

Краевая научно-практическая конференция
учебно-исследовательских работ учащихся 6-11 классов
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики и физики»

Экспериментальная физика

Развитие любительского телескопостроения

Макаров Никита Михайлович,

10 кл., МАОУ «Лицей №1» г. Кунгур

Курилова Татьяна Александровна,

учитель физики высшей категории

Оглавление

1. Введение.....	стр. 3
2. Основная часть	
2.1. Историческая часть.....	стр. 4
2.1.1. Телескопы XVII-XVIII веков.....	стр. 4
2.1.2. Поколения телескопов.....	стр. 7
2.1.3. Любительское телескопостроение.....	стр. 11
2.2. Теоретическая часть.....	стр. 14
2.2.1. Виды телескопов.....	стр. 14
2.2.2. Классические оптические схемы.....	стр. 15
2.2.3. Оптические схемы окуляров.....	стр. 19
2.2.4. Механика.....	стр. 21
2.2.5. Характеристики телескопа.....	стр. 24
2.2.6. Параметры окуляра.....	стр. 26
2.3. Исследовательская часть.....	стр. 29
3. Заключение.....	стр. 32
4. Список литературы.....	стр. 33
5. Приложение.....	стр. 34

1. Введение

Обоснование выбора темы: Несмотря на то, что в современное время телескоп можно купить в любом астрономическом магазине, любительское телескопостроение всё же не может остаться уделом поколения ушедшего века. Телескопостроение – одно из самых замечательных хобби. И главное здесь должный серьёзный подход к самостоятельному техническому творчеству.

Цель:

- Создание универсальной модели телескопа, который можно сконструировать человеку, полагаясь лишь на собственные ресурсы и не прибегая к существенным денежным затратам.

Задачи:

- Изучить историю телескопостроения;
- Определить преимущества и недостатки каждой модели этого оптического прибора;
- Сравнить модели телескопов;
- Определить модель телескопа, лёгкую для реализации;
- Узнать необходимые данные для проектировки;
- Собрать оптический прибор;
- Произвести вычисления для сравнения с другими приборами;
- Сделать вывод.

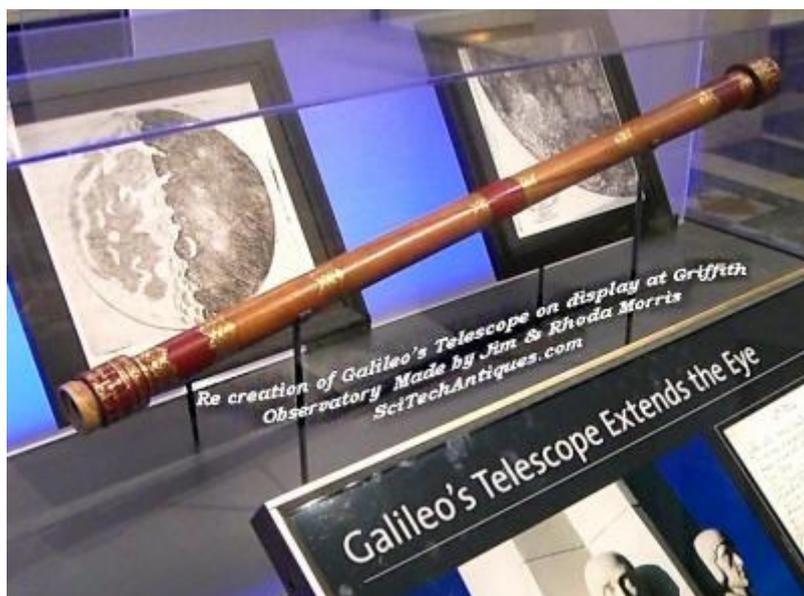
2.Основная часть

2.1.Историческая часть

2.1.1.Телескопы XVII-XVIII веков

Дата рождения телескопа, как и имя его подлинного изобретателя, навсегда кануло в Лету. Историки чаще всего называют Иоганна Липпесгея(он же Ганс или Иоанн Лепрей), ЗахарияЯнсена или Якоба Метциуса, которые в начале XVII в. в Голландии вели долгий спор о приоритете. В 1634 г. после смерти З. Янсена его сын Иоганн сообщил физику Бикману, что его отец в 1604 г. был первым в Голландии, кто построил зрительную трубу после итальянской модели, на которой было написано «Anno 1590»... Итак, телескоп был известен, по крайней мере, в 1590 г. в Италии.

Весной 1609 г. профессор математики университета итальянского города Падуи узнал о том, что один голландец изобрёл удивительную трубу. Удалённые предметы, если их разглядывать через неё, казались более близкими. Главной особенностью Галилеева телескопа было его высокое качество. Убедившись в плохом

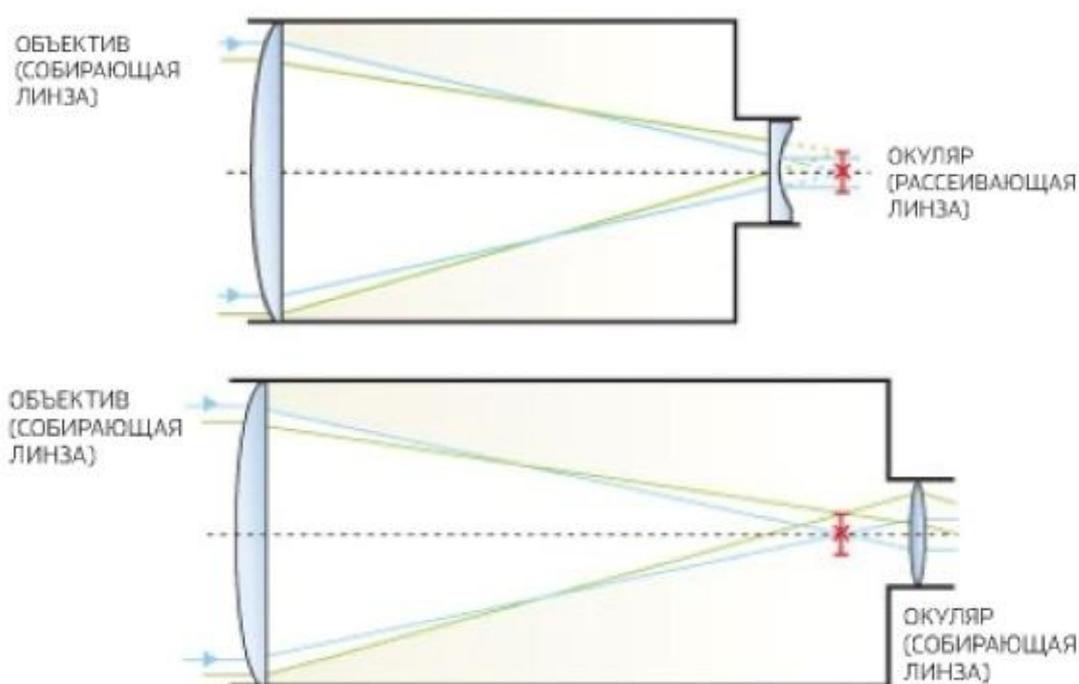


качестве очковых стёкол, Галилей начал шлифовать линзы сам. Некоторые из них сохранились до наших дней; их исследование показало, что они совершенны с точки зрения современной оптики. Правда, Галилею пришлось выбирать: известно, например, что, обработав 300 линз, он отобрал для телескопов всего несколько из них. Всего он изготовил четыре трубы, причем считается, что самая большая

обеспечивала более чем 30-кратное увеличение, а первый его телескоп имел трёхкратное увеличение.

