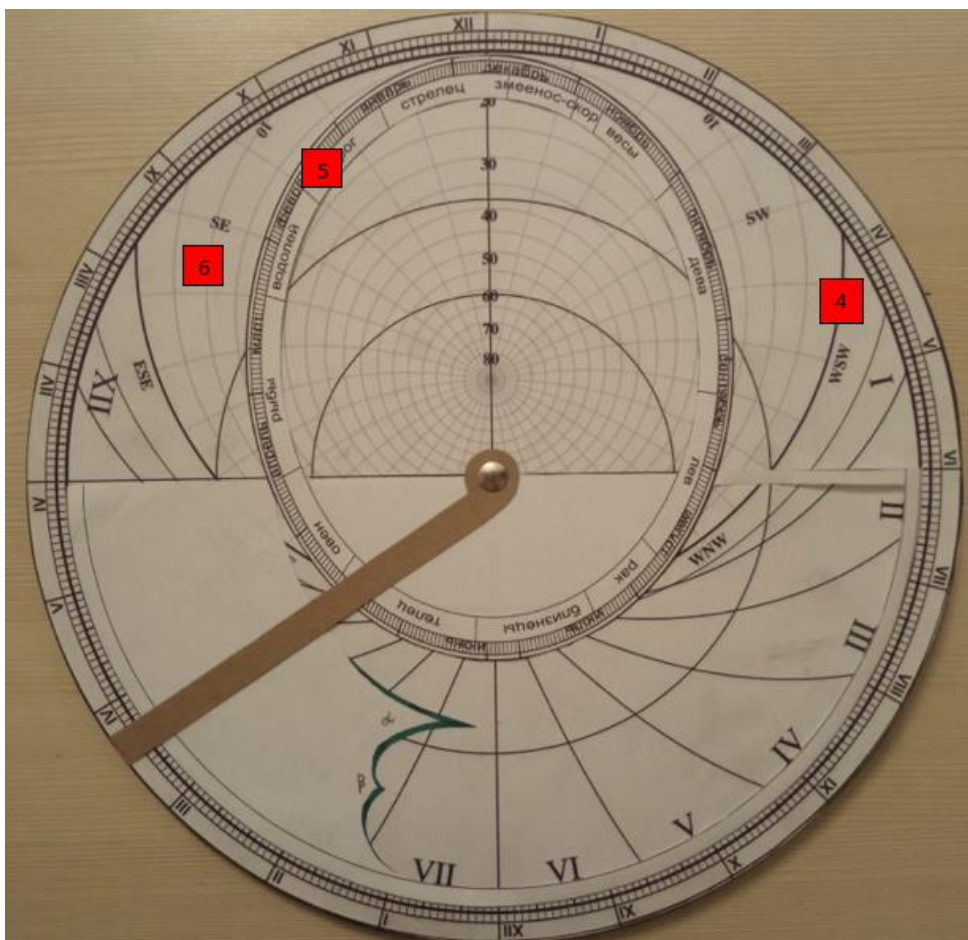


Определение времени восхода Солнца и точки на горизонте, в которой Солнце пересечет линию горизонта



