

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И МОЛОДЁЖИ
РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Государственное бюджетное образовательное учреждение
Дополнительного образования Республики Крым
«Малая академия наук «Искатель»

**Всероссийский конкурс юных исследователей окружающей среды
им. Б. В. Всесвятского**

Номинация: «Астрономия
и изучение космического
пространства»

**ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЕРИОДА ОБРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ
ПО ФОТОГРАФИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ**

Работу выполнила:

**Кривцова Маргарита
Александровна,**

учащаяся 10 класса муниципального
бюджетного общеобразовательного
учреждения «Лицей №1»
муниципального образования
городской округ Симферополь
Республики Крым

Научный руководитель:

Макарова Мария Олеговна,
педагог дополнительного образования
государственного бюджетного
образовательного учреждения
дополнительного образования
Республики Крым «Малая академия
наук «Искатель»

г. Симферополь – 2023

ВВЕДЕНИЕ	3
РАЗДЕЛ 1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	4
1.1. Времяисчисление	4
1.2. Понятие «суток»	5
1.2.1. Солнечные сутки	7
1.2.2. Звездные сутки	9
РАЗДЕЛ 2 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	9
2.1. Звёздные треки	9
2.2. Наблюдения	9
2.3. Расчёты	13
2.3.1. Фотографии на телефон	16
2.3.2. Фотографии на Зенит	20
2.4. Сравнение результатов	22
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	23
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	24

ВВЕДЕНИЕ

Время — важнейшая философская, научная и практическая категория. Выбор способа измерения времени интересовал человека с древнейших времен, когда практическая жизнь стала связана с периодами обращения Солнца и Луны.

Заинтересовавшись в этой теме, у меня появилась идея как определить точное значение вращения Земли

Цель работы: вычислить период обращения Земли вокруг своей оси по фотографическим наблюдениям.

Задачи работы:

1. Изучить историю определения периода обращения Земли
2. Научиться фотографировать звездное небо
3. Провести вычисления периода обращения Земли по своим фотографиям
4. Сравнить между собой разные методы фотографирования и расчётов

РАЗДЕЛ 1

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Времяисчисление

Время — важнейшая философская, научная и практическая категория. Выбор способа измерения времени интересовал человека с древнейших времен, когда практическая жизнь стала связана с периодами обращения Солнца и Луны. Несмотря на то что первые часы — солнечные — появились за 3,5 тысячелетия до нашей эры, эта проблема остаётся достаточно сложной. И ответить на самый простой вопрос, с ней связанный, например, "сколько в сутках часов", бывает не так просто.

Чередование светлого и темного времени суток, периодов сна и бодрствования, работы и отдыха стало означать для людей ход времени ещё в первобытные времена. Ежедневно Солнце двигалось по небосклону днём, от восхода до заката, а Луна - ночью. Логично, что период между одинаковыми фазами движения светил стал единицей времяисчисления. День и ночь постепенно сложились в сутки — понятие, определяющее смену даты. На их основе появились более краткие единицы времени - часы, минуты и секунды.

Впервые определять, сколько в сутках часов, стали в античные времена. Развитие познаний в астрономии привело к тому, что день и ночь стали делить на равные периоды, связанные с восходом определенных созвездий. А шестидесятеричную систему счисления греки переняли от древних шумеров, которые считали её наиболее практичной.

Почему же именно 24 часа и 60 минут? Чтобы сосчитать что-либо, древний человек использовал то, что обычно всегда под рукой - пальцы. Отсюда берет начало десятиричная система счисления, принятая в большинстве стран. Другой способ, основанный на фалангах четырех пальцев раскрытой ладони левой руки, достиг расцвета в Египте и Вавилоне. В культуре и науке шумеров и других народов Междуречья священным стало число 60. Во многих случаях делить его без остатка позволяло наличие множество делителей, одним из которых является 12.

Математическое понятие того, сколько в сутках часов, берет начало в Древней Греции. Греки одно время учитывали в календаре только светлое время дня и разделили время от восхода до заката на двенадцать одинаковых интервалов. Затем они так же поступили с ночным временем, в результате получили 24-частное деление суток. Греческие ученые знали, что долгота дня в течение года меняется, поэтому долгое время существовали так называемые дневные и ночные часы, которые были одинаковы только в дни равноденствия.

От шумеров греки восприняли и деление окружности на 360 градусов, на основе которого была разработана система географических координат и деление часа на минуты (*minuta prima* (лат.) - "уменьшенная первая часть" (часа)) и секунды (*secunda divisio* (лат.) - "второе деление" (часа)).

Окончательный вариант определения того, сколько в сутках часов, близкий к современному, был принят в Древнем Риме, с введением юлианского календаря. В отличие от древнегреческой системы времяисчисления сутки делились на 24

равных интервала, вне зависимости от времени суток и времени года. Этой системой пользовались до XV века — когда папа римский Григорий XIII заменил юлианский календарь на григорианский. Он был более точным и приближенным к тропическому году — времени, за которое на Земле сменяются сезоны.

1.2. Понятие «суток»

Сутки – это время, за которое Земля совершает полный оборот вокруг своей оси, но для точных расчетов этой информации недостаточно.

Во-первых, ось вращения Земли не сохраняет постоянного направления в пространстве (прецессия и нутация). Во-вторых, сама Земля не сохраняет постоянной ориентировки относительно оси своего вращения (движением полюсов). Поэтому радиус-вектор наблюдателя на поверхности Земли – отрезок от центра Земли до точки на поверхности – не вернётся через один оборот (и вообще никогда из-за движения Земли в пространстве) к прежнему направлению. В-третьих, скорость вращения Земли тоже не остаётся постоянной. Так что, строго говоря, определённого периода вращения Земли не существует. Но с определённой степенью точности, несколько миллисекунд, можно говорить о периоде вращения Земли вокруг оси.

Для расчёта такого периода нужна точка отсчета, вернее надо указать направление, относительно которого стоит отсчитывать обороты Земли. Таких направлений в астрономии сейчас используется три. Это направление на точку весеннего равноденствия, на Солнце и на так называемое небесное эфемеридное начало.