Нидерландские астрономы братья Христиан и Константин Гюйгенсы строили Галилеевы телескопы по-своему. Объектив, укрепленный на шаровом шарнире, помещался на столбе и мог с помощью особого приспособления устанавливаться на нужной высоте. Оптическая ось объектива направлялась на исследуемое светило наблюдателем, поворачивавшим его с помощью прочного шнура. Окуляр монтировался на треноге.

У труб голландской конструкции имелись слабые места – низкая яркость изображения и узкое поле зрения, которое ещё больше сужалось при возрастании увеличения. Как исправить эти недостатки, догадался первооткрыватель законов планетных движений Иоганн Кеплер. Кеплер предложил использовать в качестве окуляра выпуклую линзу, отодвинутую от фокуса объектива на длину собственного фокусного расстояния – причём не по направлению к объективу, а прочь от него. Первый такой телескоп сделал в 1613 году замечательный немецкий геометр, астроном и физик Кристоф Шейнер, один из самых блестящих учёных, которых подарил миру орден иезуитов. В астрономическую практику кеплеровские телескопы вошли лишь в конце 1630 годов.



В 1668 г. произошло событие, имевшее громадное значение для телескопостроения. Президент Лондонского Королевского общества сэр Исаак Ньютон изобрел и собственноручно построил зеркальный телескоп, получивший впоследствии его имя. Это не было первым изобретением зеркального телескопа, так как в 1616 г. французский математик Никколо Цукки, в 1663 г. шотландский математик Джеймс Грегори, а в 1672 г. французский скульптор и художник Грийом Кассегрен предложили каждый свою схему зеркального телескопа, но ни один из этих телескопов не был построен в следующие 50 лет. Телескоп же Ньютона несмотря на маленький диаметр зеркала (2,5 см) и фокусное расстояние (16 см) давал прекрасные изображения и ничем не уступал более крупным рефракторам. Длина телескопа составляла около 15 см. «Сравнивая его с хорошей Галилеевой трубой длиной в 120 см, — писал Ньютон, — я мог читать на большем расстоянии с помощью моего телескопа, хотя изображение в нём было менее ярким». Компактные, лёгкие в обращении высококачественные рефлекторы с металлическими зеркалами к середине XVIII в. вытеснили «длинные трубы», обогатив астрономию многими открытиями. В то время на английский престол была призвана Ганноверская династия; к новому королю устремились его соотечественники — немцы. Одним из них был Уильям Гершель, музыкант и одновременно талантливый астроном. Подобно Ньютону Гершель не только предложил схему, но и построил несколько телескопов по этой схеме. С помощью своих телескопов он совершил выдающиеся открытия, которые сделали его едва ли не самым крупным астрономом за последние 350 лет. Беспримерный подвиг музыканта Гершеля, отшлифовавшего за свою жизнь более ста зеркал и построившего десятки телескопов, поражает воображение.

К концу первой половины 1730 годов все классические схемы рефракторов и рефлекторов получили практическое воплощение. Без преувеличения можно сказать, что создание современных крупных рефлекторов прочно стоит на заложенном в XVII — XVIII вв. фундаменте.

2.1.2. Поколения телескопов

- Телескопы первого поколения.

В середине XIX века Фраунгоферов рефрактор стал основным инструментом наблюдательной астрономии. Высокое качество оптики, удобная монтировка, часовой механизм, позволяющий держать телескоп постоянно наведённым на звезду, стабильность, отсутствие необходимости непрерывно что-то подстраивать и регулировать завоевали заслуженное признание даже самых требовательных наблюдателей. Казалось бы, будущее рефракторов должно быть безоблачным. Как всегда, появлению новых рефлекторов способствовало развитие техники. В середине XIX столетия немецкий химик Юстус Либих предложил простой химический метод серебрения стеклянных поверхностей. Это позволило изготавливать зеркала, из стекла. Оно лучше полируется, чем металл, и значительно легче его. Стекловары также усовершенствовали свои методы, и можно было смело говорить о заготовках диаметром около 1 м.

В конце 50-х гг. XIX в. французский физик Жан Бернар Леон Фуко поместил в центр кривизны испытываемого сферического зеркала точечный источник света и загоразивал его изображение ножом. Глядя, с какой стороны при движении ножа перпендикулярно оси зеркала на нём появляется тень, можно установить нож точно в фокусе, а затем очень ясно увидеть неоднородности и ошибки поверхности. Таким методом можно исследовать и рефракторы: точечным источником служит звезда. Чувствительный и наглядный, метод Фуко применяется и сейчас как любителями, так и профессионалами.

Фуко изготовил по своей методике два телескопа с длиной трубы 3,3 м и диаметром 80 см. Стало ясно, что у рефракторов Фраунгофера появился грозный конкурент.

В 1879 г. в Англии оптик Коммон изготовил вогнутое стеклянное параболическое зеркало диаметром 91 см. При его изготовлении использовались научные методы контроля. Зеркало приобрёл богатый любитель астрономии Кросслей, который смонтировал его в телескопе. Однако этот инструмент не устроил своего владельца, и в 1894 г. Кросслей объявил о его продаже. Приобрести его, правда бесплатно, согласилась организованная в Калифорнии Ликская обсерватория.

Крослеевский рефлектор попал в хорошие руки. Астрономы стремились получить от него максимум возможного: новый телескоп применялся для фотографирования астрономических объектов; с его помощью было обнаружено множество неизвестных ранее внегалактических туманностей, похожих на туманность Андромеды, но меньшего углового размера. Стеклянный рефлектор первого поколения показал себя эффективным.

Перечислим основные особенности современных телескопов первого поколения.

Во-первых, главные зеркала их имеют строго параболическую форму. Они изготовлены из стекла типа зеркального со значительным коэффициентом теплового расширения

Во-вторых, конструкция их трубы выполнена по принципу максимальной жёсткости.

- Создание телескопов второго поколения.

Как и в рефлекторах первого поколения, форма главного зеркала была параболической, наблюдения могли вестись в ньютоновском, кассегреневском, прямом или ломаном фокусах. Последний не перемещается при движении телескопа, и в нём можно устанавливать тяжёлое неподвижное оборудование. В конструкцию труб были внесены кардинальные изменения: она перестала быть жёсткой. Инженеры разрешили её концам гнуться относительно центра при

условии, что оптические детали не будут смещаться друг относительно друга. Конструкция оказалась удачной и до сих пор используется во всех без исключения ночных телескопах.

- Разработка рефлекторов третьего и четвёртого поколений.