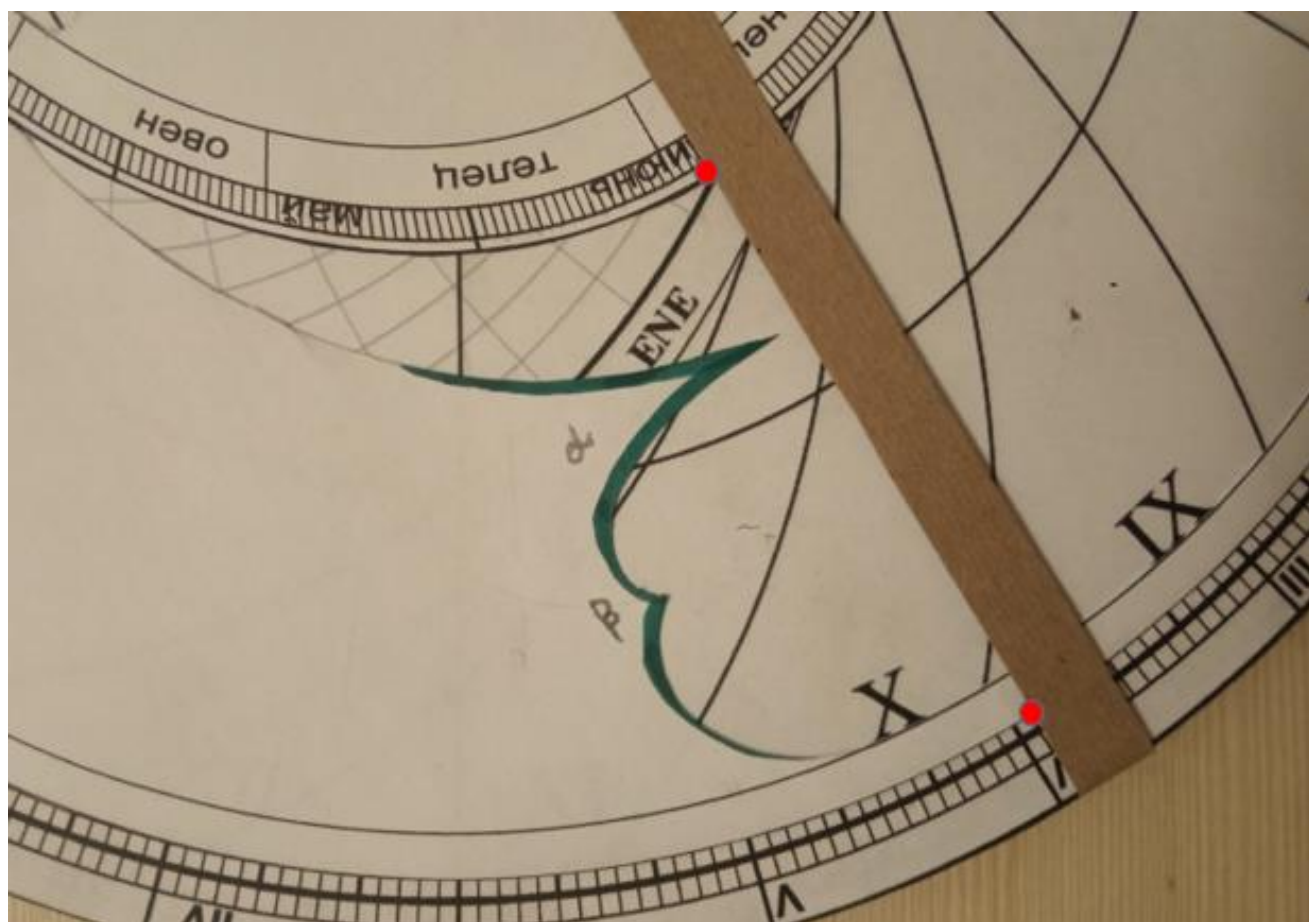
Первые две операции являются вспомогательными для более сложных вычислений, таких как определение времени восхода (заката) Солнца, местного времени по Солнцу и звездам. Для этих операций вы должны уверенно определять положение Солнца на эклиптике.

На лицевой стороне астролябии нам необходимо найти линию горизонта (4) на тимпане и кольцо эклиптики (5) на пауке. Линия горизонта — это жирная линия, в которую упираются азимутальные дуги. Нас будет интересовать восточная половина неба (6).



•Итак, допустим, что интересующая вас дата - 22 июня, и Солнце в этот день находится в созвездии Близнецов (смотри инструкцию к операции 1). Теперь смоделируем с помощью астролябии момент восхода Солнца - момент, когда наше светило пересекает линию горизонта. Вращением паука совмещаем точку на эклиптике, соответствующую выбранной нами дате – 3 день в Близнецах с линией горизонта на восточной стороне тимпана.

•Далее поворачиваем линейку таким образом, чтобы ее край проходил через точку пересечения кольца эклиптики с горизонтом и читаем значение времени на лимбе, куда указывает линейка: 3 часа 50 минуты.



•Также вы можете определить азимут точки восхода Солнца. Отсчет азимута в азимутальной или иначе горизонтальной системе координат происходит от точки севера по часовой стрелке. Направление на север N – 0° , строго на восток E – 90° , на юг S – 180° и т.д. Азимутальные линии на тимпане нанесены на манер розы ветров с шагом 11.25 градуса. Видно, что Солнце взойдет на азимуте приблизительно 50° . Если вы захотите найти эту точку на горизонте с помощью компаса, не забудьте взять поправку на магнитное склонение для вашей местности.

•Следует помнить, что полученное значение времени - истинное солнечное время. В современном мире мы используем поясное время, которое связано со средним солнечным временем. Чтобы перевести полученное с помощью астролябии значение в привычное для нас местное солнечное время, необходимо учесть три поправки:

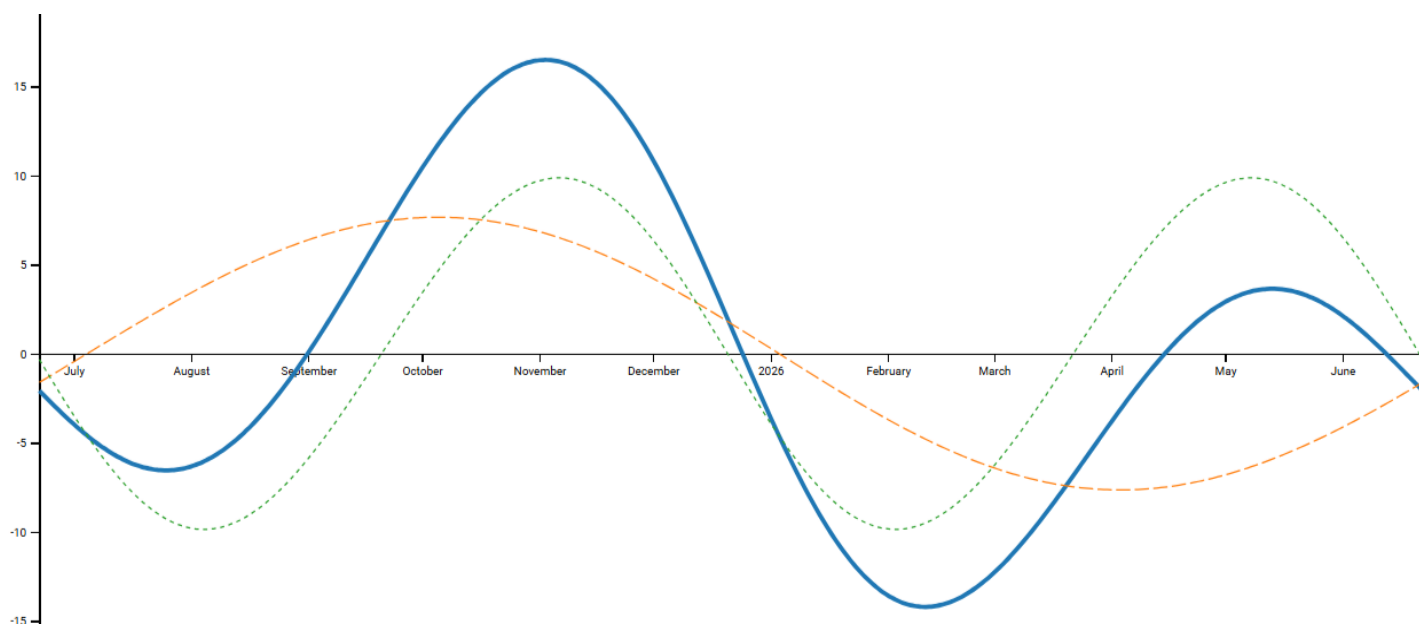
✦ поправка на зимнее/летнее время. К примеру, в Оренбурге, для которого сделана эта астролябия и который географически лежит в часовом поясе UTC+5, круглогодично используется зимнее время. Для зимнего времени поправка составляет +1 час.

✦ поправка на долготу. Рассчитывается для каждой астролябии отдельно при изготовлении и связана с удаленностью по долготе от границы часового пояса города, в котором вы планируете использовать астролябию.

•Часовые пояса расположены с шагом в 15° . Удаленность места наблюдения от границы пояса дает поправку в 4 минуты на каждый градус долготы. Для того же Оренбурга (55 градусов восточный долготы) поправка составляет + 40 минуты.

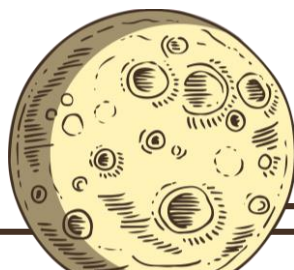
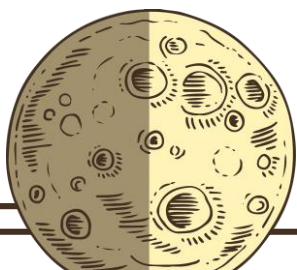


- ◆ поправка на уравнение времени. Вследствие орбитального движения Земли и наличия эксцентриситета наблюдается следующая зависимость данной поправки от времени года:



- Таким образом, для Оренбурга, для которого изготовлена астролябия, получим: 3 часа 50 мин. (определили астролябией) + 1 час (поправка на зимнее время) + 40 минуты (поправка на долготу) – 2 минуты (поправка на уравнение времени) = 5 часов 28 минут.

- Аналогично можно посчитать время заката и азимут точки на горизонте, в котором он произойдет, - для этого нужную точку на эклиптике совместить с линией горизонта на западной стороне тимпана.



Определение времени по высоте Солнца над горизонтом



Разобравшись с уравнением времени и работой паука, самое время попробовать определить местное время по положению Солнца в этот день.

С помощью планисферной астролябии это можно сделать как минимум двумя способами - в системе неравных часов и в системе привычных нам равных часов.

Итак, 12-го октября вы измерили высоту Солнца над горизонтом – 22° (см. операцию 2). Данная дата соответствует положению Солнца на эклиптике в созвездии Девы (см. операцию 1).

А теперь самый главный нюанс этого измерения - занимаетесь ли вы им до или после истинного солнечного полудня. Тут стоит оговорить, что это такое. В ходе своего дневного движения по небу Солнце описывает дугу, начинающуюся на восточной стороне горизонта и заканчивающуюся на западном.