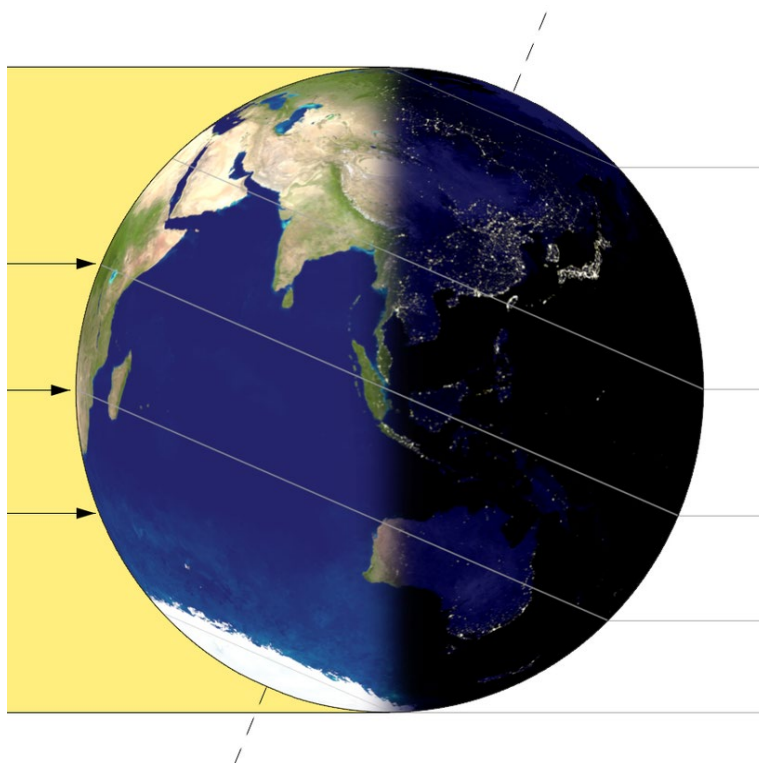


Рис. 1. Сутки

1.2.1 Солнечные сутки

Смысл суток относительно взаимодействия небесных объектов - это отрезок времени, за который Земля делает полный оборот вокруг оси вращения. Учеными-астрономами принято делать несколько уточнений. Они выделяют солнечные сутки - начало и окончание оборота считается по нахождению Солнца в одной и той же точке небесной сферы - и разделяют их на истинные и средние.

Солнечные сутки — промежуток времени, за который небесное тело совершает один поворот вокруг своей оси относительно центра Солнца. Более строго, это промежуток времени между двумя одноимёнными (верхними или нижними) кульминациями (прохождениями через меридиан) центра Солнца в данной точке Земли.

Солнечные сутки не равны реальному периоду вращения Земли вокруг своей оси. Вследствие обращения Земли вокруг Солнца последнее каждый день занимает несколько другое положение на небесной сфере.

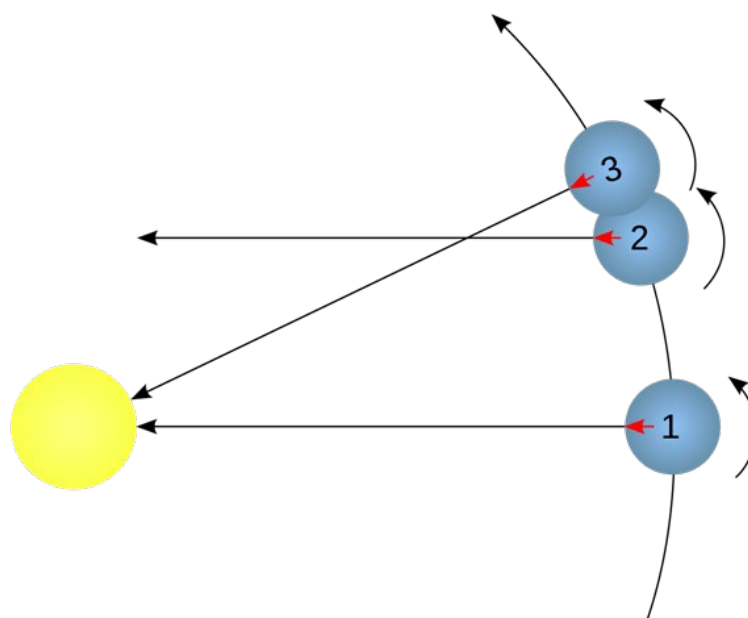


Рис. 2. Солнечные сутки. (1) – начальное положение Земли; (2) – положение, соответствующее одному обороту Земли вокруг собственной оси; (3) – положение Земли по прошествии одних солнечных суток.

Сказать с точностью до секунды, сколько часов в сутках, которые называются истинными солнечными, без уточнения конкретной даты невозможно. В течение года их продолжительность периодически меняется на почти минуту. Это происходит из-за неравномерности и сложной траектории движения светила по небесной сфере - ось вращения планеты имеет наклон около $23,5^\circ$ относительно плоскости небесного экватора. В среднем за год с учетом оборота планеты вокруг Солнца солнечные сутки на долю секунды короче, чем 24 часа, то есть очень близки к общепринятому значению.

Более-менее точно можно сказать, сколько часов и минут в сутках, которые специалистами именуется как средние солнечные. Это и есть привычные, используемые в повседневной жизни календарные отрезки времени,

определяющие конкретную дату. Считается, что их продолжительность постоянна, что в них ровно 24 часа, или 1440 минут, или 86 400 секунд. Но и это утверждение условно. Известно, что скорость вращения Земли уменьшается (сутки удлиняются за сто лет на 0,0017 секунды). На интенсивность вращения планеты влияют сложные гравитационные космические взаимодействия и спонтанные геологические процессы внутри неё.

Когда эти расхождения выявили с помощью атомных часов, было принято решение переопределить секунду как фиксированную долю «солнечных» суток, - точнее, миллион-шестьсот-сорока-тысячную долю. Для упрощения ситуации секунду приравнивали не к движению небесных тел, а к времени протекания процессов внутри атома цезия-133 в состоянии покоя. Новая секунда вошла в обиход в 1967 году и определена как «интервал времени, равный 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома Цезия-133 при отсутствии возмущения внешними полями». Точнее не скажешь.

Новое определение секунды также означает, что солнечные сутки постепенно сдвигаются по отношению к атомным (ровно 24 часа). В результате ученым пришлось вводить в атомный год так называемую «високосную секунду» (или «секунду координации»), с тем чтобы согласовать атомный год с солнечным. С 1972 года високосную секунду добавляли уже 23 раза. Иначе наши сутки увеличились бы уже почти на полминуты. Последний раз «високосная секунда» была добавлена 31 декабря 2005 года по указанию Международной службы оценки параметров вращения и координат Земли, базирующейся в Парижской обсерватории.

Хорошая новость для астрономов и тех из нас, кто любит, когда часы идут в ногу с движением Земли вокруг Солнца, но головная боль для компьютерных программ и всей той аппаратуры, что стоит на космических спутниках. Можно конечно дождаться, пока разница между Универсальным координированным временем (UTC) и Средним временем по Гринвичу (GMT) достигнет ровно часа (где-то через 400 лет) и уже тогда привести все в порядок. Ну а пока дебаты вокруг того, что считать «реальным» временем, продолжаются.

1.2.2. Звездные сутки

Современные требования к расчетам в космической навигации таковы, что вопрос о том, сколько часов делятся сутки, требует решения с точностью до наносекунд. Для этого выбираются более стабильные точки отсчета, чем близлежащие небесные тела. Точный период вращения Земли можно измерить, взяв в качестве точки отсчёта какую-либо «неподвижную звезду» (то есть находящуюся настолько далеко, что движение Земли практически не изменяет направление на звезду). Если рассчитывать полный оборот земного шара, взяв за исходный момент его положение относительно точки весеннего равноденствия, можно получить длительность суток, называемых звездными. Звёздные сутки – это период обращения Земли именно относительно точки весны, а не звёзд.

С помощью точнейших атомных часов точно установлено, сколько часов в сутках, носящих красивое именование звездных, — 23 ч 56 мин 4 с. То есть за день астрономическая полночь может уползти почти на 4 минуты! При этом в некоторых случаях их длительность еще более уточняется: истинное количество секунд - 4,0905308.