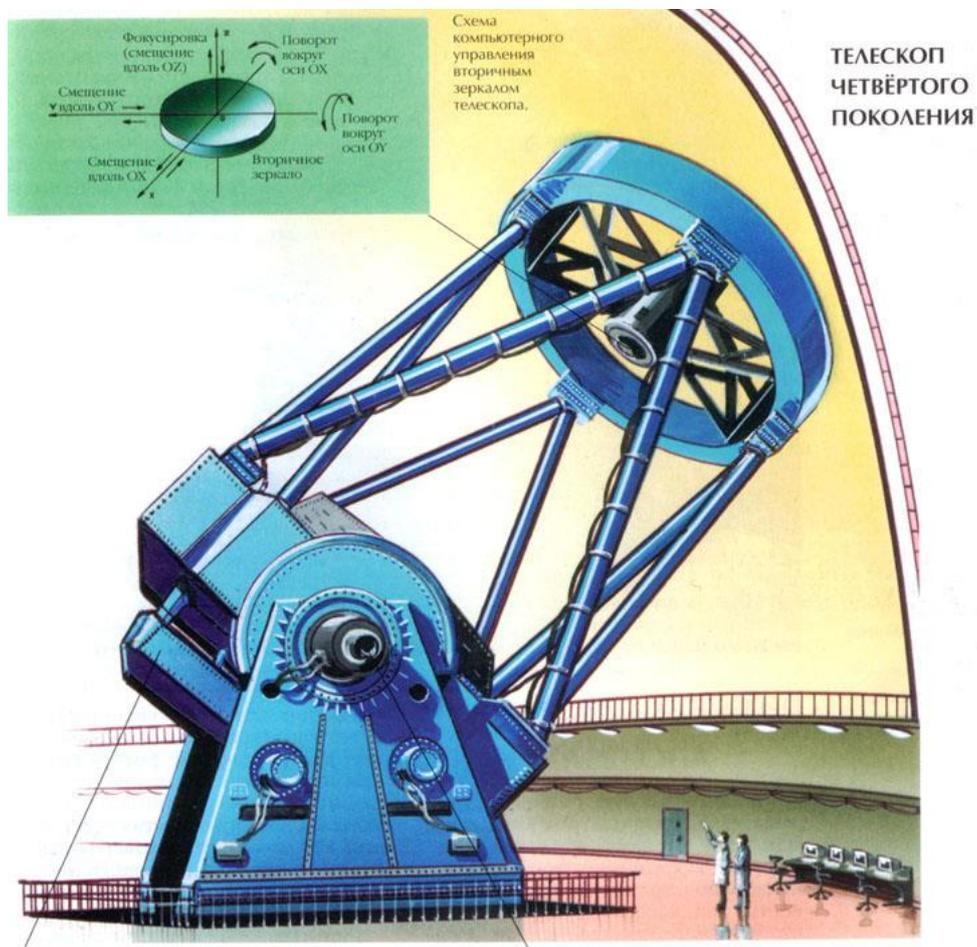
Работа на рефлекторах второго поколения показала, что 3-метровый телескоп с высококачественной оптикой, установленный в пункте со спокойной атмосферой, может оказаться эффективнее 5-метрового, работающего в более плохих условиях. Это было учтено при разработке рефлекторов третьего поколения.

Основной особенностью телескопов третьего поколения является главное зеркало диаметром 3,5 — 4 м гиперболической (а не параболической) формы, изготовленное из новых материалов: плавленого кварца или ситаллов — стеклокерамики с практически нулевым тепловым расширением.

6-метровый телескоп, вошедший в строй в 1975 г., хотя и относится ко второму поколению, но в его конструкцию было внесено одно кардинальное изменение. Телескопы предыдущих поколений устанавливались экваториально. Они сопровождали наблюдаемую звезду, поворачиваясь со скоростью одного оборота в звёздные сутки вокруг оси, направленной на полюс мира. По второй координате объекта — склонению — телескоп устанавливается до начала фотографирования и вокруг этой оси больше не вращается.

Ещё до Второй мировой войны отечественный конструктор астрономических приборов Н. Г. Пономарёв обратил внимание на то, что труба телескопа и вся его конструкция будут значительно легче, а значит, и дешевле, если перейти от экваториальной к азимутальной установке, т. е. если телескоп будет вращаться вокруг трёх осей — оси азимута, оси высоты и оптической оси. Азимутальная компоновка используется во всех без исключения телескопах четвёртого поколения. Кроме этого новшества для них характерно исключительно тонкое зеркало, форма

которого подстраивается с помощью ЭВМ после автоматического анализа оптической системы по изображению звезды.



2.1.3. Любительское телескопостроение

Сегодня любительское телескопостроение – одно из самых распространённых научно-технических увлечений. Среди капиталистических стран в этом деле лидируют США, Австралия, Канада, Франция, Великобритания, Голландия, ФРГ, среди прежних социалистических стран ЧССР, где ещё в 60 годы Эрхарты построили рефлектор с зеркалом диаметром 1м! До сих пор он остаётся крупнейшим в мире любительским телескопом.

Сегодня нет никакой возможности рассказать о любителях разных стран, но о советских нужно сказать хотя бы несколько слов. История любительского телескопостроения у нас в стране началась после выхода в 1915 г. книги А.А.Чикина «Отражательные телескопы: Изготовление рефлекторов доступными для любителя средствами». Более тридцати лет она оставалась единственным серьёзным руководством для любителей. Только в 1949 г. почти одновременно появились краткая «Инструкция по изготовлению самодельного рефлектора» и книга «Самодельный телескоп-рефлектор» написаны цитогенетиком профессором М.С. Навашиним. Эта книга много раз переиздавалась под названием «Телескоп астронома-любителя». В 1946 и в 1948 гг. вышли две монографии Д.Д. Максудова «Астрономическая оптика» и «Изготовление и исследование астрономической оптики».

Легендарный наш оптик Д.Д. Максудов начинал тоже любителем. Двенадцатилетним мальчиком он заинтересовался астрономией, и как большинство любителей, построил сначала 180-миллиметровый, а позже 210-миллиметровый рефлекторы. Интересно, что, став впоследствии одним из самых образованных оптиков XX в., он не имел университетского образования в обычном смысле этого слова. Всем тем, чего он достиг в жизни, он был обязан своему необычайному трудолюбию, настойчивости и, конечно, прирождённому таланту.

Главное изобретение Д.Д. Максудова – менисковые системы. Они стали вехой в истории оптики и получили распространение не только в астрономии.

В мире построено много любительских менисковых телескопов, из которых крупнейший сооружён чешскими любителями Вилемом и Йозефом Эрхартами. Диаметр его мениска 625 мм.

В 40-е годы XX в. М.С. Навашин организовал технический отдел Московского отделения Всесоюзного астрономо-геодезического общества (ВАГО). Через несколько лет он переехал в Ленинград, и отдел свернул свою работу до 1959г., когда во главе его стал художник М.М. Шемякин. Вплоть до 1986 г. он руководил отделом и сумел выпустить в свет три сборника по любительскому телескопостроению(1964, 1966 и 1975 гг.). С помощью Центрального совета ВАГО удалось наладить систематическое проведение Всесоюзных коллоквиумов по любительскому телескопостроению, которые проводятся с 1960г. примерно раз в два года.

