[Введение.](#_Toc484772450)

[1 Оптические телескопы и их использование.](#_Toc484772451)

[1.1 История первых оптических наблюдений.](#_Toc484772452)

[1.2 Схема и устройство оптических телескопов.](#_Toc484772453)

[1.3 Использование фотографических методов.](#_Toc484772454)

[1.4 Спектральные наземные исследования.](#_Toc484772455)

[2 Достижения современной оптической астрономии.](#_Toc484772456)

[2.1 Использование ПЗУ-матриц ЭВМ.](#_Toc484772457)

[2.2 Использование спутниковых систем Земли для определения расстояния до звезд.](#_Toc484772458)

[2.3 Космические телескопы (в оптическом диапазоне) и открытия сделанные с их помощью.](#_Toc484772459)

[3 Использование приведенного материала в учебном процессе.](#_Toc484772460)

[3.1 Включение материала в темы занятий по физике, естествознанию (рекомендации для учителя).](#_Toc484772461)

[3.2 Планы-конспекты уроков](#_Toc484772462)

[Заключение](#_Toc484772463)

# Введение.

Цель астрофизики – изучение физической природы и эволюции отдельных космических объектов, включая и всю Вселенную. Таким образом, астрофизика решает наиболее общие задачи астрономии в целом. За последние десятилетия она стала ведущим разделом астрономии. Это не означает, что роль таких «классических» разделов как небесная механика, астрометрия и т.п. – уменьшилась. Наоборот, количество и значимость работ в традиционных областях астрономии в настоящее время также растет, но в астрофизике этот рост проходит быстрее. В целом астрономия развивается гармонически, как единая наука, и направление исследований в различных ее разделах учитывает взаимные их интересы, в том числе и астрофизики. Так, например, развитие космических исследований частично способствовало возникновению нового раздела небесной механики – астродинамики. Построение космических моделей Вселенной предъявляет особые требования к «классическим задачам» астрометрии и т.д.

Как известно, за свою многовековую историю астрономия претерпела несколько революций, полностью изменивших ее характер. Одним из результатов этого процесса явилось возникновение и бурное развитие астрофизики. Особенно этому способствовало применение телескопа с начала XVII века, открытие спектрального анализа и изобретение фотографии в XIX веке, возникновение фотоэлектрии, радиоастрономии и внеатмосферных методов исследования в XX веке. Все это необычно расширило возможности наблюдательной или практической астрофизики, и привело к тому, что в середине XX века астрономия стала всеволновой, т.е. получила возможность извлекать информацию из любого диапазона спектра электромагнитных излучения.

Параллельно с развитием методов практической астрофизики, благодаря прогрессу в физике и особенно созданию теории излучения и строения атома, развилась теоретическая астрофизика. Ее цель – интерпретация результатов наблюдений, постановка новых задач исследований, а также обоснование методов практической астрофизики.

Оба раздела астрофизики в свою очередь подразделяются на более частные. Разделение теоретической астрофизики, как правило, производится по объектам исследований: физика звезд, Солнца, планет, туманностей, космических лучей, космологией и т.д. Разделы практической астрофизики обычно отражают те или иные применяемые методы: астрофотометрия, астроспектрометрия, астрофотография, колориметрия и т.д.

Разделы астрофизики, основание на применение принципиально новых методов, составившие эпоху в астрономии, и, как правило, включающие соответствующие разделы теоретической астрофизики получили такие названия, как радиоастрономия, баллонная астрономия, внеатмосферная астрономия (космические исследования), рентгеновская астрономия, гамма-астрономия, нейтринная астрономия.

Совокупность всех видов излучения называется спектром электромагнитного излучения. Электромагнитный спектр, исследуемый в астрофизике показан в таблице 1.

**«Я вне себя от изумления, так как уже успел убедится, что Луна представляет собой тело, подобное Земле.»**

**Галилео Галилей (1610 год)**

# Оптические телескопы и их использование.

## История первых оптических наблюдений.

Трудно сказать, кто первый изобрел телескоп. Известно, что еще древние употребляли увеличительные стекла. Дошла до нас и легенда о том, что якобы Юлий Цезарь во время набега на Британию с берегов Галлии рассматривал в подзорную трубу туманную британскую землю. Роджер Бекон, один из наиболее замечательных ученных и мыслителей XIII века, он изобрел такую комбинацию линз, с помощью которой отдаленные предметы при рассматривании их кажутся близкими.

Так ли это было в действительности – неизвестно. Бесспорно, однако, что в самом начале XVII века в Голландии почти одновременно об изобретении подзорной трубы заявили три оптика – Липперсгей, Мециус и Янсен. Рассказывают, что будто бы дети одного из оптиков, играя с линзами, случайно расположили две из них так, что далекая колокольня вдруг показалась близкой. Как бы там ни было, к конце 1608 года первые подзорные трубы были изготовлены и слухи об этих новых оптических инструментах быстро распространились по Европе.

В Падуе в это время уже пользовался широкой известностью Галилео Галилей, профессор местного университета, красноречивый оратор и страстный сторонник учения Коперника. Услышав о новом оптическом инструменте решил собственноручно построить подзорную трубу. Сам он рассказывает об этом так: «Месяцев десять тому назад стало известно, что некий фламандец построил перспективу, при помощи которой видимые предметы, далеко расположенные от глаз, становятся отчетливо различимы, как будто они находятся вблизи. Это и было причиной, по которой я обратился к изысканию оснований и средств для изобретения сходного инструмента. Вскоре после этого, опираясь на учение о преломлении, я постиг суть дела и сначала изготовил свинцовую трубу, на концах которой я поместил два оптических стекла, оба плоских с одной стороны, с другой стороны одно стекло выпукло-сферическое, другое вогнутое».

