

ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ, ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ И  
ТВОРЧЕСКИХ РАБОТ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
«НАУКА, ТВОРЧЕСТВО, ДУХОВНОСТЬ»

---

**Направление: астрономия, космонавтика**

**Тема: «Астрограбли»**

**Соискатель: Устинов Ярослав Игоревич, обучающийся ГБОУ РК «Крымская гимназия-интернат для одарённых детей»**

**Научный руководитель: Лавут Елена Сергеевна, учитель физики**

**Место выполнения работы: ГБОУ РК «Крымская гимназия-интернат для одарённых детей»**

## АННОТАЦИЯ

В этом году в астрошколе на смене «Импульс» с. Танковое, на занятиях по астроориентированию перед нами встал вопрос: как можно приблизительно точно измерять угловые расстояния между небесными светилами на небе? Мы, конечно, пытались измерять расстояния самостоятельно, с помощью рук, но результаты оказались совершенно неточными. И тогда, мы нашли решение, а именно сделать астрограбли. Астрограбли – это простейший угломерный инструмент, состоящий из двух палок. Но, сделав астрограбли и испытав их на практике, результаты измерений оказались приближёнными к реальному значению.

Измерения мы проводили с группой в количестве 25 человек. Каждый человек измеряли расстояния ручным угломером и инструментальным и записывал результат в тетрадь наблюдений. На утро после наблюдений на теоретических занятиях мы обрабатывали полученные результаты и сравнивали их с реальными значениями.

После всех проведённых измерений были сделаны таблицы для каждого вида измерений, в которых мы получили, что погрешность инструментального угломера меньше ручного на 7,31%.

## СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ.....	4
	ГЛАВА 1. Теоретическая часть.....	5
1.1	Угловые расстояния на небе.....	5
1.2	Виды угломерных инструментов.....	6
1.3	Понятие астрограбель.....	7
	ГЛАВА 2. Практическая часть.....	9
2.1	Известные угловые расстояния.....	9
2.2	Определение угловых расстояний между звёздами.....	10
2.3	Проведение ручных измерений и определение погрешностей.....	11
2.4	Подбор материалов, параметров и первичный тест.....	11
2.5	Проведение инструментальных измерений и определение погрешностей.....	13
2.6	Астрограбли, как конструктор для начинающих любителей астрономии.....	13
	ВЫВОДЫ.....	16
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	17
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	18
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	19

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность:** в этом году в астрошколе на смене «Импульс» с. Танковое, на занятиях по астроориентированию перед нами встал вопрос: как можно приблизительно точно измерять угловые расстояния между небесными светилами на небе? Мы, конечно, пытались измерять расстояния самостоятельно, с помощью рук, но результаты оказались совершенно неточными. И тогда, мы нашли решение, а именно сделать астрограбли. Астрограбли – это простейший угломерный инструмент, состоящий из двух палок. Но, сделав астрограбли и испытав их на практике, результаты измерений оказались приближёнными к реальному значению.

**Цель:** сделать инструмент для измерения угловых расстояний небесных светил.

**Гипотеза:** астрограбли помогают наблюдателям звёздного неба намного точнее определять угловые расстояния на небе, чем ручным методом.

**Задачи:**

- 1) Изучить, какие бывают виды угломерных инструментов
- 2) Выявить на небе известные угловые расстояния для тестирования
- 3) Провести измерения ручным угломером и определить погрешность измерений
- 4) Рассчитать параметры для изготовления угломерного инструмента с ценой деления в  $1^\circ$
- 5) Подобрать материалы и изготовить инструмент
- 6) Провести измерения новым инструментом выбранных угловых расстояний и определить погрешность измерений
- 7) Сравнить погрешности измерений и ввести в эксплуатацию прибор