Точно посередине этой дуги оно проходит над точкой направления на юг (если мы говорим про северное полушарие). Это случается, когда Солнце пересекает небесный меридиан. То есть меридиан, который проходит точно над вами через зенит. В этот момент Солнце кульминирует, т.е. имеет максимальную высоту над горизонтом для данного дня. В связи с тем, что мы используем поясную систему времени, момент наступления истинного солнечного полдня не совпадает с 12 часами дня по местному времени и зависит от

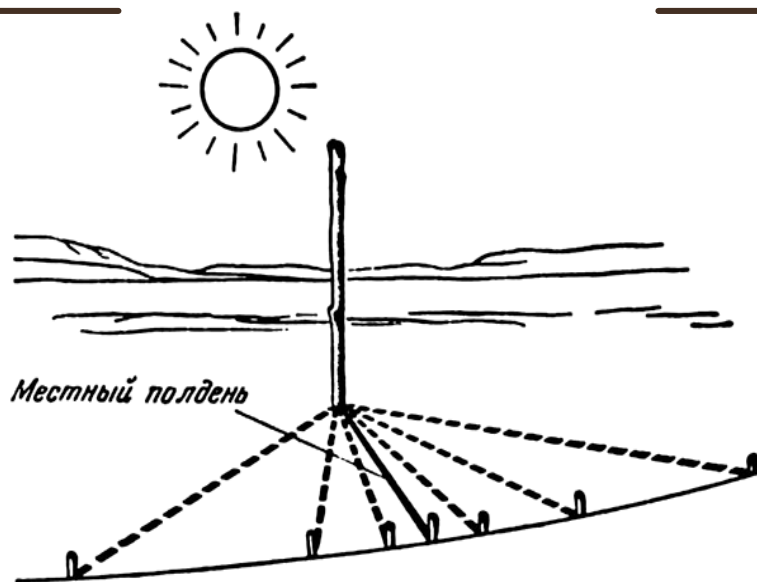
времени года.



•Чтобы определить наступление истинного солнечного полудня можно использовать очень доступный и простой в использовании инструмент - гномон. Строго вертикально установленный в землю шест превращается в самый древний астрономический инструмент - гномон, используемый со времен древней Месопотамии (4000 лет до н.э.). Так вот, если следить за тенью от гномона в течение дня, то в момент пересечения Солнцем небесного меридиана, в момент кульминации тень гномона будет короче всего. Это и будет момент истинного солнечного полудня. На этом принципе основан солнечный компас, использовавшийся вплоть до середины XX века.

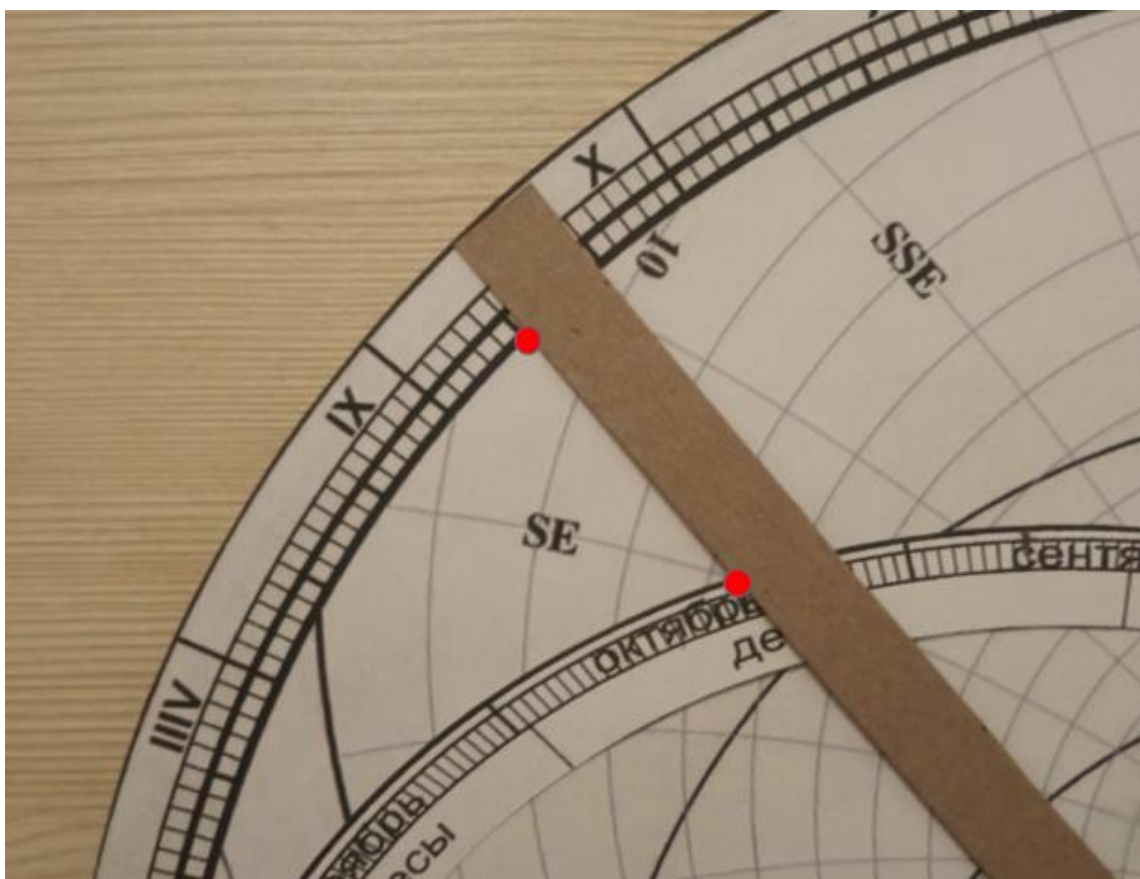
•Вернемся к нашим упражнениям с астролябией. Если у вас есть обычный компас, то вы можете оценить время наблюдений - до или после истинного солнечного полудня, просто измерив азимут направления на Солнце. Если он составит менее 180^0 (с учетом магнитного склонения), то вы проводите наблюдения до полудня. Озаботьтесь необходимым вспомогательным оборудованием (компасом) или наблюдениями (в случае использования гномона - рисунком его тени на земле, наглядно показывающим направление на юг) заранее.