Этот первенец телескопической техники давал увеличение всего в три раза. Позже Галилео удалось построить более совершенный инструмент, увеличивающий в 30 раз. И тогда, как пишет Галилей «оставив дела земные, я обратился к небесам».

7 января 1610 года навсегда останется памятной датой в истории человечества. Вечером этого дня Галилей впервые направил построенный им телескоп на небо. Название «телескоп» было присвоено новому инструменту по решению итальянской Академии наук. Он увидел то, что предвидеть заранее было невозможно. Луна, испещренная горами и долинами, оказалась миром, схожим хотя бы по рельефу с Землей. Планета Юпитер предстала перед глазами изумленного Галилея крошечным диском, вокруг которого обращались четыре необычные звездочки – его спутники. Картина эта в миниатюре напоминала Солнечную систему по представлению Коперника. При наблюдениях в телескоп планета Венера оказалась похожей на маленькую луну. Она меняла свои фазы, что свидетельствовало о ее обращении вокруг Солнца. На самом Солнце (поместив перед глазами темное стекло) Галилей увидел черные пятна, опровергнув тем самым общепринятое учение Аристотеля о «неприкосновенной чистоте небес». Эти пятна смещались по отношению к краю солнца, из чего Галилей сделал правильный вывод о вращении Солнца вокруг оси.

В темные прозрачные ночи в поле зрения галилеевского телескопа было видно множество звезд, недоступных невооруженным глазу. Некоторые туманные пятна на ночном небе оказались скопищами слабо светящихся звезд. Великим собранием скучено расположенных звездочек оказался и Млечный путь – беловатая, слабо светящаяся полоса, опоясывавшая все небо.

Несовершенство первого телескопа помешало Галилею рассмотреть кольца Сатурна. Вместо колец он увидел по оде стороны Сатурна два каких-то странных придатка.

Открытия Галилея положили начало телескопической астрономии. Но его телескопы (рисунок 1), утвердившие окончательно новое коперническое мировоззрение, были очень не совершенны.

Уже при жизни Галилея им на смену пришли телескопы несколько иного типа. Изобретателем нового инструмента был уже знакомый нам Иоган Кеплер. В 1611 году в трактате «Диоптрика» Кеплер дал описание телескопа, состоявшего из двух двояковыпуклых линз. Сам Кеплер, будучи типичным астрономом – теоретиком, ограничился лишь описанием схемы нового телескопа, а первым, кто построил такой телескоп и употребил его для астрономических целей, был иезуит Шейкер, оппонент Галилея в их горячих спорах о природе солнечных пятен.

Галилей изготовил трубу с увеличением в 30 раз. Эта труба имела длину 1245 мм; объективом у нее была выпуклая линза, диаметром в 53,5 мм; плосковогнутый окуляр имел диаметр в25 мм. Труба с увеличением в 30 раз была лучшей из труб Галилея; она до сих пор сохраняется в музее во Флоренции. При ее помощи Галилей сделал все свои телескопические открытия.

Галилей открыл на Луне горы и горные цепи, а также несколько темных пятен, которые назвал морем. При первом же знакомстве с поверхностью Луны Галилео бросилось в глаза сведущее обстоятельство: поверхность Луны казалась похожей на поверхность Земли – на лунной поверхности (как и на земной) оказались и большие горы, и горные цепи, и моря, и долины. Галилей первое время предполагал присутствие на Луне воды (в морях) и атмосферной оболочки.

В конце 1609 и в начале 1610 годов Галилей исследовал при помощи телескопа различные небесные объекты, в том числе млечный Путь. Аристотель считал Млечный Путь атмосферным явлением. Но в телескоп Галилей сразу увидел, что сияние Млечного Пути вызывается бесчисленно скученно расположенными звездочками. Таким образом, Млечный путь оказался скоплением звезд, т.е. явлением космическим, а вовсе не атмосферным.

Изумительное открытие сделал Галилей, наблюдая в начале января 1610 года планету Юпитер.

Сохранился журнал наблюдений Галилея, который он начал регулярно вести с 7 января 1610 года. 7 января он увидел около Юпитера три светлые звездочки; две находились к востоку от Юпитера, а третья – к западу. 8 января он опять направил свою трубу на Юпитер. И что же? Расположение звездочек изменилось. Все три звездочки помещались теперь к западу от планеты и ближе одна к другой, чем в предшествующее наблюдение. «Они, - пишет Галилей в «Звездном вестнике», - по прежнему стояли на одной прямой линии, но уже были разделены собой равными промежутками». 9 января было видно только две, и обе они находились к востоку от Юпитера.

13 января Галилей увидал уже четыре звездочки около Юпитера; затем все четыре звездочки он снова наблюдал 15 ,19, 20, 21, 22 и 26 января и окончательно уверился в том, что он сделал совершенно неожиданное открытие: установил существование четырех спутников планеты Юпитер. Этих спутников Галилей решил назвать «светилами Медичи», посвятив свое открытие герцогу Тосканскому Козимо II Медичи.

В октябре 1610 года Галилей сделал новое сенсационное открытие: он заметил фазы Венеры. Галилей был уверен, что Венера имеет фазы и нисколько не был удивлен, что их увидел. К концу 1610 года относится еще одно замечательное открытие: Галилей усмотрел на диске Солнца темные пятна. Эти пята приблизительно в тоже время увидели и другие: английский математик Гарриот (1560 – 1621), голландский астроном Иоганн Фабриций (1587 – 1615) и иезуит Христофор Шейнер (1575 – 1650).

Фабриций первый оповестил ученый мир о своем открытии, издав на латинском языке брошюру «Рассказ о пятнах, наблюдениях о Солнце, и кажущемся их перемещении вместе с Солнцем». В этой брошюре автор утверждает, что впервые заметил пятно на диске Солнца 9 марта 1611 года. После нескольких дней наблюдений пятно исчезло на западном краю солнечного диска, а недели через две снова появилось на восточном. Из этих наблюдений Фабриций заключил, что пятно совершает обращение вокруг Солнца. Вскоре, однако, он понял, что перемещение пятна по солнечному диску только кажущееся, и что в действительности само Солнце вращается вокруг оси.