Но и этот масштаб уточнений бывает недостаточным: на постоянство точки отсчета влияет неравномерность орбитального движения планеты. Точка весеннего равноденствия и сама совершает сложное движение на небесной сфере, поэтому число 23 ч 56 мин 4,0905308 сек тоже следует понимать как среднее значение. Вместо этой точки Международный астрономический союз предложил использовать "небесное эфемеридное начало координат", связанное с внегалактическими радиоисточниками. Угол поворота Земли относительно этого направления называется звездным углом. Он равен 23h 56m 04.0989036s, чуть больше звездных суток на величину, на которую точка весны смещается на небе из-за прецессии и нутации за сутки.

В год укладывается ровно на 1 звездные сутки больше, чем количество солнечных суток (соответственно 366,242 и 365,242) — это легко понять, заметив, что за год Солнце делает ровно один обход по небу, в результате число оборотов Земли относительно Солнца за год ровно на 1 меньше, чем число оборотов Земли относительно неподвижных звезд.

РАЗДЕЛ 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Итак, период обращения Земли относительно Солнца, как описано выше, практически равен 24 часа, что очень удобно для практического времяисчисления.

Период вращения Земли относительно точки весеннего равноденствия (звёздные сутки) равен 23h 56m 04.0905308s. То есть практически на 4 минуты меньше.

Тема суточного вращения Земли показалась мне интересной, и я решила провести собственные исследования. Я решила проверить: возможно ли по собственным наблюдениям определить период обращения Земли точнее, чем общепринятое значение 24 часа.

2.1. Звёздные треки

Моими помощниками в наблюдениях были: ясная безоблачная погода и телефон, который поддерживает функцию длительной выдержки. Выдержка – это время, за которое камера делает снимок. Для астрономических фотографий недостаточны выдержки в доли секунды, которые мы используем в повседневной жизни, потому что небесные объекты очень тусклые и за такое время камера просто не успевает накопить свет, а значит объект на фотографии не проявляется или оказывается очень тусклым. Если снимать звёздное небо даже на выдержках в несколько десятков секунд, то мы увидим на фотографиях звёздные треки – нам кажется, что вращается звёздное небо, но на самом деле это лишь следствие вращения Земли вокруг своей оси. Идея моего исследования заключалась в следующем: сделать снимки звёздного неба на разных выдержках и по получившимся трекам рассчитать период вращения Земли, а затем сравнить с известным точным значением. Также я нашла у папы в гараже старый плёночный фотоаппарат Зенит, и мне стало интересно научиться фотографировать на него. Я подумала, что было бы здорово и на Зенит сфотографировать звёздные треки, а затем сравнить результаты.

2.2. Наблюдения

Наблюдения я начала с фотографирования неба на телефон. Раньше для таких целей люди покупали зеркальные или плёночные фотоаппараты, а теперь такая функция есть в любом смартфоне.

Мы с родителями уехали в поле за город, где почти отсутствует засветка и на небе видно намного больше звёзд. Я поставила телефон на штатив, включила выдержку на 15 минут, направив камеру телефона на область созвездия Возничий.

У меня было две идеи – измерить треки звёзд просто транспортиром или же попробовать определить их с помощью известных угловых расстояний между звездами, предварительно отождествив их. На первой фотографии я получила ожидаемые треки звезд, но сразу я поняла, что нужно снимать околополярную область, чтобы можно было определить угловую меру трека звезды.



Рис. 3. Фотография 0. Выдержка 15 минут.
Параметры: Фокусное расстояние:1.9; Диафрагма:6.04; ISO:6000

Далее я сделала 3 снимка околополярной области, чтобы Полярная звезда попала в кадр и далее можно было измерить углы относительно её.



Рис. 4. Фотография 1. Выдержка 40 минут.



Рис. 4. Фотография 2. Выдержка 80 минут (1 час 20 минут).



Рис. 5. Фотография 3. Выдержка 120 минут (2 часа).

Также я фотографировала звёздное небо на плёночный фотоаппарат Зенит. Для расчётов выбрала лишь 2 плёночные фотографии (время выдержки 30 минут и 50 минут). К сожалению, после проявки плёнки получились только две пригодных для расчетов фотографии, поскольку это был мой первый опыт фотографирования на Зенит. Некоторые фото были размазанными, некоторые засвечены, поскольку часть я фотографировала у обсерватории (в центре города).



Рис. 6. Фотография 4. Выдержка 30 минут.

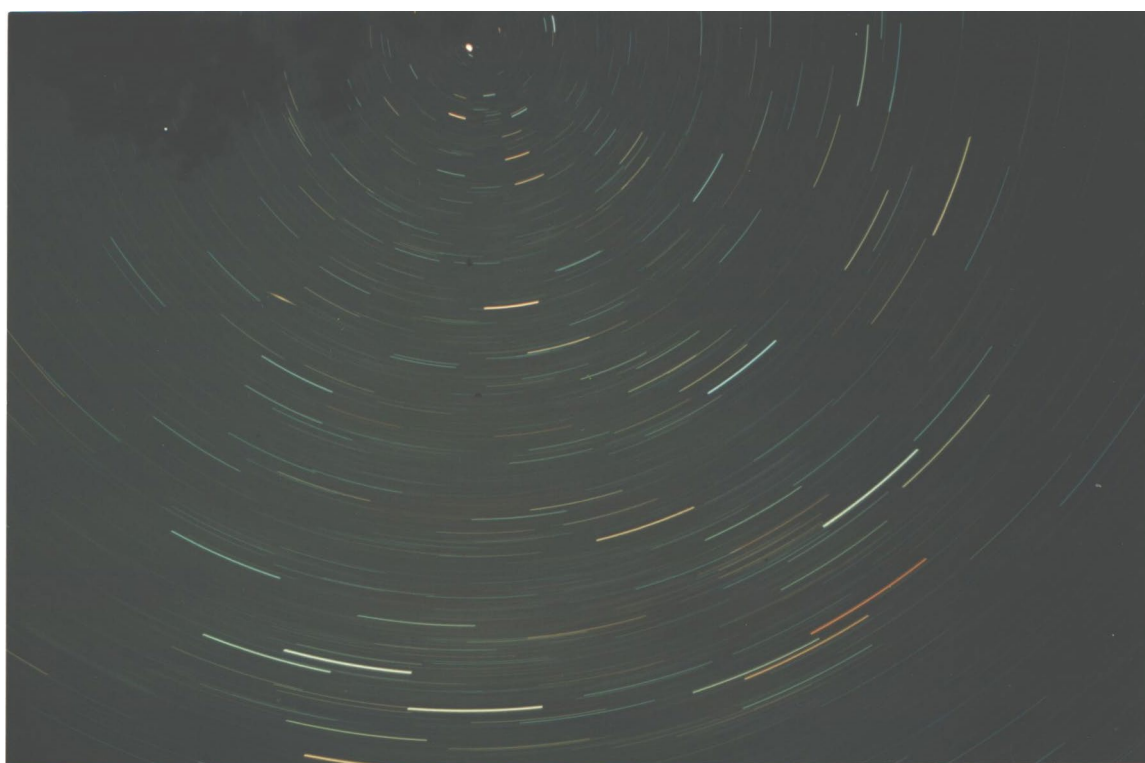


Рис. 7. Фотография 5. Выдержка 50 минут.