• Данная картинка иллюстрирует, как изменяется тень от гномона в течение дня.

• В нашем случае азимут Солнца, определялся с помощью компаса и составил 130° , стало быть Солнце не пересекало меридиан в ходе суточного движения и дело происходит до полудня. Вращать паук необходимо так, чтобы точка на эклиптике была на восточной стороне неба.

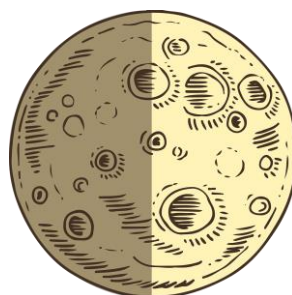




•Находим альмукантарат (один из кругов равной высоты), соответствующий высоте над горизонтом 20° . Ориентируясь на него, устанавливаем точку на кольце эклиптики паука, соответствующую 12 октября на 22° высоты. Поворачиваем линейку в эту точку и читаем показания на лимбе - 9 часов 20 минут.

•Применяем поправки на зимнее время, поправку на долготу и поправку на уравнение времени и получаем:

•9 часов 20 минут + 1 час + 40 минут + 14 минут = 11 часов 14 минут.



Определение времени по звёздам

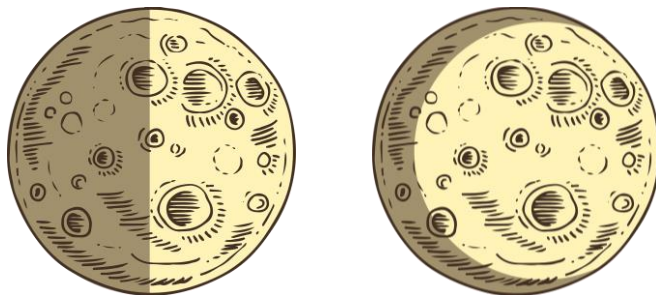


Самая сложная операция в этой статье. Но оно того стоит!

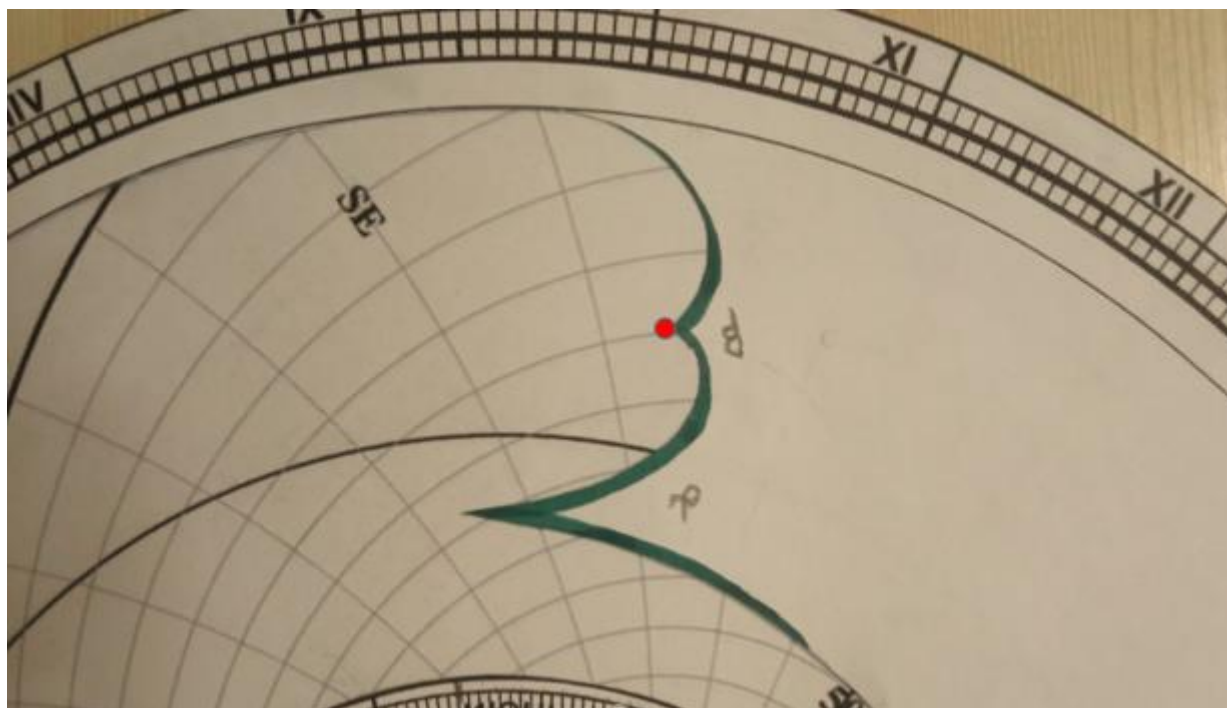
Определяем, что для 11 февраля Солнце находится в Козероге. Запоминаем это число, оно потребуется в самом конце операции. Нам необходимо найти две самые яркие звезды в созвездии Ориона (для зимнего периода). Одна из них находится в правом плече фигуры Ориона, она имеет красноватый цвет, видимый даже невооруженным взглядом - это Бетельгейзе, α Ориона. Вторая нужная нам звезда находится по диагонали от первой в трапециевидном каркасе созвездия - это β Ориона, Ригель.