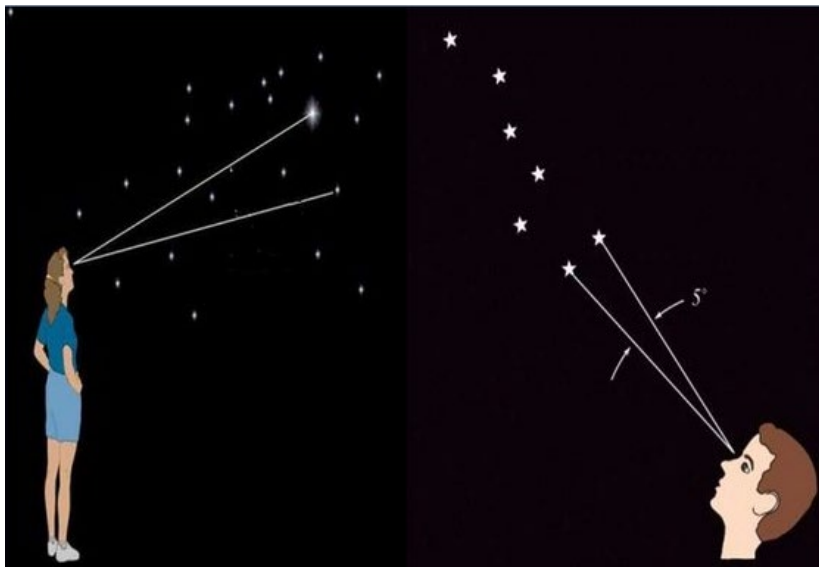
**Объект:** Астрограбли

**Предмет:** Измерение угловых расстояний

## ГЛАВА 1. Теоретическая часть

### 1.1 Угловые расстояния на небе

**Угловое расстояние в астрономии** – это мера видимого расстояния между двумя точками или объектами, выраженная в угловых единицах дуги. Наблюдатель находится в вершине угла, концами которого являются две рассматриваемые точки.



Для чего нужно измерять угловые расстояния и где это применяется?

В геометрии и тригонометрии:

**Определение угла между ориентацией двух прямых линий, лучей или векторов** в трёхмерном пространстве. Угловое расстояние концептуально совпадает с углом, поэтому измеряется в тех же единицах (градусах или радианах).

**Решение задач, связанных с ориентацией объектов** на сфере, например, определение углового расстояния между звёздами, наблюдаемыми с Земли.

В астрономии:

**Определение положения объекта на небесной сфере** по его небесным координатам. Азимут, высота, склонение или прямое восхождение объекта на небе — это угловое расстояние до точки или плоскости отсчёта: горизонта, небесного экватора, меридиана и т. д.

**Измерение малых угловых расстояний** — для этого используют угловые минуты (минуты дуги) или угловые секунды (секунды дуги). Минутами и секундами дуги часто измеряют размеры звёздных скоплений и туманностей, а также расстояние между компонентами в двойных звёздах.

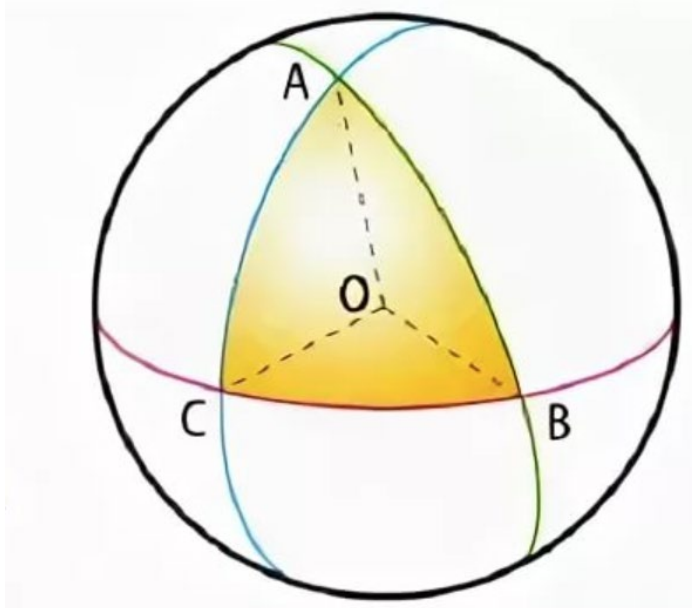
Единицы измерения

**Радиан** – центральный угол, соответствующий дуге, длина которой равна её радиусу

**Градус** – центральный угол, соответствующий дуге  $1/360$  части окружности. Один дуговой градус ( $1^\circ$ ) = 60 дуговых минут ( $1'$ ), одна дуговая минута ( $1'$ ) = 60 дуговых секунд ( $1''$ ).