2.3. Расчёты

Как известно, Полярная звезда не находится ровно в точке северного полюса мира, поэтому нельзя принять её за центр окружности. Я распечатала полученные фотографии. С помощью линейки и карандаша я нашла середину нескольких дуг и с помощью угольника провела перпендикуляры в сторону центра окружности. Таким образом я нашла центр окружностей, дугами которых являются треки звёзд.

Далее я провела линии в центр от двух сторон нескольких дуг и измерила между ними углы. Так я получила градусные меры треков звёзд для каждого снимка. Они получились равными, потому как в независимости от дальности звезды от Северного полюса мира она проходит одинаковое угловое расстояние на небе, ведь это следствие вращения Земли вокруг своей оси.

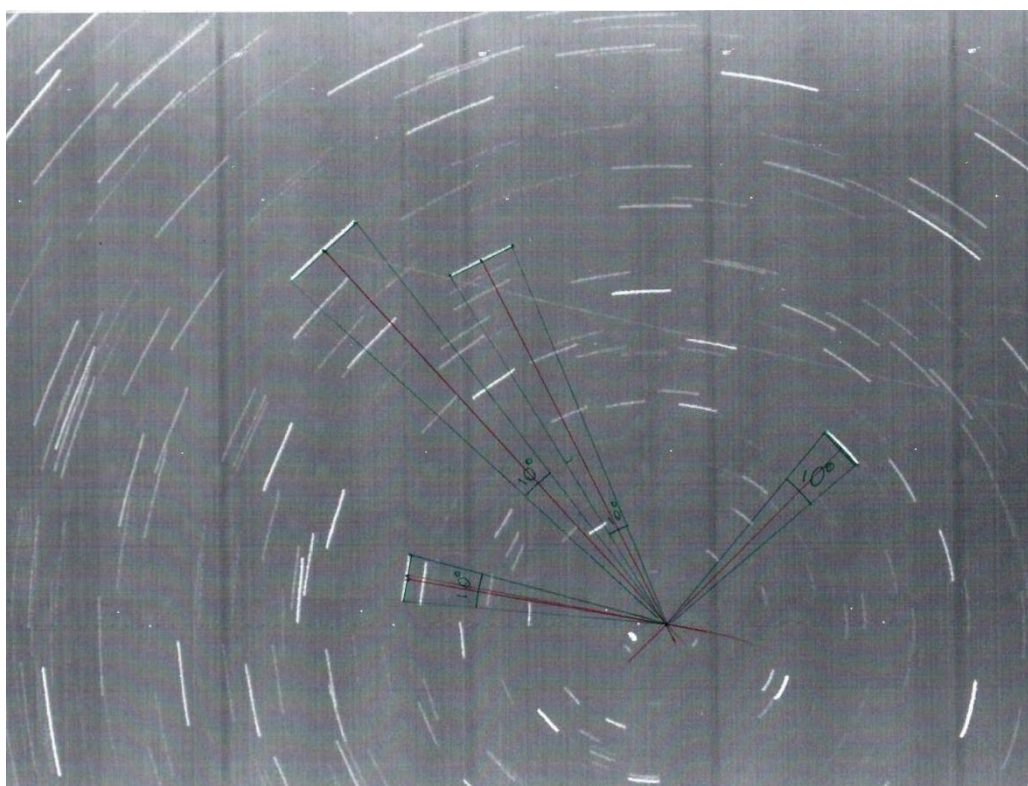


Рис. 8. Фотография 1. Выдержка 40 минут.

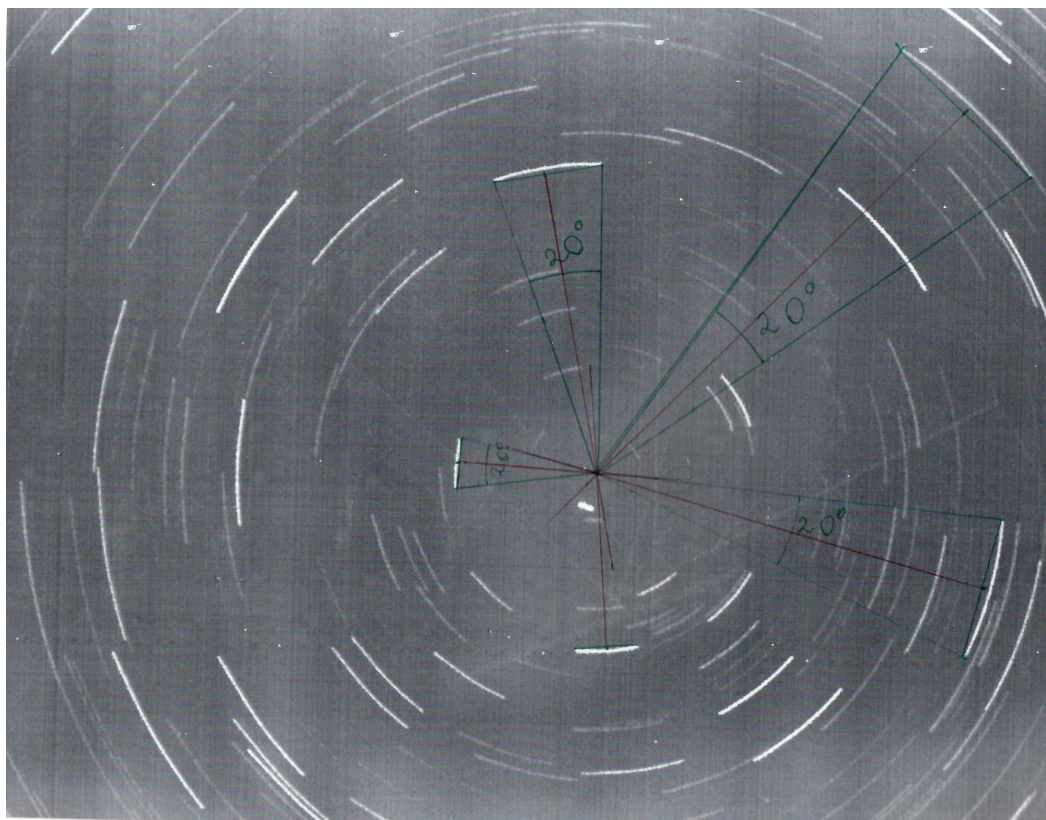


Рис. 9. Фотография 1. Выдержка 80 минут.