Измерим высоту этих двух звезд над горизонтом уже известным нам способом (см. операцию 2) и получим для Ригеля 26^0 и 43^0 для Бетельгейзе.

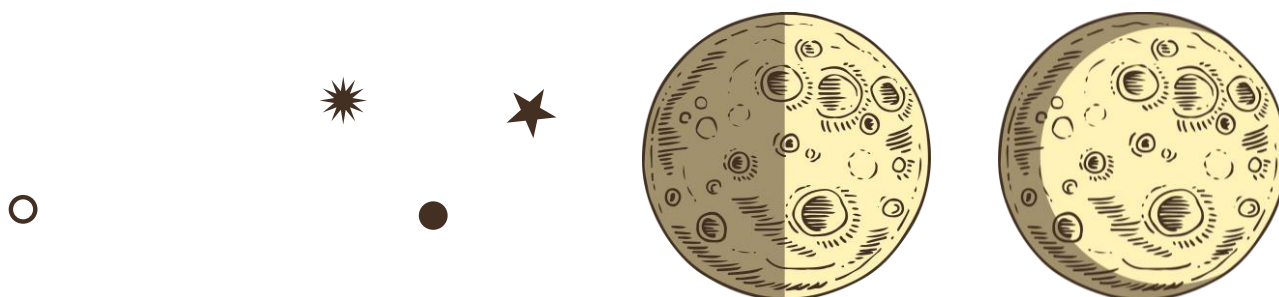
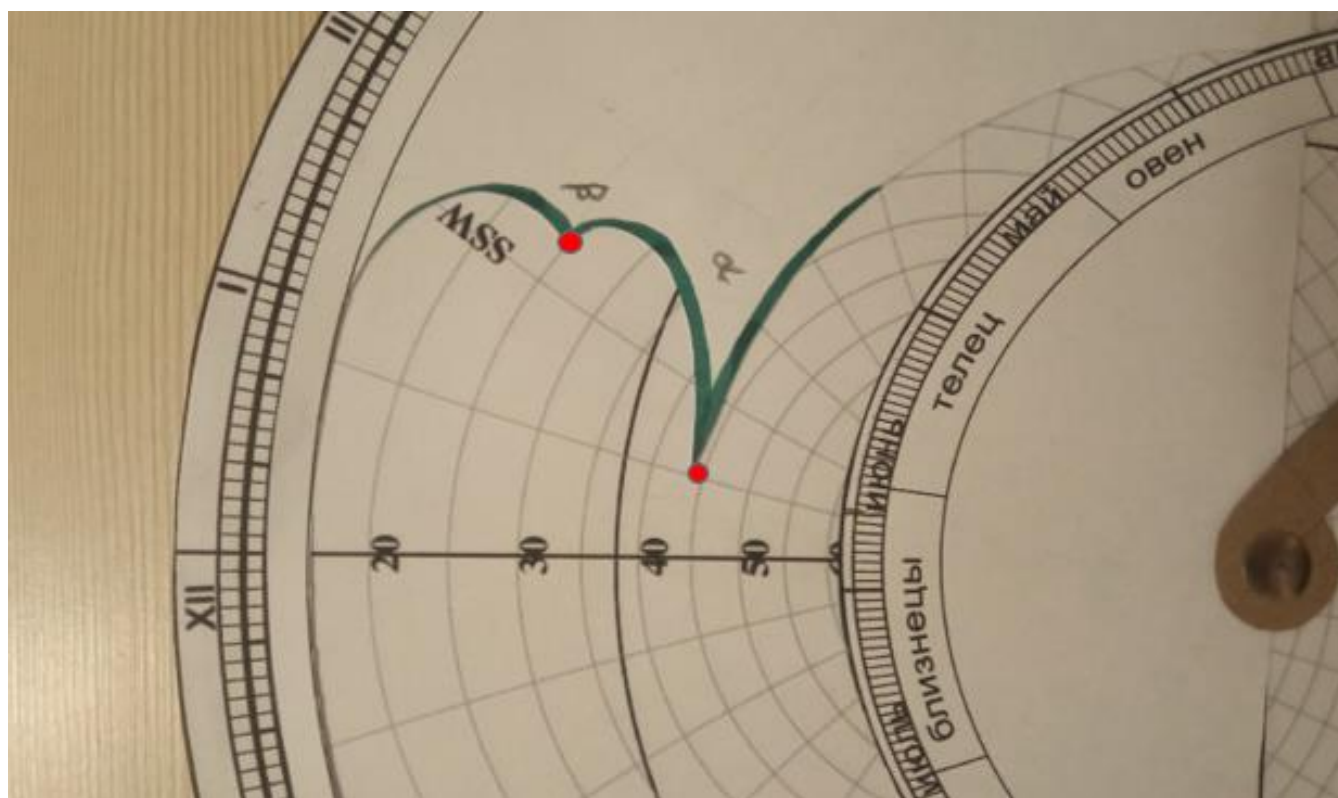