К сожалению, самый больной вопрос о снабжении любителей необходимыми материалами до сих пор не решён. Не решён вопрос и о создании Всесоюзного клуба любителей телескопостроения – это сдерживает инициативу многих десятков тысяч людей, желающих построить телескоп.

Сегодня, когда средства, затрачиваемые на профессиональную астрономию, несопоставимы со скромным бюджетом одинокого любителя, профессиональное телескопостроение ушло далеко вперёд, и хотя в ЧССР построен 1-метровый рефлектор, а в США любители приступили к строительству 1,2-метрового телескопа. Основная часть любителей, вероятно, и в относительно далёком будущем будет довольствоваться телескопами диаметром 160-300 мм. Большой телескоп не только труден в постройке, но и требует стационарной установки, а значит, специального помещения. Кроме того, бессмысленно устанавливать его в городе – он должен быть вдали от городских огней, а это означает, что рядом должно быть тёплое помещение для наблюдателей. Все вместе выливается в крупное

предприятие, которое часто недоступно одиночке. Единственный выход – объединение в клубы любительского телескопостроения, возможности которых значительно шире.

Как бы там ни было, с начала XX века построена, по крайней мере, сотня тысяч любительских телескопов, и чаще всего замечательные открытия любители делают с помощью сравнительно малых инструментов. Знаменитый чешский ловец комет А. Мркос начинал свою карьеру с первым и небольшими телескопами братьев Эрхартов. Австралийский ловец комет У. Брэдфилд все свои 13 комет открыл с помощью 16-сантиметрового телескопа, построенного его приятелем. Комета 1976г. Кобаяси – Бергера – Милона открыта телескопами диаметров от 10 до 20 см. Этот перечень можно продолжать очень долго.

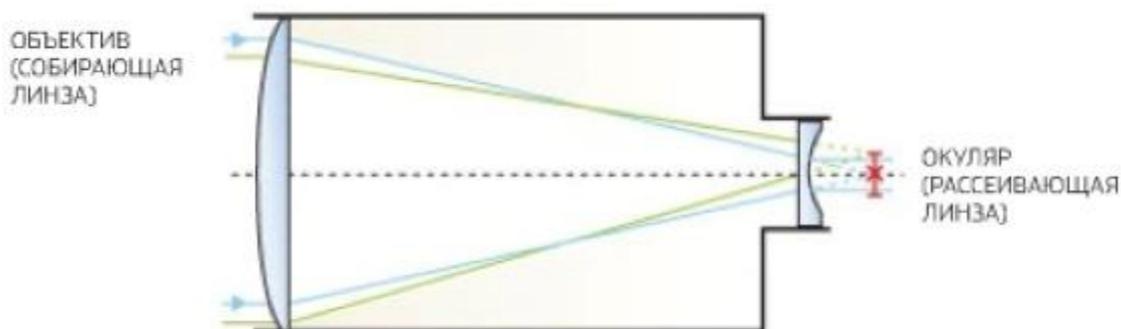
2.2. Теоретическая часть

2.2.1. Виды телескопов

- Рефрактор.
 - У линзовых телескопов отсутствует центральное экранирование, которое уменьшает количество поступающего света и ведет к искажению дифракционной картины;
 - Рефракторы обеспечивают высокую контрастность и превосходное разрешение изображений при наблюдении планет;
 - Минусы - хроматическая aberrация. Для устранения этого дефекта должны использоваться дополнительные линзы и оптические элементы из особых видов стекла.
- Рефлектор.
 - Зеркало как элемент оптической системы рефлектора представляет собой вогнутую пластину стекла сферической или параболической формы, передняя поверхность которого покрыта отражающим материалом;
 - Среди минусов рефлекторов необходимо отметить большую длину трубы, делающую телескоп более уязвимым к колебаниям;
- Катадиоптрические телескопы.
 - Главным преимуществом является простота изготовления сферического зеркала;
 - Трубы телескопов этого типа наиболее компактны по сравнению с другими типами телескопов;
 - Большой фокус;
 - Система содержит оптические элементы из стекла, поэтому на окраине поля зрения проявляется хроматическая aberrация и кома;
 - Фокус жёстко связан с длиной трубы.

2.2.2. Классические оптические схемы

- Схема Галилея.



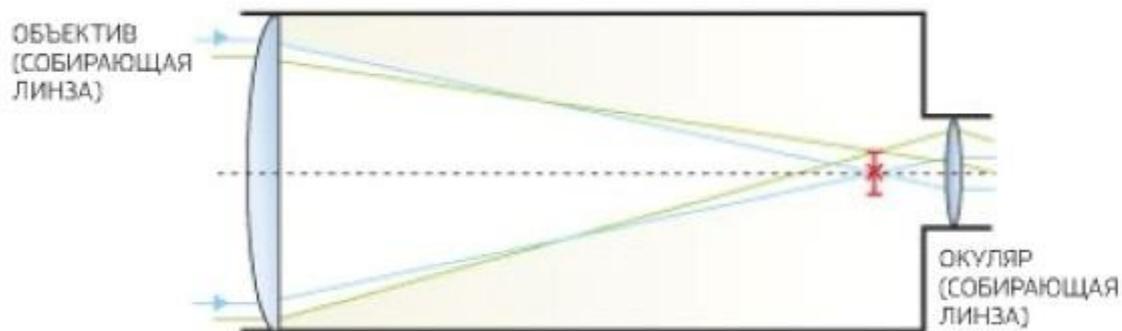
В телескопической системе по схеме Галилея в качестве объектива используется положительная оптическая система, а в качестве окуляра — отрицательная. Задний фокус положительного объектива совпадает с передним фокусом отрицательного окуляра. При таком расположении промежуточное изображение отсутствует.

Достоинствами схемы Галилея являются прямое изображение и меньшая длина по сравнению со схемой Кеплера. В такой схеме общая длина вычисляется не как сумма, а как разность (по модулю) фокусных расстояний объектива и окуляра. Однако у этой схемы есть и свои недостатки. Во-первых, у системы Галилея малое поле зрения, причем, чем больше увеличение телескопа, тем меньше поле зрения. Во-вторых, в системе Галилея отсутствует промежуточное изображение (некуда поставить сетку), поэтому использовать такую систему в измерительных приборах нельзя. Использование системы Галилея (малая длина и прямое изображение) особенно удобно для театральных биноклей с увеличением от двух до трех крат. Система Галилея также применяется для систем сумеречного и ночного наблюдения и в видоискателях фотоаппаратов и видеокамер. В-третьих, у телескопов Галилея показатель преломления стекла зависит от длины волны.

- Схема Кеплера.

Иоганн Кеплер в 1611 г. усовершенствовал телескоп, заменив рассеивающую линзу в окуляре собирающей. Это позволило увеличить поле зрения и вынос зрачка.