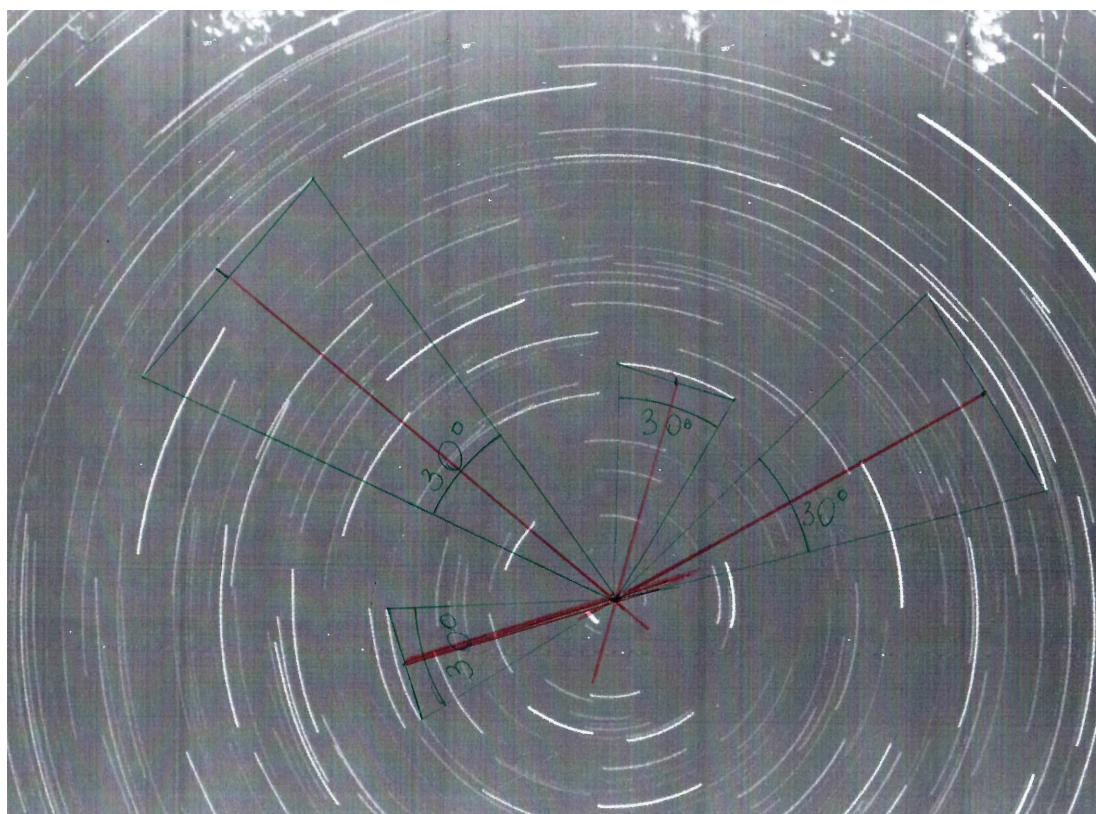


Рис. 10. Фотография 3. Выдержка 120 минут.

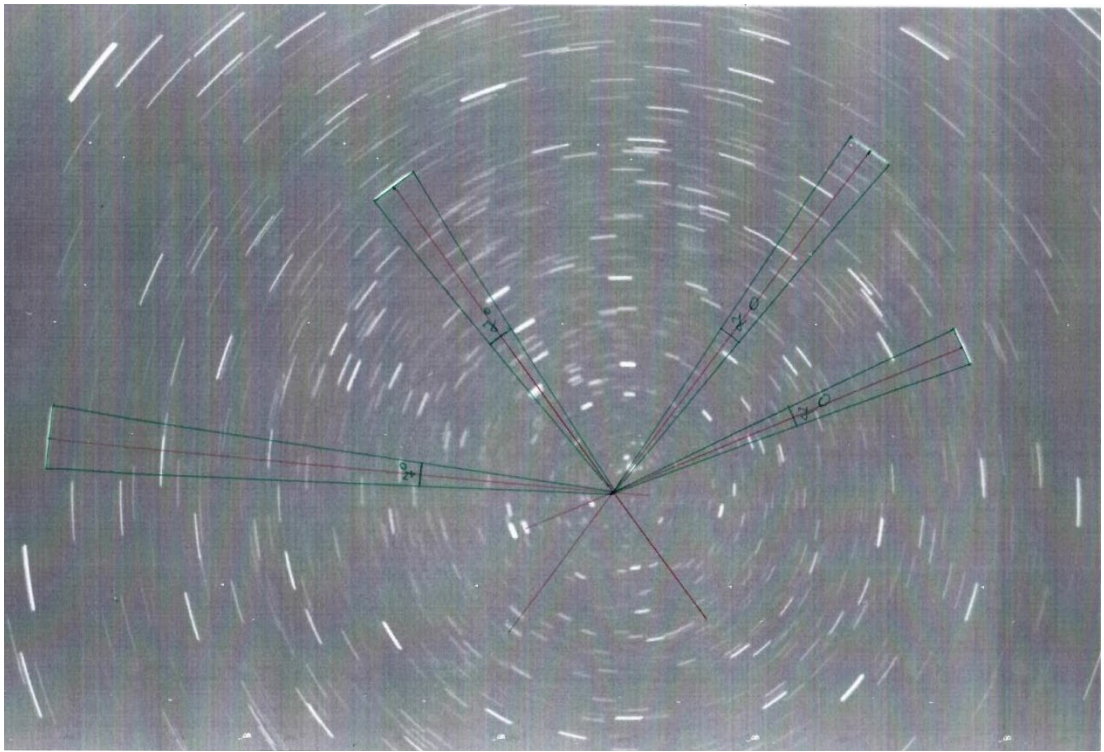


Рис. 11. Фотография 4. Выдержка 30 минут.

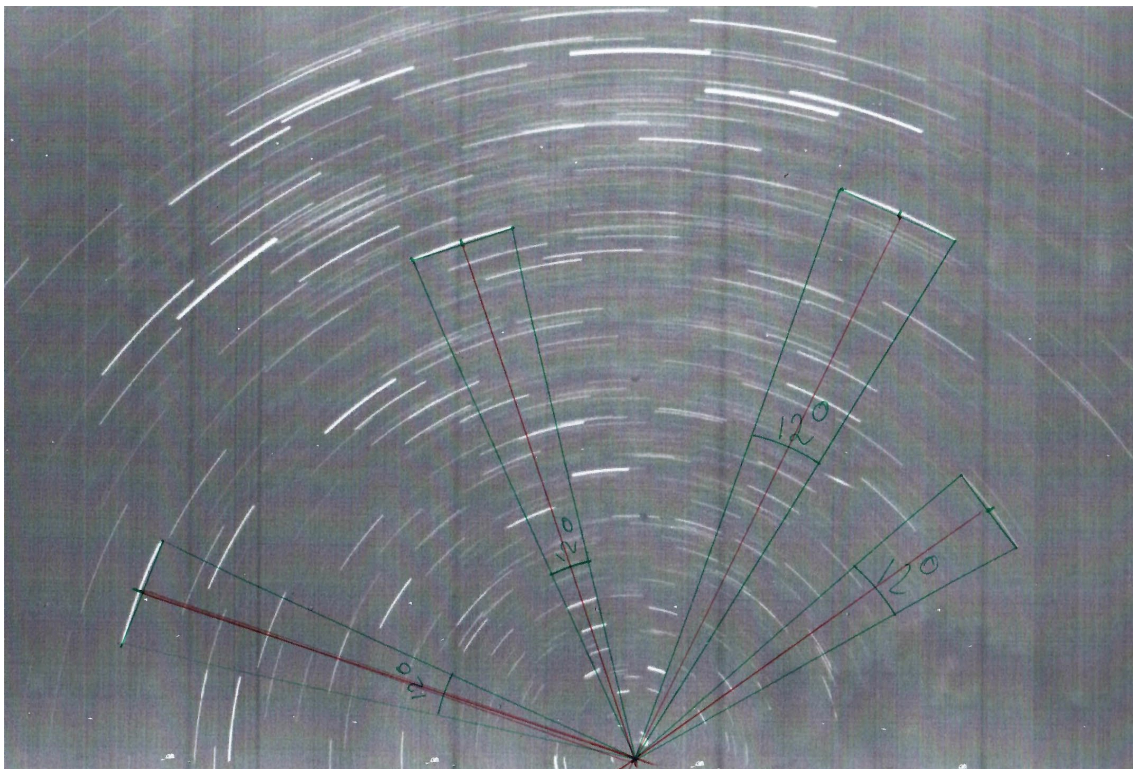


Рис. 12. Фотография 5. Выдержка 50 минут.