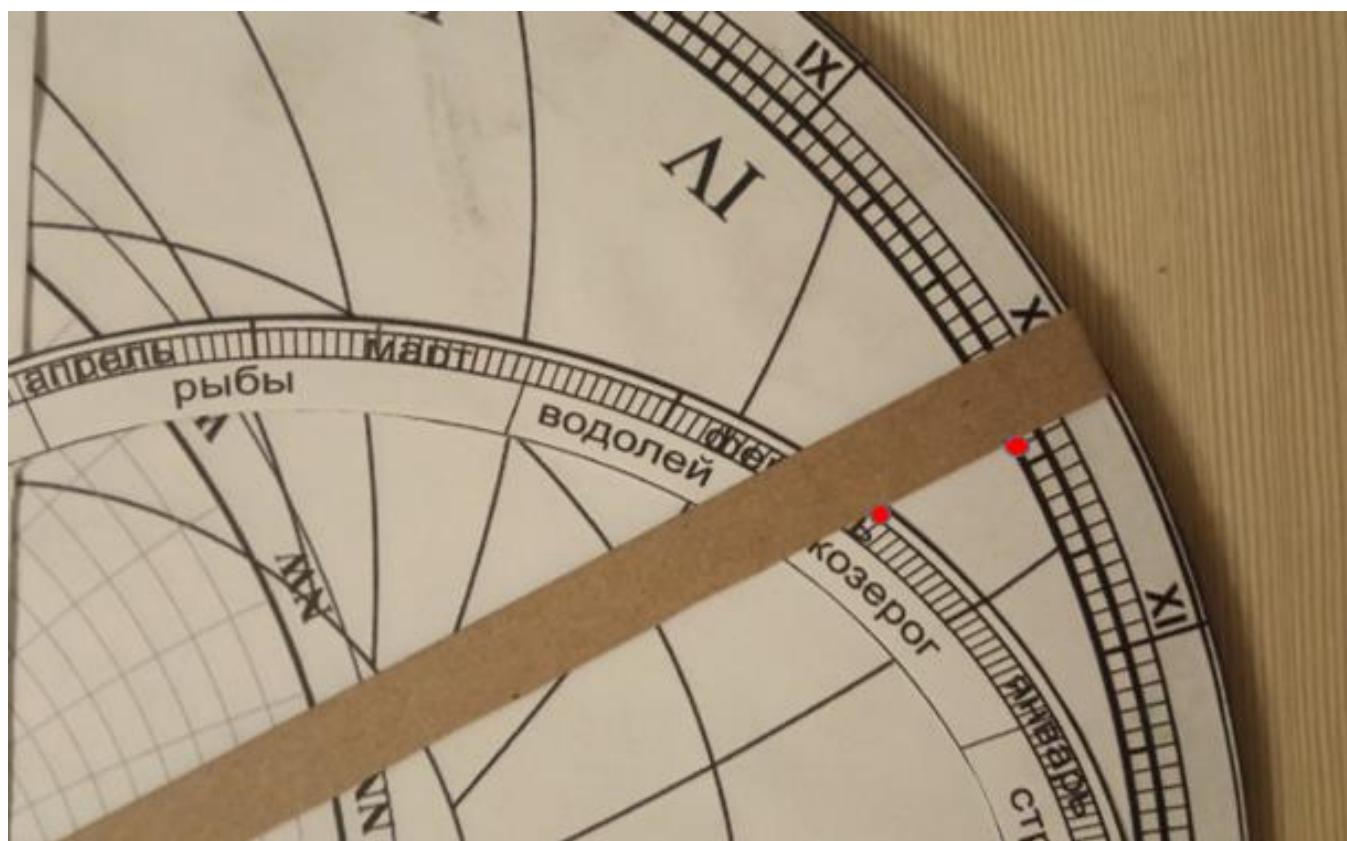
•Находим на пауке (или карте звёздного неба) эти две звезды, а на тимпане - ближайшие к измеренным величинам высоты альмукантараты (круги равной высоты) - это будут круги 25° и 40° . Альмукантараты размечены на тимпане с шагом 5° . Теперь вращением паука подводим Ригель к альмукантарату 25° и видим, что Бетельгейзе - при таком положении находится далеко от измеренных нами 43° (далеко от альмукантарата 45°).