Герриот увидел три черных пятна на солнечном диске 1 декабря 1610 года. Наконец, иезуит Христофор Шейнер увидел солнечные пятна в 1611 году, но не торопился с опубликованием своего неожиданного открытия.

Открытие Галилея сравнивали с открытием Америки; писали, что текущее столетие будет по праву гордится открытием «новых небес». Имя Галилея прославлялось в многочисленных письмах, в честь него сочинялись оды. Он сделал в короткое время самым знаменитым ученым Европы. Галилей демонстрировал в телескоп небесные объекты многим своим согражданам и случайным посетителям.

Замечание Галилея относительно природы Луны и относительно лунных гор и горных цепей и сделанные им измерения высот лунных гор показывают, что он стоял на точке зрения Коперника и Бруно. Из чтения «Звездного вестника» читатели могли вывести только такое заключение, что Галилей, на основании своих телескопических наблюдений, считает Луну сходной по своей природе с Землей.

С точки зрения церкви это пахло ересью, так как шло в разрез с освещавшейся церковью идеей Аристотеля о категорическом различие «земного» и « небесного». В свою трубу Галилей не один раз наблюдал «пепельный свет» молодой Луны; он, как за столетие до этого и Леонардо да Винчи, объяснил совершенно правильно явление пепельного света тем, что темная часть поверхности луны в это время освещается светом Солнца, отраженным от земной поверхности. Галилей использовал свое объяснение в чисто коперническом духе в качестве сильного аргумента в пользу того предложения, что и зама Земля, подобно другим планетам, является светилом. Галилей так и пишет: «При помощи доказательств и естественнонаучных выводов мы стократно подтвердили, что Земля движется, как планета, и превосходит Луну блеском своего света». Подобное заключение вело прямо к нарушению основного положения учения Коперника, что Земля – одна из планет, обращающихся вокруг Солнца. Ученые различных лагерей, читавшие «Звездный вестник», хорошо это понимали. Вот почему «Звездный вестник» одними читался с восторгом, другими – с отвращением, как книга еретическая, противная церковной традиции и физике Аристотеля. Говоря о спутниках Юпитера. Галилей также открыто заявляет себя коперниканцем.

Против открытий, описанных в «Звездном вестнике», посыпались печатные возражения. Немецкий астролог Мартин Хорки написал брошюру под заглавием: «Очень краткий поход против «Звездного вестника»». Это произведение – стряпня астролога, проникнутого верой в свою «науку» и не желавшего «верить галилеевой трубе», так как «трубы порождают иллюзии». Спутники Юпитера придуманы Галилеем, утверждал Хорки, «для удовлетворения ненасытной его жадности к золоту».

Другой оппонент – итальянец Коломбе – послал Галилею целый трактат, где между прочим возражал против лунных гор и вообще против всякого рода возвышений и углублений на луне. По мнению Коломбе, наблюдавшееся Галилеем на луне пропасти и впадины заполнены каким-то совершенно прозрачным кристаллическим веществом. Таким образом, Луна все-таки представляет собою точную сферу, как и предполагал «великий учитель Аристотель».

Флорентинец Франческо Сицци тоже выпустил памфлет против «Звездного вестника», где свел споры о новых неожиданных открытиях Галилея к чисто богословским тонкостям. Так, Сицци заявляет, что во второй книге Моисея и в четвертой главе книги пророка Захарии будто бы содержаться указания, что число планет на небе равно семи. Число семь вообще является символом совершенства, например, в голове человека – семь «отверстий» (два уха, два глаза, две ноздри и один рот). Аналогично бог создал семь планет: две «благодетельные» - Юпитер и Венеру, две «вредоносные» - Марс и Сатурн, две являющиеся «светилами» - Солнце и Луну, и одну «безразличную» - Меркурий. Отсюда Сицци делает вывод: никаких новых планет (т.е. спутников Юпитера) не может быть, а Галилей с его трубой грубо ошибся.

Таковы были аргументы тогдашних ученых. Однако открытия Галилея скоро были подтверждены. Существование спутников юпитера констатировал Иоган Кеплер. Он описал свои наблюдения в небольшой брошюре на латинском языке: «Рассказ Иоганна Кеплера о его наблюдениях четырех спутников Юпитера, которых флорентийский математик Галилей по праву открытия назвал Медическими светилами». Кеплер наблюдал в довольно посредственную трубу. Несколько раз в начале сентября 1610 года Кеплер ясно видел то двух, то трех спутников Юпитера, но в наблюдении четвертого не был уверен. В ноябре 1610 года Пейреск во Франции тоже регулярно, как и Галилей, стал наблюдать спутников Юпитера, задавшись целью составить таблицы их движения. В наблюдениях ему помогали Готье и Гассенди. Таблиц, однако, им составить не удалось, так как наблюдения их были недостаточно точны.

Галилею хотелось подтвердить сделанные им телескопические открытия, отведя нелепые обвинения его в том, что он все это просто придумал. Вскоре ему это удалось. Римская коллегия подтвердила с некоторыми, очень незначительными оговорками действительность телескопических открытий Галилея. Отцы-иезуиты римской коллегии сами наблюдали весьма тщательно и усердно, записи и чертежи их наблюдений юпитеровых спутников сохранились и были опубликованы в миланском издании сочинений Галилея. Таким образом, в ожесточенной борьбе между учеными-новаторами и учеными-схоластиками, занимавшим положение Аристотеля, победил Галилей. Но его победа над упрямыми противниками создала ему множество врагов среди ученых схоластического лагеря. Католическая церковь всячески поддерживала учение Аристотеля, так что печатные выступления Галилея против последнего расценивалось его противниками как выпад против церкви и общепринятого тогда церковного миро представления. Борьба Галилея за новую науку, за новое коперническое мировоззрение началась. В последующие годы эта борьба еще более развернулась и обострилась.