В схеме Кеплера объективом и окуляром является положительная оптическая система. Объектив создает перевернутое действительное изображение в своей задней фокальной плоскости, которое можно наблюдать с помощью окуляра. Задняя



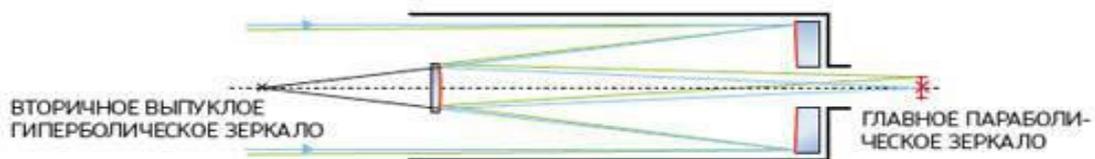
фокальная плоскость объектива совпадает с передней фокальной плоскостью окуляра, так что падающий на объектив параллельный пучок лучей выходит из окуляра также параллельным.

Одним из недостатков схемы Кеплера является большая длина оптической системы, причем, чем больше увеличение, тем длиннее должна быть система Кеплера. Еще одним недостатком системы Кеплера является перевернутое изображение. Это не имеет особого значения для исследования небесных тел, но представляет неудобство для наблюдения земных объектов. Поэтому в биноклях и зрительных трубах приходится применять оборачивающие системы, которые обычно ставятся между объективом и окуляром. Оборачивающие системы могут быть линзовые или призмные. Линзовые оборачивающие системы еще больше увеличивают длину всей системы. Призмные оборачивающие системы состоят из стеклянных призм, действующих, как зеркала. Они сокращают длину всей системы, но при этом увеличивается масса прибора, к тому же возникают трудности технологического характера, связанные с изготовлением и юстировкой призм. Такие системы обычно используются в биноклях большого увеличения. Одним из главных

достоинств системы Кеплера является наличие промежуточного изображения в фокусе объектива, куда можно поставить сетку (прозрачную пластинку со шкалой) и с ее помощью производить точные измерения углов и расстояний.

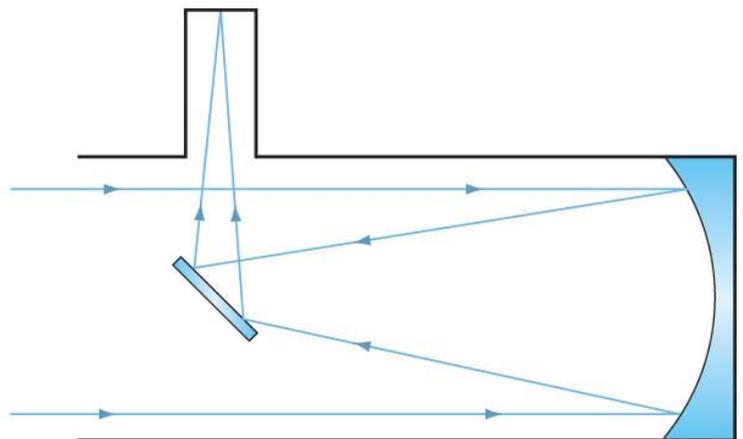
- Схема Кассегрена.

Зеркальные телескопические системы образуют изображение путем отражения света от зеркальной поверхности сферической или параболической формы. Наибольшее распространение получила двух зеркальная схема Кассегрена. После отражения на главном зеркале пучок лучей попадает на вспомогательное зеркало, которое направляет его обратно – через отверстие в главном зеркале. Фокальная плоскость в этой системе располагается за оправой главного зеркала. В фокальной плоскости зеркала могут быть помещены фотопластинки для фотографирования небесных объектов или любая другая светоприемная аппаратура. Изображение либо получается непосредственно на фотографической пластинке, либо исследуется визуально через окуляр. Расстояние от последней поверхности (от большого зеркала) до фокуса значительно меньше фокусного расстояния, поэтому длина системы Кеплера с таким объективом может быть в несколько раз короче, чем если бы использовался обычный линзовый объектив. Для того, чтобы обеспечить как можно большее увеличение при стандартном размере выходного зрачка, необходимо применение объективов с предельно большим диаметром. Увеличение диаметра входного зрачка позволяет увеличить и светосилу, и разрешающую способность, что необходимо, скажем, для наблюдения очень слабых звезд. Технически изготовить зеркало большого диаметра легче, чем линзу, так как оптические неоднородности в толще стекла для зеркала не имеют значения, поэтому применение зеркальных систем позволяет увеличить диаметр входного зрачка, а тем самым – увеличение, светосилу и разрешающую способность телескопической системы. К тому же в зеркальных объективах хроматические aberrации намного меньше, чем в линзовых.



- Схема Ньютона.

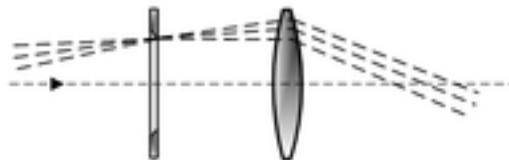
Такую схему телескопов изобрёл Исаак Ньютон в 1668 году. Здесь главное зеркало направляет свет на небольшое плоское диагональное зеркало, расположенное вблизи фокуса. Оно, в свою очередь, отклоняет пучок света за пределы трубы, где изображение рассматривается через окуляр или фотографируется. Главное зеркало параболическое, но если относительное отверстие не слишком большое, оно может быть и сферическим.



2.2.3. Оптические схемы окуляров

- Собирающая линза.

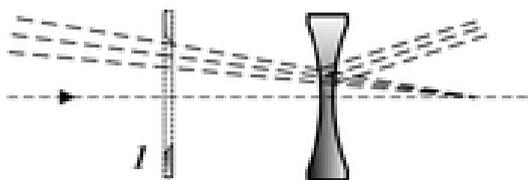
Простая собирающая линза, расположенная за фокусом объектива, строит увеличенное перевернутое изображение. Этот тип окуляров использовался в



микроскопах Захария Янсена в 1590 году и был предложен для использования в телескопах Иоганном Кеплером в 1611 году как способ увеличения поля зрения и увеличения существовавших тогда телескопов.

- Рассеивающая линза.

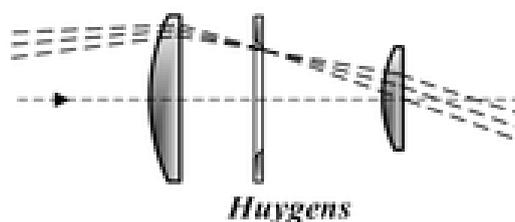
Простая рассеивающая линза, расположенная перед фокусом объектива строит прямое изображение, но с ограниченным полем зрения. Этот тип линз



был использован в первых телескопах, которые появились в Нидерландах в 1608 году, а затем были скопированы с небольшими улучшениями Галилеем в 1609 году, что послужило поводом для того, чтобы называть подобные окуляры галилеевскими.

- Окуляр Гюйгенса.