•Стало быть, это неверное положение паука, вращаем его дальше. Дополнительным ориентиром правильности положения паука может служить знание направления на стороны света. К примеру, тут при неправильном положении - Орион находится на восточной половине неба. Итак, вращаем паук дальше. Теперь паук и тимпан представляют собой изображение неба в момент наблюдения - мы видим какие созвездия сейчас видны и в какой части неба находятся.



•Осталось лишь повернуть линейку на отметку 11 февраля в Козероге, и мы наконец получим интересующее нас значение времени - 22 часа 15 минуты. С учетом поправок: 22 часа 15 минут + 1 час + 40 минут - 14 минут = 23 часа 41 минута.



•Вот так выглядит определение времени по звездам. Также отметим, что ориентация паука по одной звезде - плохая затея, возможны серьезные ошибки в вычислениях. На практике можно проверить себя еще по положению Сириуса (из той же области неба) или другой яркой звезды.



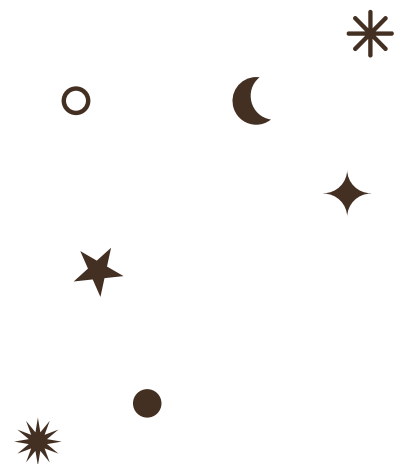
Что такое Солнечные часы?

Солнечные часы - это устройство для измерения времени суток, существовавшее во многих цивилизациях древнего мира. Древнейшие солнечные часы появились около 3500 г. до н.э. и были представлены в виде обелисков **египтянами и вавилонянами.**

Как правило, солнечные часы состоят из **гномона**, который также называется указателем, и поверхности, на которой **выгравирована шкала времени** для указания времени суток

Принцип работы солнечных часов

Тень гномона проецируется на поверхность. Когда Солнце движется по небу, тень соответствующего гномона перемещается по поверхности. По положению тени гномона определяется время суток.



Сборка вертикальных солнечных часов

Вам понадобятся: плотный картон или лист бумаги,
транспортёр, линейка, карандаш.

01

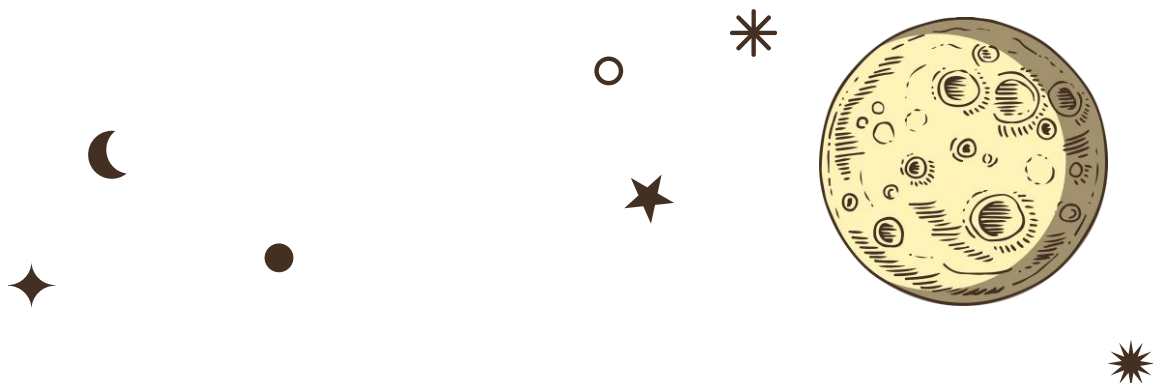
Определение широты и стены

Для определения широты местности можно использовать астролябию или найти информацию в справочных данных. Стену для установки часов необходимо выбирать южную (ЮВ – ЮЗ)

02

Сделайте гномон

Гномон (указатель солнечных часов) необходимо сориентировать на Полярную звезду, так как это обеспечивает параллельность оси вращения Земли, что делает часы точными в любое время года.



Сборка вертикальных солнечных часов

03

Поиск азимута

Далее необходимо определить точное направление стены и направление на север. Для этого найдите угол между направлением на север и перпендикуляром к стене в направлении по часовой стрелке.

04

Красивая формула

Выполнить расчеты по следующей формуле:

$$\operatorname{tg}(\beta) = \frac{\sin(\varphi) * \operatorname{tg}(15^0 * t) - \cos(\varphi) * \operatorname{tg}(A)}{1 + \operatorname{tg}(15^0 * t) * \operatorname{tg}(A)}$$

Где φ – широта, t – время, A – азимут стены

05

Финал - градуировка

От линии крепления гномона откладываются полученные через формулу углы. Полученные отрицательные значения углов наносятся с помощью транспортира слева от линии, для положительных значений - справа.





* Поверка



Точность солнечных часов зависит от точности нанесённых на основание прибора углов, соответствующих определённому времени. Для проверки необходимо сравнение положения тени гномона с эталоном времени – например, телефону, имеющему синхронизацию с GMT.