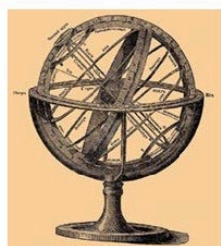
**Угловая секунда** (обозначается  $''$ ) – используется при измерении плоских углов в градусной мере.

Угловые расстояния могут быть определены с помощью тригонометрических преобразований, либо же с помощью **угломерных инструментов**.



## 1.2 Виды угломерных инструментов

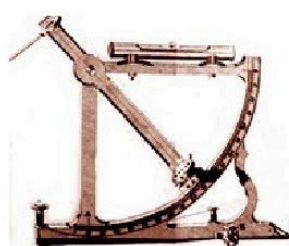
Угломерные инструменты – это устройства, предназначенные для измерения углов в различных областях, от строительства и машиностроения до навигации и астрономии. Их основная задача – точно определять пространственное положение объектов или их частей относительно друг друга.



Армиллярная сфера



Астролябия



Квадрант



Октант



Секстант



Морской компас

В астрономии они используются для измерения угловых расстояний между небесными объектами или их высот над горизонтом.

**Астрономический теодолит** – угломерный инструмент, приспособленный для астрономических наблюдений с целью определения широты, долготы и азимута.

**Морская астролябия** – угломерный инструмент, приспособленный для измерения высоты Солнца или звезд над горизонтом.

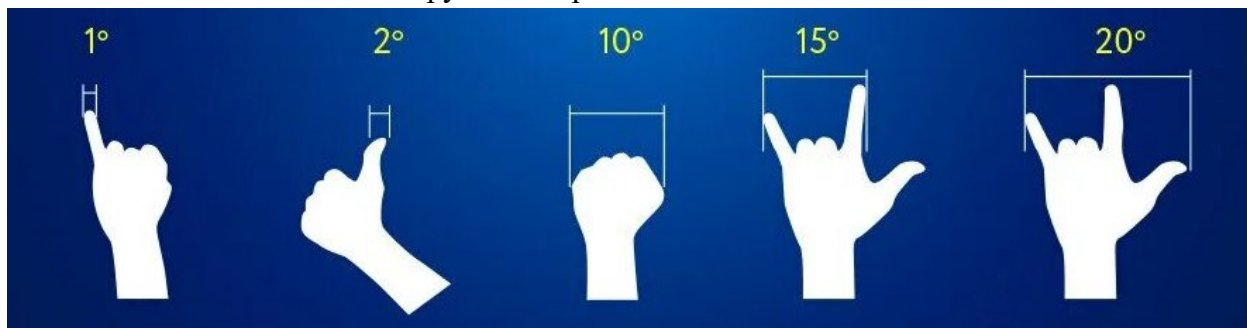
**Секстант** – угломерный инструмент, используемый в морской и воздушной авиации для измерения угловой высоты небесных тел.

**Квадрант** – астрономический и геодезический угломерный инструмент, для измерения углов до  $90^\circ$ . Является предшественником секстанта.

У всех этих инструментов одна функция – измерение углов и угловых расстояний. Но их существенное отличие от астрограбеля, состоит в том, насколько сложно их соорудить. И астрограбли из всех угломерных инструментов (применяющихся в астрономии) легче всего соорудить даже ребёнку. И ко всему этому погрешность будет совсем небольшой (для любительской астрономии) относительно ручного угломера.

**Ручной угломер** – самый простой, но одновременно не точный способ измерять угловые расстояния между небесными объектами. Суть способа заключается в том, чтобы использовать пальцы, в качестве прибора. И так, какие же величины, какому пальцу равны:

1. Мизинец на вытянутой руке равен примерно  $1^\circ$ .
2. Три сомкнутых пальца (указательный, средний, безымянный) на вытянутой руке составляют примерно  $5^\circ$ .
3. Кулак на вытянутой руке отличный ориентир, обычно охватывает около  $10^\circ$  неба. Полезен для оценки больших расстояний или полей зрения.
4. Растопыренная ладонь (от мизинца до большого пальца) на вытянутой руке даёт примерно  $15\text{-}20^\circ$ . Это одна из самых больших ручных мер.