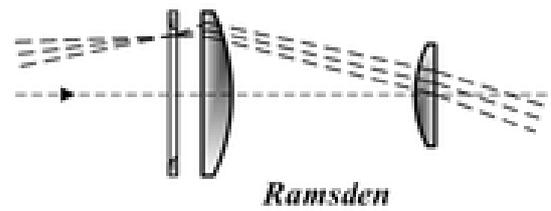
Окуляр Гюйгенса состоит из двух плоско-выпуклых линз, расположенных плоскими частями к глазу наблюдателя и разделённых некоторым промежутком. Линзы



называются линзами глаза и линзами поля. Фокальная плоскость расположена между двумя линзами. Он был изобретен Христианом Гюйгенсом в конце 1660 годов и был первым составным (многолинзовым) окуляром. Гюйгенс открыл, что две разделённые промежутком линзы могут быть использованы для изготовления окуляра с нулевой хроматической аберрацией.

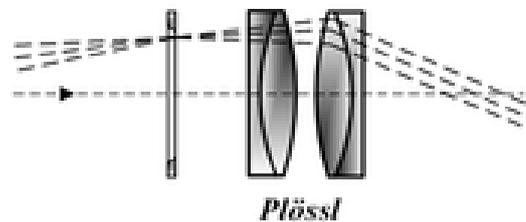
- Окуляр Рамсдена.

Окуляр Рамсдена состоит из двух плосковыпуклых линз с одинаковым фокусным расстоянием и сделанных из одинакового стекла, расположенных на расстоянии меньше одного фокусного расстояния друг от друга. Эта схема была создана изготовителем научного и астрономического оборудования Джесси Рамсденом в 1782 году.



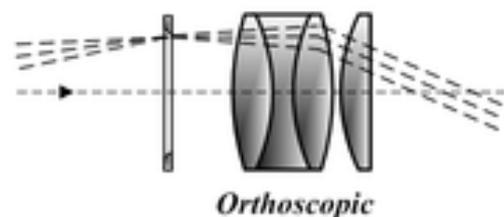
- Окуляр Плессла.

Окуляр Плессла обычно состоит из двух дублетов и был разработан Георгом Симоном Плесслом в 1860 году. Так как дублеты могут быть одинаковы, то этот окуляр иногда ещё называют симметричным. Составные линзы Плессла предоставляют широкое (от 50° и более) видимое поле зрения с относительно большим полем зрения. Это делает этот окуляр идеальным для самых разных целей от наблюдений объектов глубокого космоса до планетных наблюдений. Главным недостатком окуляров Плессла является малый вынос зрачка по сравнению с ортоскопическими.



- Окуляр Аббе.

Четырёхэлементный ортоскопический окуляр состоит из плоско-выпуклого собирающего синглета и склеенного собирающего триплета. Это даёт окуляру почти идеальное качество изображения и хороший вынос зрачка, но скромное поле зрения. Они были изобретены Эрнстом Аббе в 1880 году. До изобретения многослойного просветления и популярности окуляров Плессла, ортоскопические окуляры были самыми популярными телескопическими окулярами. Даже сейчас они считаются хорошими для наблюдения Луны и планет.



2.2.4.Механика

Монтировка состоит из двух взаимно перпендикулярных осей для наводки телескопа на объект наблюдения. Также монтировка может содержать приводы и системы отсчёта углов поворота. Устанавливается монтировка на какое-либо основание: колонну, треногу или фундамент. Основная задача монтировки — обеспечение выхода трубы телескопа в указанное место и плавность ведения объекта наблюдений.

Основные факторы, влияющие на качество решения задачи, следующие:

- Сложность закона изменения атмосферной рефракции;
- Дифференциальная рефракция;
- Технологическая точность изготовления привода;
- Точность подшипников;
- Деформация монтировки.

Основное достоинство монтировки — простота сопровождения звезд. Вместе с этим возникает ряд трудностей, которые при увеличении массы телескопа становятся существенными:

- Деформации монтировки различны в зависимости от положения телескопа;
- При изменении положения телескопа изменяется и нагрузка на подшипники;
- Сложность при синхронизации с куполом монтировки.
 - Альт-азимутальная монтировка.

Похожа на алидаду теодолита или штативную головку фотоаппарата. У неё первая ось вертикальна, вторая горизонтальна. Альт-азимутальная монтировка легка, компактна и дешева, но обладает существенным минусом. Поскольку «серьёзные» телескопы предназначены именно для фотографирования, а не для визуального наблюдения, наводку телескопа приходится корректировать одновременно по трём осям: азимут, угол места и поворот фотоматериала.

Альт-азимутальная монтировка применяется в современных больших телескопах: вертикальное расположение одной из осей позволяет значительно уменьшить и упростить по характеру деформации системы под действием силы тяжести, что важно при значительной массе телескопа. Наводкой управляет сложный вычислительный комплекс.

У альт-азимутальной монтировки есть «мёртвая точка» — зенит. Чтобы заснять объект, пролетающий через зенит, приходится очень быстро поворачивать телескоп по азимуту. Если это технически невозможно, объект потерян.

Альт-азимутальная монтировка популярна в любительской астрономии, так как позволяет сделать телескоп большим (вплоть до полуметра), но дешёвым и транспортабельным. Компенсация вращения не предусматривается вообще.

- Экваториальная монтировка.

Если же нужно компенсировать вращение Земли без компьютеров и сервомоторов, используют экваториальную монтировку. Одна ось поворота параллельна земной оси, вторая — перпендикулярна ей. Чтобы удерживать в поле зрения одну и ту же точку неба, достаточно вращать прибор вокруг одной оси со скоростью 1 оборот за 23 часа 56 минут 4 секунды (звёздные сутки) — часовым механизмом или электродвигателем с редуктором.

Однако экваториальная монтировка сложнее, массивнее и дороже в изготовлении. Кроме того, такая монтировка имеет конструктивные ограничения при использовании в приполярных широтах. Мёртвой точкой экваториальной монтировки является, естественно, полюс мира (северный или южный, в зависимости от полушария). Это самая удачная из всех возможных мёртвых точек — теоретически через полюс может пройти лишь небольшое тело наподобие кометы, метеорита или спутника.

- Монтировка Добсона.

Данная монтировка является разновидностью азимутальной монтировки, которая представляет собой платформу, скрепленную осью с вращающейся азимутальной вилкой. На концах стоек расположены специальные пасы, в которые ложатся полуоси склонения.

Данная монтировка является упрощенной, удобной и наиболее дешевой азимутальной монтировкой для больших Ньютоновских телескопов. Конструкция монтировки настолько проста, что любой астроном-любитель может построить ее самостоятельно из подручных средств.