Рис. 13. Фотография 1.



Рис. 14. Фотография 2.

Так как транспортир не точный инструмент, я получила округленные значения: 40 минут - 10° , 80 минут - 20° , 120 минут - 30° ; 30 минут - 7° , 50 минут - 12° . Используя пропорцию для расчётов, по этим значениям период обращения Земли будет равен 24 часа.

Можно сразу прикинуть правильность измерений. Так как Земля за 24 часа совершает один оборот (360°), то через пропорцию можно найти, что за 1 час - 15° , за 2 часа - 30° и так далее, что сходится с моими значениями. Но это если брать округленное значение периода обращения Земли 24 часа, а не 23 часа 56 минут 4 секунды, которые я хотела определить по своим наблюдениям.

2.3.1 Фотографии на телефон

Я задалась вопросом как можно точнее измерить треки звёзд на моих фотографиях. В интернете я нашла программу Угломер. В ней измерения производятся аналогично транспортиру, но более точно. Измерив на фотографиях по несколько треков, я вычислила усредненные значения: 40 минут - $10^\circ 02' 12''$, 80 минут - $20^\circ 03' 43''$, 120 минут - $30^\circ 04' 56''$.



Рис. 15. Фотография 1. Выдержка 40 минут. Измерения Угломером.

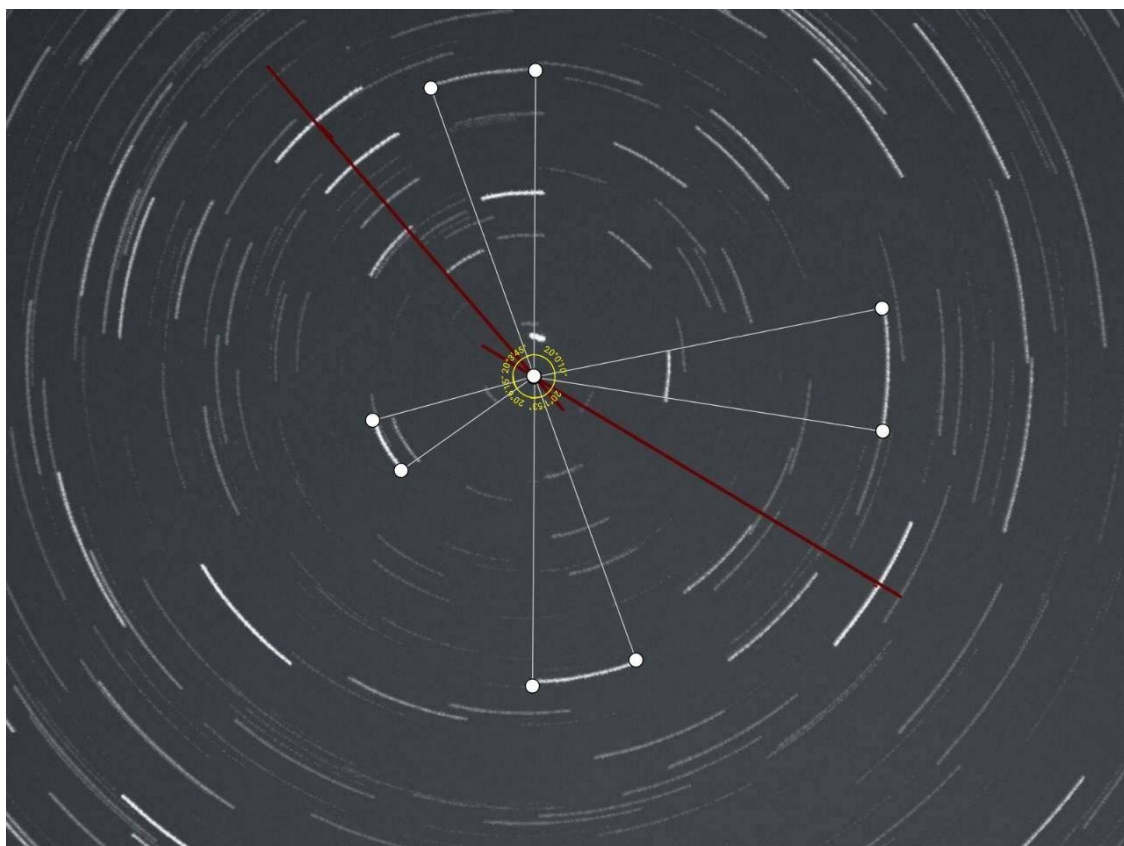


Рис. 16. Фотография 2. Выдержка 80 минут. Измерения Угломером.