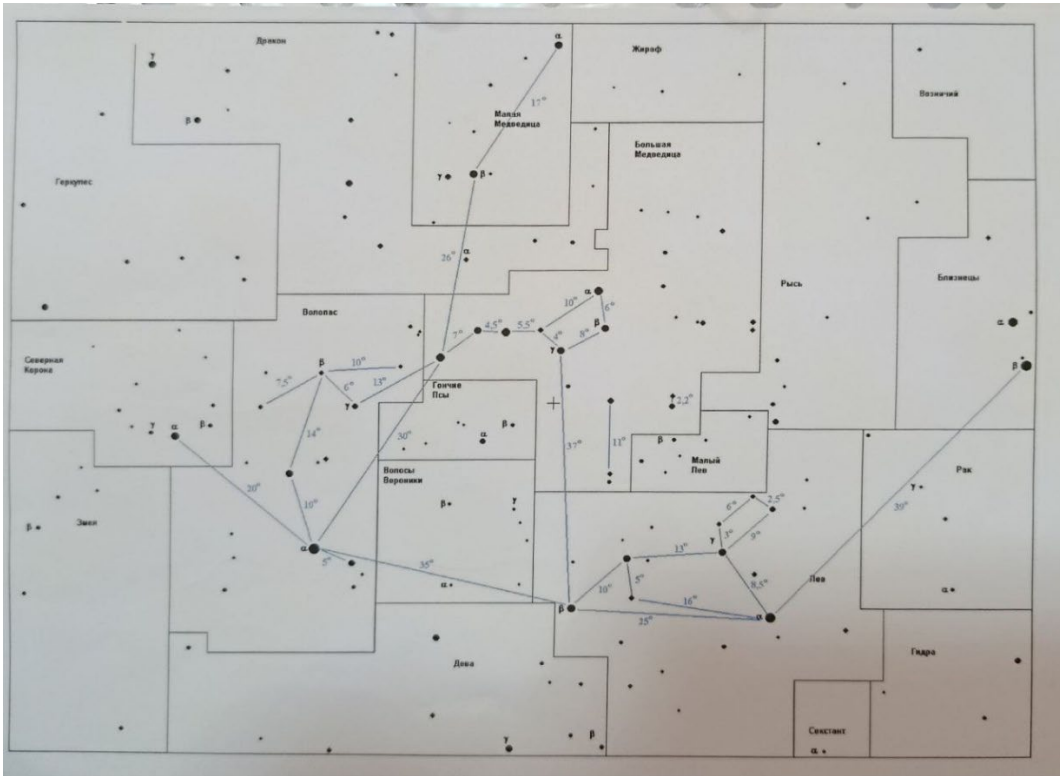
### 1.3. Понятие астрограбеля

**Астрограбли** – простой угломерный инструмент, применяющийся для измерения угловых расстояний между небесными объектами, состоящий из двух палок, гвоздей и нитки.

Две оси соединяются перпендикулярно буквой Т. На горизонтальной составляющей отмечается шкала градусных величин. Отношение линейного расстояния между делениями к длине вертикальной оси равно тангенсу цены деления. Таким образом, изменение линейного размера параметров прибора позволяет создавать различную цену деления и шкалы прибора.







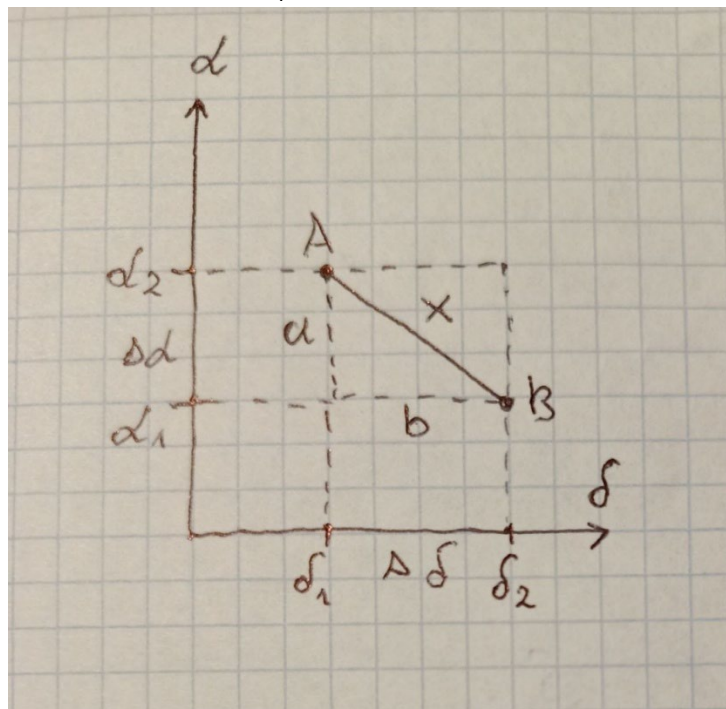
## 2.2 Определение угловых расстояний между звёздами