Рассмотрим оптические схемы и принцип действия галилеевского и кеплеровского телескопов. Линза **А,** обращенная к объективу наблюдения, называется объективом, а та линза **В**, к которой прикладывает свой глаз наблюдатель – окуляром. Если линза толще посередине, чем на краях, она называется собирательной или положительной, в противном случае – рассеивающей или отрицательной. В телескопе самого Галилея объективом служила плосковыпуклая линза, а окуляром – плосковогнутая. По существу, галилеевский телескоп был прообразом современного театрального бинокля, в котором используются двояковыпуклые и двояковогнутые линзы в телескопе Кеплера и объектив и окуляр были положительными двояковыпуклыми линзами.

Представим себе простейшую двояковыпуклую линзу, сферические поверхности которой имеют одинаковую кривизну. Прямые, соединяющие центры этих поверхностей, называются оптической осью линзы. Если на такую линзу падают лучи, идущие параллельно оптической оси, они, преломляются в линзе, собираются в точке оптической оси, называемом фокусом линзы. Расстояние от центра линзы до ее фокуса называют фокусным расстоянием.

Чем больше фокусное кривизна поверхностей собирательной линзы, тем меньше ее фокусное расстояние. В фокусе такой линзы всегда получается действительное изображение предмета.

Иначе ведут себя рассеивающие, отрицательные линзы. Падающий на них параллельно оптической оси пучок они рассеивают и в фокусе такой линзы сходятся не сами лучи, а их продолжение. Поэтому рассеивающие линзы имеют, как говорят, мнимый фокус и дают мнимое изображение.

На рисунке 2 показан ход лучей в галилеевском телескопе. Так как небесные светила, практически говоря, находятся «в бесконечности», то изображение их получаются в фокальной плоскости, то есть в плоскости, проходящей через фокус **F** и перпендикулярной к оптической оси. Между фокусом и объективом Галилей поместил рассеивающую линзу, которая давала мнимое, прямое увеличение изображение **MN**.

Главным недостатком галилеевского телескопа было очень малое поле зрения – так называют угловой поперечник кружка неба, видимого в телескоп. Из-за этого наводить телескоп на небесное светило и наблюдать его Галилею было очень трудно. По этой же причине галилеевские телескопы после смерти их изобретателя в астрономии не употреблялись и их реликтом можно считать современные театральные бинокли.

В кеплеровском телескопе (рисунок 3) изображение CD получается действительное, увеличенное и перевернутое. Последнее обстоятельство, неудобное при наблюдениях земных предметов в астрономии несущественно – ведь в космосе нет какого-то абсолютного верха или низа, а потому небесные тела не могут быть повернуты телескопом «вверх ногами».

Первое из двух главных преимуществ телескопа – это увеличение угла зрения, под которым видим небесные объекты. Человеческий глаз способен в отдельности различать две части предмета, если угловое расстояние между ними не меньше одной минуты дуги. Поэтому, например, на Луне невооруженный глаз различает только крупные детали, поперечник которых превышает 100 км. В благоприятных условиях, когда Солнце затянуто облачной дымкой, на его поверхности удается рассмотреть самые крупные из солнечных пятен. Никаких других подробностей невооруженным глазом на небесных телах не видно. Телескоп же увеличивает угол зрения в десятки и сотни раз.

Второе преимущество телескопа по сравнению с глазом заключается в том, что телескоп собирает гораздо больше света, чем зрачок человеческого глаза, имеющий даже в полной темноте диаметр не больше 8 мм. Очевидно, что количество света, собираемого телескопом, во столько раз больше того количества, которое собирает глаз, во сколько площадь объектива больше площади зрачка. Иначе говоря, это отношение равно отношению квадратов диаметров объектива и зрачка.

Собранный телескопом свет выходит из его окуляра концентрированным световым пучком. Наименьшее его сечение называется выходным зрачком. У галилеевской трубы выходного зрачка нет. В сущности, выходной зрачок – это изображение объектива, создаваемое окуляром. Можно доказать, что увеличение телескопа (то есть увеличение угла зрения по сравнению с невооруженным глазом) равно отношению фокусного расстояния объектива к фокусному расстоянию окуляра. Казалось бы, можно достичь любых увеличений. Теоретически это так, но практически все выглядит иначе. Во-первых, чем больше употребляемое в телескопе увеличение, тем меньше его поле зренья. Во-вторых, с ростом увеличения становятся все заметней движения воздуха. Неоднородные воздушные струи размазывают, портят изображение и иногда то, что видно при малых увеличениях, пропадает для больших. Наконец, чем больше увеличение, тем бледнее, тусклее изображение небесного светила (например, Луны). Иначе говоря, с ростом увеличения хотя и видно больше подробностей на Луне, солнце и планетах, но зато уменьшается поверхностная яркость их изображений. Есть и другие препятствия, мешающие применять очень большие увеличения (например, в тысячи и десятки тысяч раз). Приходится искать некоторый оптимум и поэтому даже в современных телескопах, как правило, наибольшие увеличения не превосходят нескольких сотен раз.