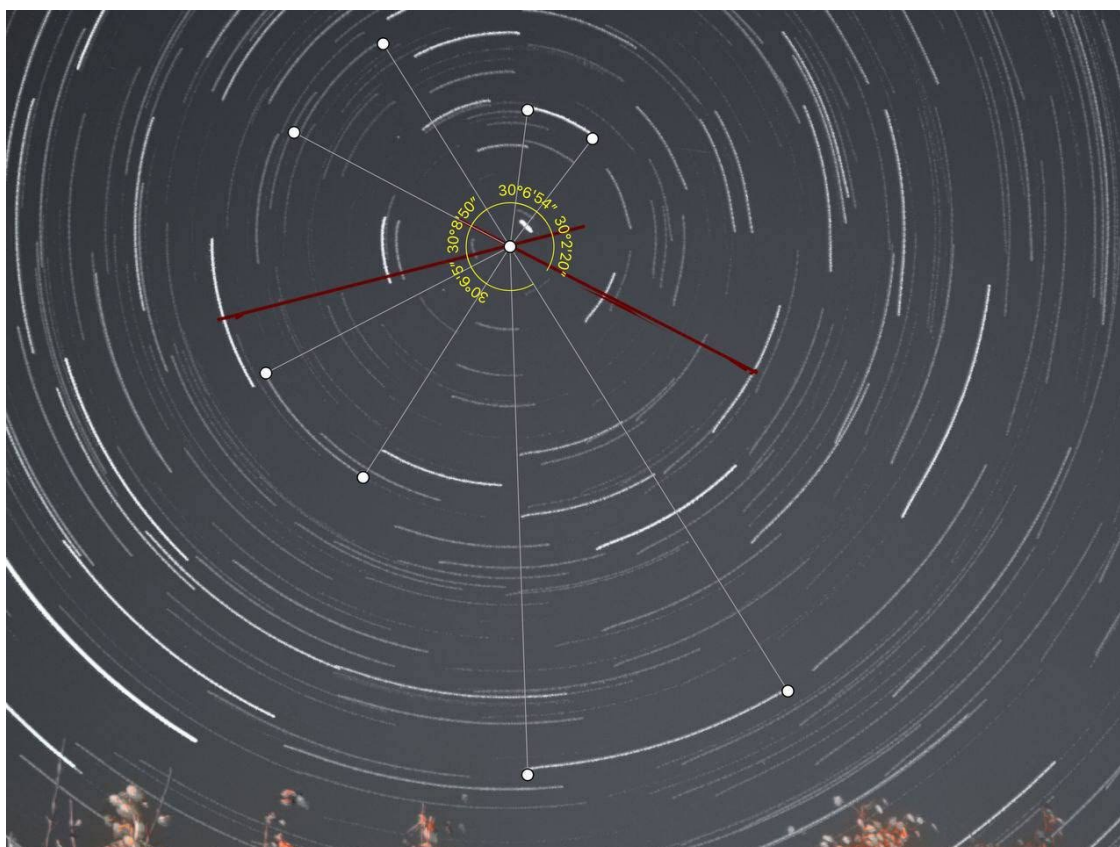


Рис. 17. Фотография 3. Выдержка 120 минут. Измерения Угломером.

Я взяла 10 значений на разных расстояниях и высчитала среднее значения

Таблица 1

Результаты измерения углов

Время выдержки фотографии	Усредненная угловая длина трека, измеренная транспортиром	Усредненная угловая длина трека, измеренная в программе Угломер
40 минут	10°	10°02'12"
80 минут	20°	20°03'43"
120 минут	30°	30°04'56"

Один полный оборот соответствует углу в 360°. Таким образом, чтобы посчитать по моим измерениям период обращения Земли вокруг своей оси достаточно составить пропорцию:

Время выдержки (t) — Угловая длина дуги в градусах (ρ)

Период обращения Земли вокруг своей оси (x) — 360°

Чтобы найти из такой пропорции период обращения Земли, выразим x:

$$x = \frac{t * 360^\circ}{\rho}$$

Сделаем расчёты для каждой фотографии и представим результаты в таблице. Полученный в секундах результат можно перевести в часы, минуты, секунды с помощью программы Калькулятор. Или же просто вручную.

Переведем время выдержки 40 минут в секунды: 2400 секунд. Длину дуги нужно перевести в угловые секунды ("): $10^{\circ}02'12'' = (10*60+2)*60+12 = 36132''$. Также нужно перевести 360° в угловые секунды (").

$$x = \frac{2400\text{сек} * 360^{\circ} * 60' * 60''}{36132''} = 86084,36\text{сек} = 23 \text{ ч } 54 \text{ мин } 44 \text{ сек}$$

Переведем время выдержки 80 минут в секунды: 4800 секунд. Длину дуги нужно перевести в угловые секунды ("): $20^{\circ}03'43'' = (20*60+3)*60+43 = 72223''$. Также нужно перевести 360° в угловые секунды (").

$$x = \frac{4800\text{сек} * 360^{\circ} * 60' * 60''}{72223''} = 86133,23\text{сек} = 23 \text{ ч } 55 \text{ мин } 33 \text{ сек}$$

Переведем время выдержки 120 минут в секунды: 7200 секунд. Длину дуги нужно перевести в угловые секунды ("): $30^{\circ}04'56'' = (30*60+4)*60+56 = 108296''$. Также нужно перевести 360° в угловые секунды (").

$$x = \frac{7200\text{сек} * 360^{\circ} * 60' * 60''}{108296''} = 86163,84\text{сек} = 23 \text{ ч } 56 \text{ мин } 03 \text{ сек}$$

Таблица 2

Результаты

Время выдержки фотографии	Период обращения Земли вокруг своей оси, согласно измерениям транспортом	Период обращения Земли вокруг своей оси, согласно измерениям программой Угломер
40 минут	24 часа	23 часа 54 мин 44 сек
80 минут	24 часа	23 часа 55 мин 33 сек
120 минут	24 часа	23 часа 56 мин 03 сек

Среднее время суток, посчитанное таким методом, получилось равным 23 часа 55 минут 27 секунд.

2.3.2 Фотографии на Зенит

Далее я сделала аналогичные измерения и расчёты для плёночных фотографий.

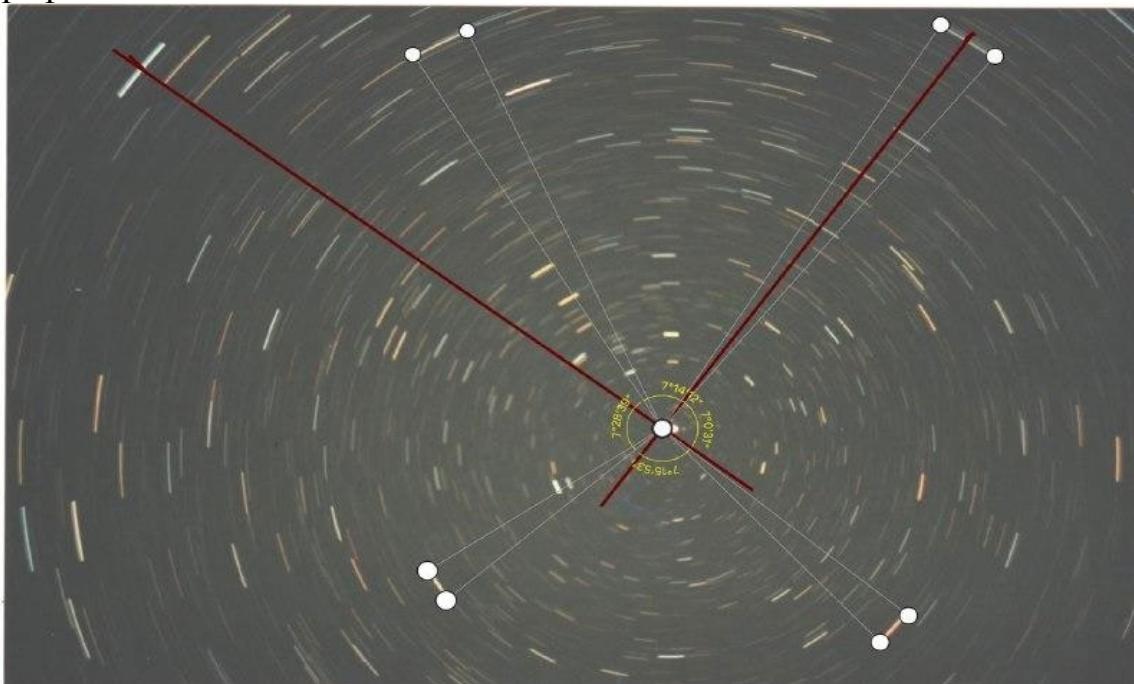


Рис. 18. Фотография 4. Выдержка 30 минут. Измерения Угломером.