Для того чтобы самому измерить угловые расстояния между звёздами самостоятельно, нам нужно знать координаты этих звёзд. Если наглядно представить эти звёзды на координатной оси, с переменными  $\alpha$  и  $\delta$ , и обозначить их координаты, вырисовывается прямоугольный треугольник, где А и Б – это некие звёзды,  $x$  – это расстояние между двумя звёздами,  $\Delta\alpha$  и  $\Delta\delta$  – это разница координат. И чтобы найти  $x$ , можно воспользоваться теоремой Пифагора:

$$c^2 = a^2 + b^2$$

В данном случае, чтобы найти угловое расстояние, нужно извлечь квадратный корень из суммы квадратов двух координат.

$$x = \sqrt{\Delta\alpha^2 + \Delta\delta^2}$$



Но перед тем, как воспользоваться формулой Пифагора, нужно перевести все величины в градусы, а именно часы, минуты и угловые минуты.

$$1h = 15^\circ$$

$$1m = 4^\circ$$

$$1' = 0,016^\circ$$

После перевода величин находим их разность и считаем по формуле расстояние.

Проделав все вышесказанное со всеми звёздами, получилась таблица 1.

Столбец  $g_i$  – отображает наше угловое расстояние, а столбец  $r$  – расстояния рассчитанные с помощью программы RedShift. Оранжевым цветом выделены значения, стремящиеся к истинным. Погрешность таких значений составляет от 0 до 3 градусов. Остальные расстояния сильно отличаются от действительных.

Мы предполагаем, что такое возможно из-за того, что мы измеряли расстояния, используя плоский треугольник, а звёздное небо имеет форму сферического треугольника. Поэтому для больших расстояний этот способ не подходит (так как в сферическом треугольнике пространство искривляется), но зато подойдёт для вычисления малых угловых расстояний.

### 2.3 Проведение ручных измерений и определение погрешностей

На практических занятиях по астроориентированию в ночь с 20 на 21 июня перед нами стояла задача измерить угловые расстояния на небе с помощью ручного угломера. Группа астрономов из 25 человек проводили измерения погрешности ручного угломера. Аналогия для вычисления погрешности выглядела следующим образом: найти разницу расстояний между реальными и собственными, вычислить среднее арифметическое, поделить на среднее арифметическое собственных расстояний и умножить на сто, чтобы получить число в проценты.

Формула:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_{cp}}{L_{i_{cp}}} \times 100\%$$

где:  $\varepsilon$  – это погрешность ручного угломера;  $\Delta L_{cp}$  – это среднее арифметическое разницы расстояний реальными и собственными;  $L_{i_{cp}}$  – это среднее арифметическое собственных расстояний.

По результатам таблицы 2 видно, что моя погрешность составляет 7,13%, что довольно много.

Проанализировав погрешности ручного угломера всех участников, была создана таблица 3. По таблице 2 видно, что средняя погрешность всех участников равна 8,31%.

По этим данным, можно сказать, что у ручного угломера большая погрешность, и он подойдёт только для неточных измерений.

### 2.4 Подбор материалов, параметров и первичный тест

Выбор материалов у нас был не велик, поэтому мы решили использовать деревянные бруски и палки. За полную градусную меру грабель, было взято значение  $20^\circ$ , следовательно половина равна  $10^\circ$ . Для получения расстояния между градусами (вбитые гвозди на нижнем бруске) нужно узнать тангенс  $10^\circ$ . Это можно узнать с помощью таблицы тангенсов. Тангенс  $10^\circ$  равен 1.9. Правильное соотношение нижнего бруска и ручки грабель, оказались равны 30 и 170 см соответственно.