При создании телескопов со времен Галилея придерживаются следующего правила: выходной зрачок телескопа не должен быть больше зрачка наблюдателя. Легко сообразить, что в противном случае часть света, собранного объективом, будет напрасно потеряна. Очень важной величиной, характеризующей объектив телескопа, является его относительное отверстие, то есть отношение диаметра объектива телескопа к его фокусному расстоянию. Светосилой объектива называется квадрат относительного отверстия телескопа. Чем «светосильнее» телескоп, т.е. чем больше светосила его объектива, тем более яркие изображения объектов он дает. Количество же света, собираемого телескопом, зависит лишь от диаметра его объектива (но не от светосилы). Из-за явления, именуемого в оптике дифракцией, при наблюдениях в телескопы яркие звезды кажутся небольшими дисками, окруженными несколькими концентрическими радужными кольцами. Разумеется, к настоящим дискам звезд дифракционные диски никакого отношения не имеют.

Таково было скромное начало развернувшегося позже «Чемпионата» телескопов – длительной борьбы за усовершенствование этих главных астрономических инструментов.

## Схема и устройство оптических телескопов.

После того как в 1609 году Галилей впервые направил на небо телескоп, возможности астрономических наблюдений возросли в очень сильной степени. Этот год явился началом новой эры в науке – эры телескопической астрономии. Телескоп Галилея по нынешним понятиям был несовершенным, однако современникам казалось чудом из чудес. Каждый, заглянув в него, мог убедится, что Луна – это сложный мир, во многом подобный Земле, что вокруг Юпитера обращается четыре маленьких спутника, так же как Луна вокруг Земли. Все это будило мысль, заставляло задумываться о сложности Вселенной, ее материальности, о множестве обитаемых миров. Изобретение телескопа вместе с системой Коперника сыграло немалую роль в ниспровержении религиозной идеологии средневековья.

Изобретение телескопа, как и большинство великих открытий, не было случайным, оно было подготовлено всем предыдущим ходом развития науки и техники. В XVI веке мастера-ремесленники хорошо научились делать очковые линзы, а отсюда был один шаг до телескопа и микроскопа.

Телескоп имеет три основных назначения:

1. Собирать излучения от небесных светил на приемное устройство (глаз, фотографическую пластинку, спектрограф и др.);
2. Строить в своей фокальной плоскости изображение объекта или определенного участка неба;
3. Помочь различать объекты, расположение на близком угловом расстоянии друг от друга и поэтому неразличимые невооруженным глазом.

Основной оптической частью телескопа является объектив, который собирает свет и строит изображение объекта или участка неба. Объектив соединяется с приемным устройством- трубой (тубусом). Механическая конструкция, несущая трубу и обеспечивающая ее наведение на небо, называется монтировкой. Если приемником света является глаз (при визуальных наблюдениях), то обязательно необходим окуляр, в который рассматривается изображение, построенное объективом. При фотографических, фотоэлектрических, спектральных наблюдениях окуляр не нужен. Фотографическая пластинка, входная диафрагма электрофотометр, щель спектрографа и т.д. устанавливаются непосредственное в фокальной плоскости телескопа.

Телескоп с линзовым объективом называется рефрактором, т.е. преломляющим телескопом. Так как световые лучи различных длин волн преломляются по-разному, то одиночная линза дает окрашенное изображение. Это явление называется хроматической аберрацией. Хроматическая аберрация в значительной мере устранена в объективах, составленных из двух линз, изготовленных из стекол с разным коэффициентом преломления (ахроматический объектив или ахромат).

Законы отражения не зависит от длины волны, и естественно возникла мысль заменить линзовый объектив вогнутым сферическим зеркалом (рисунок 4). Такой телескоп называется рефлектором, т.е. отражательным телескопом. Первый рефлектор (диаметром всего лишь в 3 см и длиной в 15 см) был построен ньютоном в 1671 году.

Сферическое зеркало не собирает параллельного пучка лучей в точку; оно дает в фокусе несколько разлитое пятнышко. Это искажение называется сферической аберрацией. Если зеркалу придать форму параболоида вращения, то сферическая аберрация исчезает. Параллельный пучок, направленный на такой параболоид вдоль его оси, собирается в фокусе практически без искажений, если не считать неизбежного размытия из-за дифракции. Поэтому современные рефлекторы имеют зеркала параболоидальной или, как чаще говорят, параболической формы.

До конца XIX века основной целью телескопических наблюдений было изучение видимых положений небесных светил. Важную роль играли наблюдения комет и деталей на планетных дисках. Все эти наблюдения производились визуально, и рефракторы с двулинзовым объективом полностью удовлетворял потребности астрономов.

В конце XIX и особенно в XX веке характер астрономической науки претерпел органические изменения. Центр тяжести исследований переместился в область астрофизики и звездной астрономии. Основным предметом исследования стали физические характеристики Солнца, планет, звезд, звездных систем. Появились новые приемники излучения – фотографическая пластинка и фотоэлемент. Стала широко применяться спектроскопия. В результате изменились и требования к телескопам.

Для астрофизических исследований желательно, чтобы оптика телескопа не накладывала никаких ограничений на доступный диапазон длин волн: земная атмосфера и так ограничивает его слишком сильно. Между тем стекло, из которого делаются линзы, поглощает ультрафиолетовое и инфракрасное излучение. Фотографические иммульсии и фотоэлементы чувствительны в более широкой области спектра, чем глаз, и потому хроматическая аберрация при работе с этими приемниками сказывается сильнее.

Таким образом, для астрофизических исследований нужен рефлектор. К тому же большое зеркало рефлектора изготовить значительно легче, чем двухлинзовый ахромат: надо обработать с оптической точностью (до 1/8 длины световой волны или 0,07 микрона для визуальных лучей) одну поверхность вместо четырех, и при этом не предъявляется особых требований к однородности стекла. Все это привело к тому, что рефлектор стал основным инструментом астрофизики. В астрометрических работах по-прежнему применяются рефракторы. Причина этого состоит в том, что рефлекторы очень чувствительны к малым случайным поворотам зеркала: так как угол падения равен углу отражения, то поворот зеркала на некоторый угол β смещает изображение на угол 2β. Аналогичный поворот объектива в рефракторе дает гораздо меньшее смещение. А так как в астрометрии надо измерять положение светил с максимальной точностью, то выбор был сделан в пользу рефракторов.