2.2.5. Характеристики телескопа

- Фокусное расстояние, как и апертура, является одной из основных характеристик оптического телескопа. Фокусное расстояние будет определять длину трубы телескопа, а также другие характеристики прибора. От фокусного расстояния зависит светосила телескопа, а также оптическое увеличение. Кроме того, фокусное расстояние определяет также другие характеристики телескопа, например, его поле зрения.

$$f = \frac{v \cdot u}{v + u}$$

- Светосила телескопа рассчитывается как отношение фокусного расстояния к диаметру объектива. Обратной величиной к светосиле является относительное отверстие. Здесь действует прямая зависимость: чем больше относительное отверстие, тем выше светосила. Большая светосила является существенной при астрофотографии, так как позволяет использовать более короткие выдержки при фотографировании. Также телескопы с большой светосилой отличаются компактностью (за счет более короткого фокуса). Светосильные телескопы максимально эффективны при наблюдении с малыми увеличениями. Однако следует иметь в виду, что чем выше светосила телескопа, тем больше телескоп подвержен оптическим aberrациям.

$$Q_s = \left(\frac{D}{f'}\right)^2 \quad A = \frac{D}{F}$$

- Проницающая сила. Это звездная величина наиболее неярких звезд, видимых с помощью телескопа при наблюдении в зените.

$$m = 2,1 + 5 \lg D$$

- Разрешающая способность. Способность оптического прибора воспроизводить изображение близко расположенных объектов. Зависит от диаметра объектива. Разрешающая способность при наблюдении

ограничена не только возможностями телескопа, но и атмосферной турбулентностью.

$$r = \frac{140}{D}$$

- Кратность. Данная характеристика выражает отношение фокусного расстояния объектива и окуляра. Увеличение телескопа на практике будет влиять внешний фактор, а именно, состояние атмосферы Земли.

$$\Gamma = \frac{F}{f}$$

- Поле зрения телескопа рассчитывается следующим образом: поле зрения окуляра необходимо поделить на увеличение телескопа с данным окуляром. Чем меньше увеличение, тем больше поле зрения телескопа.

$$\omega = \frac{\Omega}{\Gamma}$$

- С апертурой непосредственно связана другая характеристика телескопа – разрешающая способность. Выражается характеристика в угловых секундах. Чем больше апертура, тем больше света телескоп способен собрать, и, следовательно, тем ярче будет изображение объекта.

2.2.6. Параметры окуляра

- Элементы и группы. Первые окуляры имели только одну линзу, которая строила весьма искажённые изображения. Двух- и трёхэлементные линзы были изобретены немного позже и быстро стали стандартом из-за хорошего качества изображения. Сейчас инженеры с помощью компьютеров и специализированного программного обеспечения разработали окуляры с семью или восемью элементами, дающие хорошие, резкие изображения.

Элементы — это отдельные элементарные линзы, «синглеты».

Группа — это сложная линза, склеенная из нескольких простых, элементарных линз (элементов). Когда группа склеена из пары элементов (двухлинзовая группа), то она называется дублетом; если из трёх — триплетом.

- Внутренние отражения, также называемые бликами, вызываются дисперсией света, проходящего через окуляр, и снижают контраст изображения, проецируемого окуляром. Иногда из-за этого возникают т. н. «призрачные изображения». Из-за этого долгое время (до изобретения антибликовых покрытий) предпочитали использовать простые оптические схемы с минимальным количеством контактов между стеклом и воздухом.
- Хроматические aberrации вызываются разницей показателя преломления для света с разной длиной волны. Например, голубой свет, проходящий через элемент окуляра, сфокусируется не в той же точке, что и красный. Из-за этого вокруг объектов может возникать цветная кайма или же наблюдаться общая размытость изображения.

Единственное решение этой проблемы — использование множества элементов, выполненных из разных видов стекла. Ахроматы — группы линз, которые собирают свет с соответственно двумя или тремя и более разными длинами волн в одном фокусе и почти устраняют цветную кайму.

- Фокусное расстояние окуляра — это расстояние от его главной плоскости до той точки, где лучи света или их продолжения (в случае окуляра Галилея) пересекаются в одной точке. От фокусных расстояний окуляра и объектива или главного зеркала (в случае рефлектора) зависит угловое увеличение. Как правило, фокусное расстояние отдельного окуляра выражается в миллиметрах. При использовании окуляров с конкретным инструментом иногда предпочитают сортировать их по увеличениям, которые будут получаться при их применении. Увеличение возрастает при уменьшении фокусного расстояния окуляра или возрастании фокусного расстояния объектива или главного зеркала. Например, 25-мм окуляр с телескопом с фокусным расстоянием в 1200 мм даст увеличение в 48 раз, 4-мм же окуляр с тем же телескопом даст увеличение в 300 раз. Астрономы-любители различают окуляры по их фокусному расстоянию, выраженному в миллиметрах. Обычно они составляют от 3 до 50 мм. Тем не менее, некоторые астрономы предпочитают различать окуляры по увеличению, даваемому ими с тем или иным инструментом. В астрономических отчётах лучше указывать увеличение, так как это даст больше представления о том, что видел наблюдатель.

$$f = \frac{v \cdot u}{v + u}$$

- Обычно фокальная плоскость окуляра расположена за пределами его линз, перед линзой поля. В этой плоскости можно поместить сетку или микрометрическое перекрестие. В некоторых типах окуляров, например, в окулярах Гюйгенса и Наглера, фокальная плоскость расположена между линз окуляра, и, следовательно, размещение в фокальной плоскости сетки неосуществимо.

Фокальная плоскость располагается на срезе опорной окулярной втулки прибора, и соответственно, опорной втулки окуляра. Если же у окуляра фокальная плоскость смещена, величина этого смещения называется

парфокальностью, и измеряется от опорной окулярной втулки прибора в сторону объектива.

- Поле зрения определяет насколько много можно увидеть через окуляр. Поле зрения может меняться в зависимости от увеличения, получаемого с помощью данного телескопа или микроскопа, и также зависит от характеристик самого окуляра.

$$2W = \frac{2W'}{\left(\frac{F}{f}\right)}$$

- Величина смещения из фокальной плоскости объектива. Фокусировка зрительной трубы на конечное расстояние может быть достигнута перемещением окуляра. Величина перемещения окуляра тем больше, чем больше фокусное расстояние объектива.

$$Z' = -\frac{f_{об}^2}{Z}$$

- Вынос выходного зрачка — расстояние от глазной линзы окуляра до точки на его оптической оси, куда следует поместить глаз, чтобы увидеть все поле зрения.

Как правило, вынос зрачка колеблется между 2 и 20 мм, в зависимости от конструкции окуляра. Длиннофокусные окуляры как правило имеют больший вынос зрачка, а короткофокусные — малый, что, как уже говорилось выше, может быть проблематичным. Рекомендованный минимальный вынос зрачка — около 5—6 мм. Как правило, чем короче фокусное расстояние окуляра, тем меньше вынос зрачка. Практика показывает, что комфортное значение выноса выходного зрачка ограничено верхним пределом в 25 мм. При использовании очков рекомендуется подбирать окуляры с выносом зрачка около 20 мм, без них — примерно 12 мм.

2.3. Исследовательская часть

Тема: любительский телескоп.

Цель: построить оптический прибор.