Для отработки технологий измерений нового теста мы проводили испытание прибора в кабинете физики. Два человека светили лазером на стену, имитируя звезды, а ответственный за астрограбли учился определять угловые расстояния между объектами.



Ответственному за инструмент неудобно держать и наводиться на объекты, поэтому в качестве монтировки мы решили использовать товарища-астронома! Благодаря такому необычному решению, пользоваться астрограблями стало удобнее.



## 2.5 Проведение инструментальных измерений и определение погрешностей

На практических занятиях по астроориентированию в ночь с 21 на 22 июня перед нами стояла задача измерить угловые расстояния на небе с помощью собственно сделанного угломерного инструмента – астрограбель. Группа астрономов из 25 человек проводили измерения погрешности угломерного инструмента. Аналогия для вычисления погрешности инструмента была такой же, как и для вычисления погрешности ручного угломера.

По результатам таблицы 4 видно, что моя погрешность составляет 0,99%, что довольно мало.

Проанализировав погрешности ручного угломера всех участников, была создана таблица 5. По таблице 5 видно, что средняя погрешность всех участников равна 1%.

По этим данным можно сказать, что с помощью астрограбель можно проводить точные измерения.

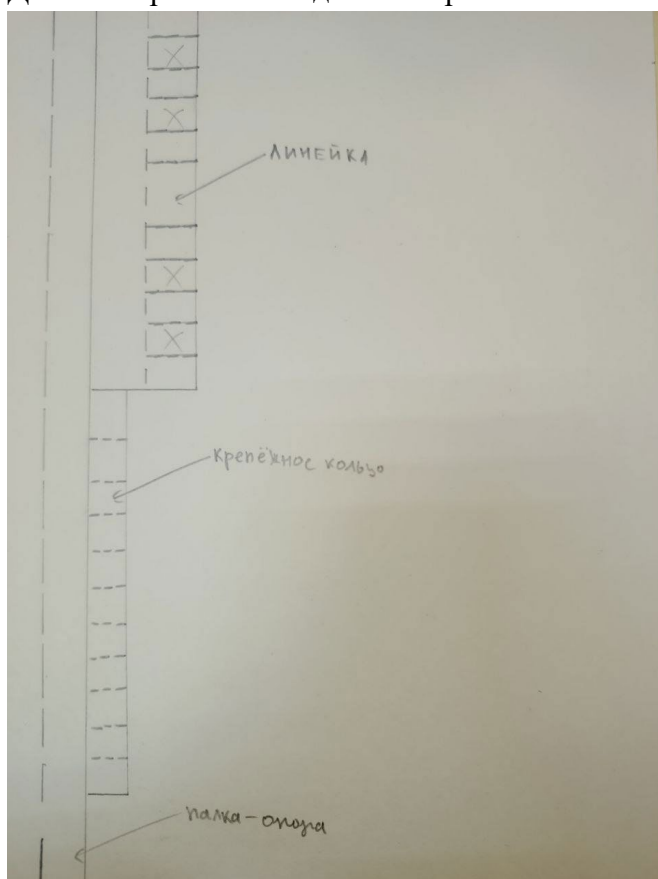
Сравнив ручной угломер и инструментальный, стало понятно, что погрешность ручного угломера больше ручного на 7,31%.

## 2.6 Астрограбли, как конструктор для начинающих любителей астрономии

Итак, мы сделали большие астрограбли из деревянных брусков, но что делать астроному, если у нас под рукой только картон, линейка и ножницы? Специально для этого, мы придумали маленькие астрограбли из картона.



Для этих грабель мы сделали чертёж



Конечно, такой инструмент менее точен, чем его большая версия, но этот инструмент имеет меньшую погрешность, в сравнении с ручным угломером. Пропорции для грабель остались теми же.

Предлагаю использовать астрограбли на уроках, например географии, потому что их можно сделать прямо на уроке и сразу применить. Таким образом уроки географии станут более

практичными, полезными и интересными. Я предлагаю вставить в учебник географии 5-6 классов, как практическое задание «изготовление и использование астрограбель для визуальных наблюдений звёздного неба»

## ВЫВОДЫ

В результате работы над проектом, мы достигли поставленную цель и подтвердили гипотезу. Было установлено, что инструментальный угломер обладает значительно меньшей погрешностью измерения по сравнению с ручным угломером.