Как уже сказано, рефлектор с параболическим зеркалом строит изображение очень четко, однако тут необходимо сделать одну оговорку. Изображение можно считать идеальным, пока оно остается вблизи оптической оси. При удалении от оси появляются искажения. Поэтому рефлектор с одним толь параболическим зеркалом не позволяет фотографировать больших участков неба размером, скажем, 50 x 50, а это необходимо для исследования звездных скоплений, галактик и галактических туманностей. Поэтому, для наблюдений, требующих большого поля зрения, стали строить комбинированные зеркально-линзовые телескопы, в которых аберрация зеркала исправляется тонкой линзой, часто увиолевой (сорт стекла, пропускающего ультрафиолетовые лучи).

Зеркала рефлекторов в прошлом (XVIII – XIX веках) делали металлическими из специального сплава, однако впоследствии по технологическим причинам оптики перешли на стеклянные зеркала, которые после оптической обработки покрывают тонкой пленкой металла, имеющего большой коэффициент отражения (чаще всего алюминий).

Основными характеристики телескопа являются диаметр D и фокусное расстояние F объектива. Чем больше диаметр, тем больший световой поток Ф собирает телескоп:

 (1)

где Е – освещенность объектива и S – его площадь.

Другой существенной характеристикой является относительное отверстие:

 (2)

Как не трудно убедиться, освещенность в фокальной плоскости, создаваемая протяженным объектом:

 (3)

Поэтому при фотографировании слабых протяженных объектов (туманностей, комет) существенно иметь больше относительное отверстие. Однако с увеличением относительного отверстия быстро возрастает вне осевые аберрации. Чем больше относительное отверстие, тем труднее их устранять. Поэтому относительное отверстие рефлекторов обычно не превышает 1:3. зеркально-линзовые системы и сложные объективы могут обеспечить в некоторых случаях относительное отверстие 1:1 и более.

Для визуального телескопа важный характеристикой является увеличение, равное отношению фокусных расстояний объектива и окуляра:

 (4)

Если невооруженным глазом можно различить звезды с угловым расстоянием не менее 2′, то телескоп уменьшает этот предел в n раз.

При фотографировании представляет интерес масштаб изображения в фокальной плоскости. Он может быть выражен в угловых единицах, приходящихся на 1 мм. Чтобы найти масштаб изображения, нужно знать линейные расстояния l между двумя точками изображения с взаимным угловым расстоянием α.

 (5)

Где F- фокусное расстояние объектива. Вывод этой формулы ясен из рисунка

При малых углах α:

 (6)

если α в радианах, и

 (7)

если α в градусах. Тогда масштаб изображения

 (8)

и если F выражено в мм, то l тоже будет в мм. Масштаб M, в зависимости от единицы измерения α, получится в градусах на мм (°/мм), в минутах дуги на мм (′/мм) или секундах дуги на мм (′′/мм).

Так, угловой диаметр солнца и Луны равен приблизительно 0°,5. При фокусном расстоянии телескопа F=1000 мм диаметр изображения Солнца и Луны в его фокальной плоскости составляет около 10 мм и, следовательно



Телескоп-рефлектор, приспособленный для наблюдений непосредственно в фокусе параболического зеркала, называется рефлектором с прямым фокусом. Часто используются более сложные системы рефлекторов; например, с помощью дополнительного плоского зеркала, установленного перед фокусом, можно вывести фокус в бок за пределы трубы (ньютоновский фокус). Дополнительным выпуклым пред фокальным зеркалом можно удлинить фокусное расстояние и вывести фокус в отверстие просверленное в центре главного зеркала (кассегреновский фокус), и т.д. некоторые из таких более сложных систем рефлекторов показаны на рисунке . они удобнее для присоединения приемных устройств к телескопу, но из-за дополнительных отражений дают большие потери света.

Сложной технической задачей является наведение телескопа на объект и смещение за ним. Современные обсерватории оснащены телескопами диаметром от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров. Самый большой в мире рефлектор действовал в советском Союзе. Он имел диаметр 6 м и установлен на высоте 2070 м (гора Пастухова, вблизи станицы Зеленчукской на Северном Кавказе). Следующий по размерам рефлектор имеет диаметр 5 м и находится в США (обсерватория Маунт Паломар).

Монтировка телескопа всегда имеет две взаимно перпендикулярные оси, поворот вокруг которых позволяет навести его в любую область неба. В монтировке, называемой вертикально-азимутальной, одна из осей направлена в зенит, другая лежит в горизонтальной плоскости. На ней монтируются небольшие переносные телескопы. Крупные телескопы, как правило, устанавливаются на экваториальной монтировке, одна из осей которой направлена в полюс мира (полярная ось), а другая лежит в плоскости небесного экватора (ось склонения). Телескоп на экваториальной монтировке называется экваториалом.

Чтобы следить за небесным светилом в экваториал, достаточно поворачивать его только вокруг полярной оси в направлении роста часового угла, так как склонение светила остается неизменным. Этот поворот осуществляется автоматически часовым механизмом. Известно несколько типов экваториальной монтировки. Телескопы умеренного диаметра (до 50-100 см) часто устанавливаются на «немецкой» монтировке (рисунок ), в которой полярная ось и ось склонения образуют параллактическую головку, опирающуюся на колонну. На оси склонения, по одну сторону от колонны, располагается труба, а по другую – уравновешивающий ее груз, противовес. «Английская» монтировка (рисунок ) отличается от немецкой тем, что полярная ось опирается концами на две колонны, северную и южную, что придает ей дополнительную устойчивость. Иногда в английской монтировке полярную ось заменяет четырехугольной рамой, так что труба оказывается внутри рамы (рисунок ). Подобная конструкция не позволяет направить инструмент на полярную неба. Если северный (верхний) подшипник полярной оси сделать в форме подковы (рисунок), то такого ограничения не будет. Наконец, можно вообще убрать северную колонну и подшипник. Тогда получиться «американская» монтировка или «вилка» (рисунок ).