Ход работы:

- Вычисление параметров имеющихся элементов;
- Поиск простой и универсальной схемы телескопа;
- Изучение оптической схемы телескопа;
- Определение преимуществ и недостатков данной оптической системы;
- Определение сложности реализуемого телескопа;
- Подбор необходимых инструментов и ресурсов;
- Первоначальная заготовка и чертёж;
- Выбор конструкции;
- Моделирование окуляра;
- Выбор объектива;
- Предварительный просмотр всех элементов телескопа;
- Обработка линз и зеркал;
- Подготовка корпуса телескопа и прочих вспомогательных частей;
- Окончательное проектирование;
- Конструирование окуляра и оборачивающей системы;
- Закрепление объектива и зеркал в корпусе телескопа;
- Совмещение получившихся частей;
- Сравнение получившегося оптического прибора с чертежом;
- Вывод.

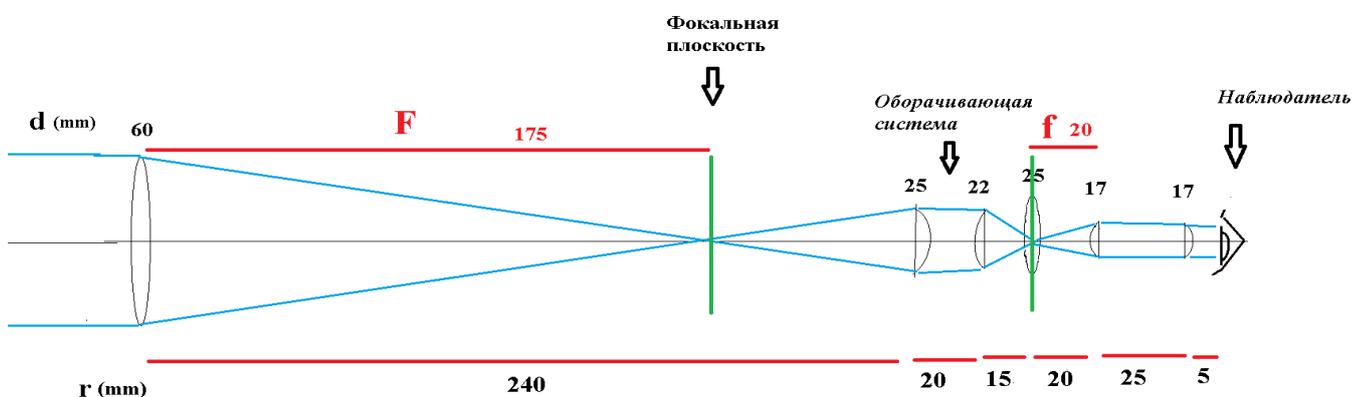
Этапы сборки телескопа:

- Вычисление параметров элементов оптической системы и характеристики телескопа;
- Выбор оптической системы;
- Характеристики;

- Сложность проектируемого телескопа. Соразмерность навыков и ресурсов;
- Изготовление чертежа, учитывающий ход лучей, расположение главного фокуса, фокальной плоскости.
- Выбор конструкции телескопа: монтировки, объектива, окуляра, трубы, крепления;
- Дополнение чертежей. Редактирование заготовки;
- Проектирование окуляра;
- Выбор соответствующего объектива;
- Просмотр элементов телескопа на наличие дефектов;
- Окончательное оформление заготовки. Подготовка элементов оптической системы;
- Реализация: закрепление, сбор;
- Проверка на работоспособность;
- Вывод. Результат.

Результат:

Оптическая схема телескопа:



Результаты измерения параметров телескопа:

- Угловое увеличение(кратность).

$$\Gamma = F/f = 175/20 = 8,75$$

- Разрешающая способность.

$$r = 140/D = 140/60 = 2,3$$

- Светосила.

$$Q = (D/f)^2 = (60/30)^2 = 4$$

- Относительное отверстие.

$$A = D/F = 60/175 = 0,34$$

Вывод: По полученным вычислениям можно сделать вывод о получившемся проекте. Результат работы – зрительная труба кратностью 8,75 и представляет собой уменьшенный в размерах телескоп-рефрактор, создающий действительное изображение. Данный рефрактор является зрительной трубой с изменяемым увеличением.

3. Заключение

Оптические телескопы существенно изменились по прошествии четырёхсотлетнего пути своего развития. Сейчас они представляют собой телескопы – гиганты, оснащённые высокотехнологическими детекторными комплексами и устройствами.

В течение этого времени происходили важные события, имевшие громадное значение для телескопостроения, особенно любительского. Так, множество людей, будучи лишь любителями в этой области, совершили много открытий, и каждый из них мог являться ведущим специалистом своего времени. К примеру, англичанин Рассел Портер – полярный исследователь, штурман, художник и любитель телескопостроения стал в начале XX века таким авторитетом, что при проектировании 5-метрового рефлектора обсерватории МаунтПаломар (США) его пригласили для разработки конструкции монтировки. Знаменитое теперь «ярмо с подковой» - это одна из многочисленных разработок Портера.

Во всём мире, и в России в частности, очень много астрономов-любителей (больше 10 тысяч). Астрономы-любители занимают определённую нишу в изучении мира. Во главу угла ставится приобретение личного (в том числе и эстетического) опыта, впечатлений и знаний. Во вторую очередь — обмен знаниями и впечатлениями с другими любителями, организация сообществ по совместным наблюдениям, изготовлению и модернизации инструментов. Однако, любители играют некоторую роль и в «большой» астрономии.

С начала XX века построена, по крайней мере, сотня тысяч любительских телескопов, и чаще всего замечательные открытия делают с помощью сравнительно малых инструментов.

Итак, сегодня любительское телескопостроение – одно из самых распространённых научно – технических увлечений.

4.Список литературы

1. Сикорук Л.Л. Телескопы для любителей астрономии – М.: Наука, 1982.
2. http://aco.ifmo.ru/el_books/introduction_into_specialization/glava-5/glava-5-3.
3. <http://galspace.spb.ru/nature.file/16099>.
4. <http://ecumene.narod.ru/encyclopaedia>.
5. <http://www.astrotime.ru/focus>.

5. Приложение

Зрительная труба состоит из 3 труб, хомутов, лупы и окуляра из 5 линз.



Труба даёт прямое изображение и является трубой с внутренней фокусировкой.

На первом изображении (начиная слева) показано положение окуляра относительно корпуса, которое позволяет рассматривать предметы на небольшом расстоянии. При перемещении окуляра, изменяется фокусное расстояние. Изображение предмета, находящееся в фокальной плоскости двояковыпуклой линзы, также перемещается вдоль оптической оси. На втором изображении окуляр установлен таким образом, что возможно наблюдение предметов вдали от себя.

Третья фотография иллюстрирует 2 основных элемента зрительной трубы: объектив и окуляр.



Объектив (двояковыпуклая линза)



Окуляр



Нахождение фокусного расстояния линзы



Набор линз



На 1 фотографии (слева) изображена область наблюдения не вооружённым глазом (расстояние от места наблюдения до окна 40 метров)

На 2 фотографии (слева внизу) показано изображение этой области в бинокль 7×50 (1 число показывает кратность, 2 – входную апертуру объектива).

На 3 фотографии показано изображение, показываемое собранной зрительной трубой (кратностью 8,75 и входной апертурой 60 мм).



Оптическая схема зрительной трубы