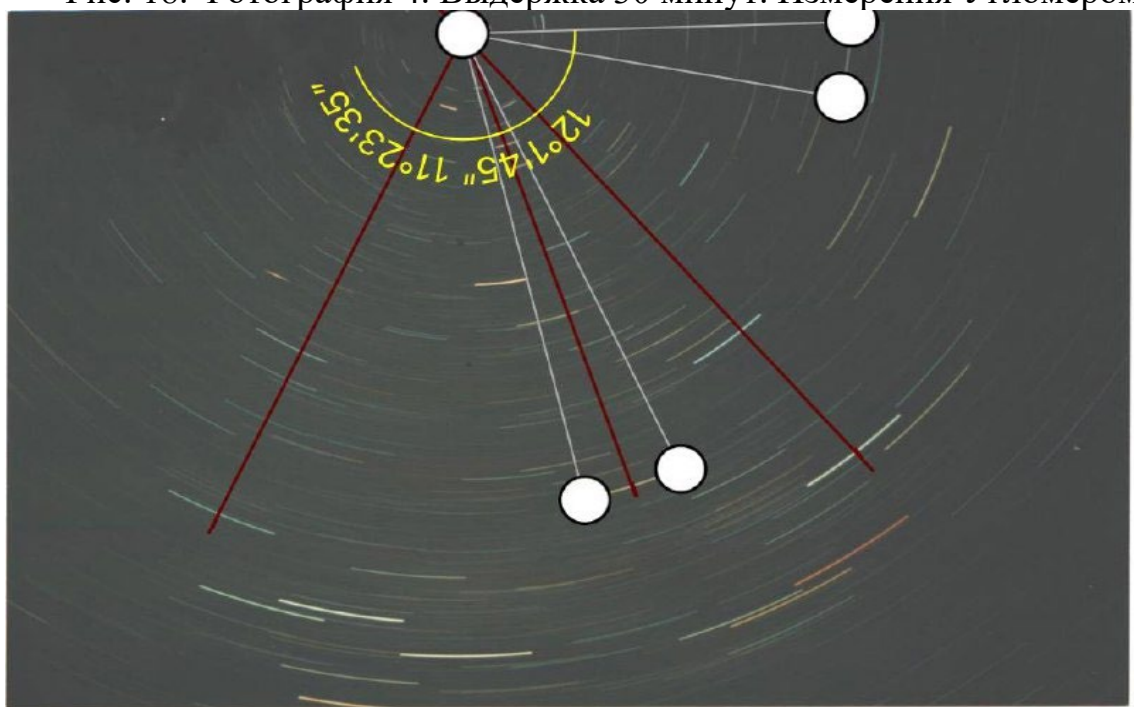


Рис. 19. Фотография 5. Выдержка 50 минут. Измерения Угломером.

Я также взяла 10 значений и высчитала среднее.

Результаты измерения углов.

Время выдержки фотографии	Усредненная угловая длина трека, измеренная транспортиром	Усредненная угловая длина трека, измеренная в программе Угломер
30 минут	7°	7°45'38"
50 минут	12°	12°42'51"

Переведем время выдержки 30 минут в секунды: 1800 секунд. Длину дуги нужно перевести в угловые секунды ("): $7^{\circ}15'38'' = (7*60+45)*60+38 = 27938''$. Также нужно перевести 360° в угловые секунды (").

$$x = \frac{1800\text{сек} * 360^{\circ} * 60' * 60''}{27938''} = 83499,1767\text{сек} = 23 \text{ ч } 11 \text{ мин } 39 \text{ сек}$$

Переведем время выдержки 50 минут в секунды: 3000 секунд. Длину дуги нужно перевести в угловые секунды ("): $12^{\circ}20'51'' = (12*60+42)*60+51 = 45771''$. Также нужно перевести 360° в угловые секунды (").

$$x = \frac{3000\text{сек} * 360^{\circ} * 60' * 60''}{45771''} = 84944.6156\text{сек} = 23 \text{ ч } 35 \text{ мин } 45 \text{ сек}$$

2.4. Сравнение результатов

Я сделала сравнительную таблицу. И поняла, что цифровые фотографии намного точнее, пленочных фотографий.

Таблица 4

Сводная таблица

Выдержка	Телефон		Зенит	
	Длина дуги	Период	Длина дуги	Период
30 минут	-	-	7°45'38"	23 ч 11 мин 39 сек
40 минут	10°02'12"	23 часа 54 мин 44 сек	-	-
50 минут	-	-	12°42'51"	23 ч 35 мин 45 сек
80 минут	20°03'43"	23 часа 55 мин 33 сек	-	-
120 минут	30°04'56"	23 часа 56 мин 03 сек	-	-

По пленочным фотографиям не удалось даже приблизительно правильно посчитать звёздный период. В то время как по цифровым фотографиям у меня получилось среднее значение – 23 часа 55 минут 27 секунд. Что всего на 37 секунд меньше известного значения. А значение, полученное по снимку с самой длинной выдержкой, оказалось почти точным! Оно отличается на 1 секунду от искомого. Возможно, стоит сделать вывод, что по более длинным трекам звёзд можно точнее определить период обращения Земли вокруг своей оси! В таблице видно, что чем больше трек, тем более верное значение звёздных суток получается. Поэтому я собираюсь проверить это, сделав фотографии с выдержками 3-5 часов. Также я планирую лучше разобраться в пленочной фотографии, так как мне очень понравилось делать фотографии на Зенит!

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ВЫВОД:

1. Научилась фотографировать звездное небо и настраивать оборудование.

2. Вычислила период обращения Земли вокруг своей оси по фотографическим наблюдениям.

3. Получила достаточно точное значение (23 часа 55 минут 27 секунд).

4. Выяснила, что пленочная съемка потеряла актуальность в современном мире, и полностью проигрывает цифровым.

5. Видимо, чем дольше треки, тем точнее можно посчитать период.

Используя 2 фотографических метода (пленочный и цифровой), я поняла, что цифровые фотографии дают более точные данные для моих поставленных задач. Так же я выяснила, что чем дольше трек, тем точнее результат. Поэтому я собираюсь проверить это, сделав фотографии с выдержками 3-5 часов. Также я планирую лучше разобраться в пленочной фотографии, так как мне очень понравилось делать фотографии на Зенит!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

электронный источник:

Куимов, К.В. Вращение Земли и продолжительность суток [Электронный ресурс], -<https://web.archive.org/web/20171215111340/http://www.astronet.ru/db/msg/1226143>.

электронный источник:

Vladimirtan Знаменитый физик Жан Бернар Леон Фуко [Электронный ресурс], -
<https://vladimirtan.livejournal.com/677114.html>.

электронный источник:

Википедия Солнечные сутки [Электронный ресурс], -https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечные_сутки.

электронный источник:

Википедия Звёздные сутки [Электронный ресурс], - https://ru.wikipedia.org/wiki/Звёздные_сутки.

электронный источник:

Сколько в сутках точное время. Сколько в сутках часов [Электронный ресурс], -
<https://ik-ptz.ru/social-studies/skolko-v-sutkah-tochnoe-vremya-skolko-v-sutkah-chasov-sutki.html>.

электронный источник:

Войко, А Почему в неделе 7 дней, а в сутках 24 часа? [Электронный ресурс], -
<https://www.culture.ru/s/vopros/chasy-sutki-nedeli/>

электронный источник:

Приложение Угломер [Электронный ресурс], -
<https://apps.apple.com/ru/app/%D1%83%D0%B3%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%80-360/id1393860479?platform=iphone>
<https://allcalc.ru/node/2072>