Часовой механизм не всегда действует только, и при получении фотографий с длительными экспозициями, достигающими иногда многих часов, приходится следить за правильностью наведения телескопа и время от времени его подправлять. Этот процесс называется гидированием. Гидирование осуществляется с помощью гида – небольшого вспомогательного телескопа, установленного на общей монтировке с главным телескопом.

## Использование фотографических методов.

С середины прошлого века в астрономии стал применяться фотографический метод регистрации излучения. В настоящее время он занимает ведущее место в оптических методах астрономии.

Длительные экспозиции на высокочувствительных пластинках позволяют получать фотографии очень слабых объектов, в том числе таких, которые практически недоступны для визуального наблюдения. В отличие от глаза, фотографическая эмульсия способна к длительному накоплению светового эффекта. Очень важным свойством фотографии является панорамность: одновременно регистрируется сложное изображение, которое может состоять из очень большого числа элементов. Существенно, наконец, что информация, которая получается фотографическим методом, не зависит от свойств глаза наблюдателя, как это имеет место при визуальных наблюдениях. Фотографическое изображение, полученное однажды, сохраняется как угодно долго, и его можно изучать в лабораторных условиях.

Фотографическая эмульсия состоит из зерен галоидного серебра (AgBr, AgCl и др.; в различных сортах эмульсии применяются разные соли), взвешенных в желатине. Под действием света в зернах эмульсии протекают сложные фотохимические процессы, в результате которых выделяется металлическое серебро. Чем больше света поглотилось данным участком эмульсии, тем больше выделяется серебра.

Галоидное серебро поглощает свет в области λ < 5000Å. Область спектра 3000-5000Å называют иногда фотографической (аналогично визуальной, 3900-7600Å). Чтобы сделать эмульсию чувствительной к желтым и красным лучам, в ней вводят органические красители – сенсибилизаторы, расширяющие область спектральной чувствительности. Панхроматические эмульсии – это сенсибилизированные эмульсии, чувствительные до 6500-7000Å (в зависимости от сорта). Кривые спектральной чувствительности различных эмульсий показаны на рисунке . они широко применяются в астрономической и обычной фотографии. Значительно реже встречаются инфрахроматические эмульсии, чувствительные к инфракрасным лучам до 9000Å, иногда и до 13000Å.

Звезды на фотографиях выходят в виде кружков. Чем ярче звезда, тем большего диаметра получается кружочек при данной экспозиции (рисунок ). Различие в диаметрах фотографических изображений звезд является чисто фотографическим эффектом и никак не связан с их истинными угловыми диаметрами. Научной обработке подвергаются, как правило, только сами негативы, так как при перепечатке искажается заключенная в них информация. В астрономии используются как стеклянные пластинки, так и пленки. Пластинки предпочтительнее в тех случаях, когда по негативам изучается относительное положение объектов. Сравнивая между собой фотографии одной и той же части неба, полученные в разные дни, месяцы и годы, можно судить об изменениях, которые в этой области произошли. Так, смещение малых планет и комет (когда они находятся далеко от Солнца и хвост еще не заметен) среди звезд легко обнаруживается при сравнении негативов, полученных с интервалом в несколько суток. Собственные движения звезд, а также отдельны сгустков межзвездного вещества в газовых туманностях изучаются по фотографиям, полученным через большие интервалы времени, иногда достигающие многие десятилетия. Изменение блеска переменных звезд, вспышки новых или сверхновых звезд тоже легко обнаруживается при сравнении негативов, полученных в разные моменты времени.

Для исследования подобных изменений используются специальные приборы – стереокомпаратор и блинк-микроскоп. Стереокомпаратор служит для обнаружения перемещений. Он представляет собой своего рода стереоскоп. Обе пластинки, снятые в разное время, располагаются так, что исследователь видит их изображения совмещенными. Если какая-либо звезда заметно сместилась, она «выскочит» из картинной плоскости. Блинк-микроскоп отличаются от стереокомпаратора тем, что специальной заслонкой можно закрывать либо одно, либо другое изображение. Если эту заслонку быстро колебать, то можно сравнивать не только положения, но и величины изображений звезд на обеих пластинках. Изменение положения или изменение звездной величины при этом легко обнаруживаются. Точные измерения положения звезд не пластинках производятся на координатных измерительных приборах.

Почернение негатива приблизительно определяется произведением освещенности E на продолжительность экспозиции t. Этот закон называется законом взаимозаместимости. Он выполняется более или менее хорошо лишь в ограниченном интервале освещенности. Для каждого сорта эмульсии, при которых он наиболее эффективен. В частности, очень чувствительные кино- и фотопленки, предназначенные для коротких экспозиций, не пригодны для длительных, применяемые в астрономии.

Фотография позволяет проводить фотометрические исследования астрономических объектов, т.е. определять количество их яркость и звездную величину. Для этого необходимо знать зависимость почернения негатива от освещенности – провести калибровку негатива. Чтобы измерить степень почернения, надо пропустить сквозь негатив световой пучок, интенсивность которого регистрируется. Тогда почернения D можно выразить через оптическую плотность негатива:

 (10)

где J0 – интенсивность падающего пучка,

J – интенсивность пучка, прошедшего сквозь негатив.