Погрешность измерений ручного угломера составила 8,31%, а для инструментального, всего 1%.

Погрешность измерений инструментального угломера на 7,31% меньше, чем у ручного угломера.

Также мы попытались самостоятельно определить угловые расстояния между звёздами. В результате стало понятно, что этот способ подходит только для определения малых угловых расстояний, а для больших не подходит.

В целом, проект продемонстрировал эффективность инструментального угломера, в сравнении с ручным угломером.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проекта был произведён сравнительный анализ двух методов определения угловых расстояний: с помощью ручного угломера и с помощью инструментального угломера. Полученные данные демонстрируют преимущества инструментального способа.

Таким образом, для задач, требующих точность измерений, астрограбли, как инструмент, который можно собрать из легкодоступных материалов, подходит и является предпочтительным выбором.

Астрограбли могут использовать любители астрономии, визуально наблюдающие за звёздным небом и которым нужна точность измерений.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дагаев М.М. Наблюдения звёздного неба М: Наука, 1988.
2. Кононович Э.В., Мороз В.И. - Общий курс астрономии -М: Едиториал УРСС, 2001.
3. Энциклопедия для детей. Том 8 Астрономия - Аксёнова М: Аванта - 1997.
- 4.. Элементарная астрономия - Струве О.В., Беверли Линдс, Элен Пилланс - 1964.
5. Дагаев М.М. Сборник задач по астрономии М: Просвещение, 1980.

### ИНТЕРНЕТ-ИСТОЧНИКИ

1. Открытая электронная энциклопедия Википедия. Статья: Угловое расстояние. – Режим доступа:  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Угловое\\_расстояние](https://ru.wikipedia.org/wiki/Угловое_расстояние)
2. Ньютонов твой учитель физики. Статья: В чём измеряется космос. – Режим доступа:  
<https://newtonov.ru/v-chem-izmeryaetsya-kosmos/>
3. Дзен. Статья: Как измеряются расстояния в космосе? – Режим доступа:  
<https://dzen.ru/a/Z2p96of-wncNuW6l>

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1. Попытка измерить расстояния самостоятельно

Звёзды	$\alpha_1$ ч,м	$\alpha_1^\circ$	$\alpha_2$ ч,м	$\alpha_2^\circ$	$\Delta\alpha$	$\delta_1^\circ$ '	$\delta_1^\circ$	$\delta_2^\circ$ '	$\delta_2^\circ$	$\Delta\delta$	ri	r
Вега-Арктур	18h3 7m	279, 25°	14h1 6m	214°	65,2 5°	38° 48'	38,8 °	19° 02'	19,0 3°	19,7 7°	68°	59°
Вега-Феркад	18h3 7m	279, 25°	15h2 0m	230°	49,2 5°	38° 48'	38,8 °	71° 44'	71,7 3°	32,9 3°	59°	41°
Вега-Альтаир	18h3 7m	279, 25°	19h5 2m	298°	18,7 5°	38° 48'	38,8 °	08° 56'	8,93 °	29,8 7°	35°	34°
Вега-Каф	18h3 7m	279, 25°	00h1 0m	2,5°	276, 75°	38° 48'	38,8 °	59° 17'	59,2 8°	20,4 8°	277°	51°
Вега-Рас- Альхаге	18h3 7m	279, 25°	17h1 5m	258, 75°	20,5°	38° 48'	38,8 °	14° 21'	14,3 5°	24,4 5°	31°	29°
Вега-Денеб	18h3 7m	279, 25°	20h4 2m	310, 5°	31,2 5°	38° 48'	38,8 °	45° 22'	45,3 6°	6,56 °	31°	24°
Арктур-Изар	14h1 6m	214°	14h4 6m	221, 5°	7,5°	19° 02'	19,0 3°	26° 57'	26,9 5°	7,92 °	10°	10°
Арктур-Гемма	14h1 6m	214°	15h3 5m	233, 75°	19,7 5°	19° 02'	19,0 3°	26° 37'	26,6 1°	7,58 °	21°	20°
Арктур-Денеб	14h1 6m	214°	20h4 2m	310, 5°	96,5°	19° 02'	19,0 3°	45° 22'	45,3 6°	26,3 3°	100°	35°
Денебола- Феркад	11h5 0m	177, 5°	15h2 0m	230°	52,5°	14° 25'	14,4 1°	71° 44'	71,7 3°	57,3 2°	77°	37°
Алькаид-Кохаб	13h4 8m	207°	14h5 0m	222, 5°	15,5°	49° 10'	49,1 6°	74° 02'	74,0 3°	24,8 7°	29°	26°
Кохаб- Полярная	14h5 0m	222, 5°	03h0 7m	45,1 75°	177, 325°	74° 02'	74,0 3°	89° 22'	89,3 6°	15,3 3°	177°	17°
Денеб- Альбирео	20h4 2m	310, 5°	19h3 1m	292, 75°	17,7 5°	45° 22'	45,3 6°	28° 00'	28°	17,3 6°	24°	22°
Алькаид-γ волос вероники	13h4 8m	207°	12h2 8m	187°	20°	49° 10'	49,1 6°	28° 07'	28,1 1°	21,0 5°	29°	13°
Регул-Поллукс	10h0 9m	150, 225°	07h4 6m	116, 5°	33,7 25°	11° 50'	11,8 3°	27° 57'	27,9 5°	16,1 2°	37°	39°

Таблица 2. Пример таблицы погрешности ручных измерений

Отрезок	$L_0$	$L_i$	$\Delta L$	$L_{\text{ср}}$	$\Delta L_{\text{ср}}$	$\varepsilon$
Вега-Арктур	59	55	1			
Вега-Феркад	41	35	6			
Вега-Альтаир	34	38	4			
Вега-Каф	51	56	5			
Вега-Рас-Альхаге	29	31	2			
Вега-Денеб	24	23	1			
Арктур-Изар	10	10	0			
Арктур-Гемма	20	21	1			
Арктур-Денеб	35	32	3			
Денебола-Феркад	37	34	3			
Алькаид-Кохаб	26	24	2			
Кохаб-Полярная	17	17	0			
Денеб-Альбирео	22	21	1			
Алькаид-γ волос вероники	13	12	1			
Регул-Поллукс	39	41	2	30	2,14	7,13

Таблица 3. Сводная таблица ручных измерений

номер участника	ε	ε <sub>ср</sub>
1	7,13	
2	8,55	
3	6,82	
4	7	
5	7,42	
6	11,67	
7	9,24	
8	5,79	
9	7,83	
10	4,34	
11	9,11	
12	13,67	
13	8,12	
14	3,83	
15	6,51	
16	10,53	
17	11,79	
18	9	
19	12,78	
20	7,67	
21	3,63	
22	12	
23	10,64	
24	5,29	
25	7,45	8,31

Таблица 4. Пример таблицы погрешности инструментальных измерений

Отрезок	L0	Li	$\Delta L$	$L_{cp}$	$\Delta L_{cp}$	$\varepsilon$
Вега-Арктур	59	57	2			
Вега-Феркад	41	41	0			
Вега-Альтаир	34	33	1			
Вега-Каф	51	50	1			
Вега-Рас-Альхаге	29	29	0			
Вега-Денеб	24	24	0			
Арктур-Изар	10	10	0			
Арктур-Гемма	20	20	0			
Арктур-Денеб	35	35	0			
Денебола-Феркад	37	37	0			
Алькаид-Кохаб	26	26	0			
Кохаб-Полярная	17	17	0			
Денеб-Альбирео	22	22	0			
Алькаид-γ волос вероники	13	13	0			
Регул-Поллукс	39	39	0			

Таблица 5. Сводная таблица инструментальных измерений

номер участника	$\varepsilon$	$\varepsilon_{\text{ср}}$
1	0,99	
2	1,35	
3	0,21	
4	1,65	
5	1,12	
6	1,73	
7	0,24	
8	0	
9	1,14	
10	1,39	
11	0,54	
12	1,14	
13	1,94	
14	2,32	
15	0,58	
16	0,63	
17	1,24	
18	0,32	
19	0,71	
20	1,23	
21	0,28	
22	3,41	
23	0	
24	1,37	
25	0,62	1