Зависимость

 (11)

Называется характеристикой кривой эмульсии (рисунок ). Можно выделить три участка или области характеристической кривой: область недодержек, где крутизна кривой уменьшается с уменьшением Et, область нормальной экспозиции, где крутизна максимальная и зависимость почти линейная, и область передержек, где крутизна уменьшается с увеличением Et. При правильно выбранной экспозиции почернение должно соответствовать линейному участку. Чтобы построить характеристическую кривую, на эмульсию впечатывается изображение нескольких (обычно порядка 10) площадок, освещенность которых находится в известном отношении. Эта операция называется калибровкой негатива.

Зная характеристическую кривую, можно сравнивать освещенности, соответствующие различным точкам негатива, и в случае протяженных объектов, таких как туманности или планеты, построить их щофоты. Этого достаточно для относительной фотометрии (т.е. измерения отношения яркости и блеска). Для абсолютной фотометрии (т.е. измерение абсолютных значений яркости и блеска) необходимо провести, кроме калибровки, еще и стандартизацию. Для стандартизации надо впечатать на эмульсию изображение площадки с известной яркостью (для протяженных источников) или иметь на негативе звезды с известными звездными величинами. При относительной фотометрии точечных объектов калибровка делается обычно по звездам с известным блеском.

Для измерения почернения негатива применяются фотоэлектрические микрофотометры. В этих приборах интенсивность светового пучка, прошедшего сквозь негатив, измеряется фотоэлементом.

Главный недостаток фотографической пластинки приемника излучения – это нелинейная зависимость почернения от освещенности. Кроме того, почернение зависит от условий обработки. В результате точность фотометрических измерений, производимых фотографическим методом, обычно не превышает 5-7 %.

## Спектральные наземные исследования.

Рассмотрим основные типы спектральных приборов, применяемых в астрономии. Впервые спектры звезд и планет начал наблюдать в прошлом веке итальянский астроном Секки. После его работ спектральным анализом занялись многие астрономы. Вначале использовались визуальный спектроскоп, потом спектры стали фотографировать, а сейчас применяются также и фотоэлектрическая запись спектра. Спектральные приборы с фотографической регистрацией спектра обычно называют спектрографами, а с фотоэлектрической – спектрометрами.

На рисунке дана оптическая схема призменного спектрографа. Перед призмой находятся щель и объектив, которые образуют коллиматор. Коллиматор посылает на призму параллельный пучок лучей. Коэффициент преломления материала призмы зависит от длины волны. Поэтому после призмы параллельные пучки, соответствующие различным длинам волн, расходятся под различными углами, и второй объектив (камера) дает в фокальной плоскости спектр, который фотографируется. Если в фокальной плоскости камеры поставить вторую щель, то спектрограф превратиться в монохроматор. Перемещая вторую щель по спектру или поворачивая призму, можно выделять отдельные более или менее узкие участки спектра. Если теперь за выходной щелью монохроматора поместить фотоэлектрический приемник, то получится спектрометр.

В настоящее время наряду с призменными спектрографами и спектрометрами широко применяются и дифракционные. В этих приборах вместо призмы диспергирующим (т.е. разлагающим на спектр) элементом является дифракционная решетка. Наиболее часто используется отражательные решетки.

Отражательная решетка представляет собой алюминированое зеркало, на котором нанесены параллельные штрихи. Расстояние между штрихами и их глубина сравнимы с длинной волны. Например, дифракционные решетки, работающие в видимой области спектра, часто делаются с расстоянием между штрихами 1,66 мк (600 штрихов на 1 мм). Штрихи должны быть прямыми и параллельными друг другу по всей поверхности решетки, и расстояние между ними должно сохраняться постоянным с очень высокой точностью. Изготовление дифракционных решеток, поэтому является наиболее трудным из оптических производств.

Получая спектр с помощью призмы, мы пользуемся явлением преломления света на границе двух сред. Действий дифракционной решетки основано на явлении другого типа – дифракция и интерференция света. Заметим, что она дает, в отличии от призмы, не один, а несколько спектров. Это приводит к определенным потерям света по сравнению с призмой. В результате применения дифракционных решеток в астрономии долгое время ограничивалось исследованиями Солнца. Указанный недостаток был устранен американским оптиком Вудом. Он предложил придавать штрихам решетки определенный профиль, такой, что большая часть энергии концентрируется в одном спектре, в то время как остальные оказываются сильно ослабленными. Такие решетки называются направленными или эшелеттами.

Основной характеристикой спектрального прибора является спектральная разрешающая сила

 (12)

где Δλ - минимальный промежуток между двумя близкими линиями, при котором они регистрируются как раздельные. Чем больше разрешающая сила, тем более детально может быть исследован спектр и тем больше информации о свойствах излучающего объекта может быть в результате получено. Спектральные аппараты с направленными дифракционными решетками, при прочих равных условиях, могут обеспечить более высокую разрешающую силу, чем призменные.

Другой важной характеристикой спектральных аппаратов является угловая дисперсия

 (13)

Где Δα - угол между параллельными пучками, прошедшими диспергирующий элемент и различающимися по длине волны на Δλ.

Величина

 (14)

Где f – фокусное расстояние камеры, называется линейной дисперсией, которая выражает масштаб спектра в фокальной плоскости камеры и обозначается либо в миллиметрах на ангстрем, либо (для малых дисперсией) в ангстремах на миллиметр. Так, дисперсия спектрографа 250 Å/мм, означает, что один миллиметр на спектрограмме соответствует интервалу длин волн Δλ=250Å.

Особенности оптической схемы и конструкции астрономических спектральных приборов сильно зависит от конкретного характера задач, для которых они предназначены. Спектрографы, построенные для получения звездных спектров (звездные спектрографы), заметно отличаются от небулярных, с которыми исследуются спектры туманностей. Солнечные спектрографы тоже имеют свои особенности. Реальная разрешающая сила астрономических приборов зависит от свойств объекта. Если объект слабый, т.е. от него приходит слишком мало света, то его спектр нельзя исследовать очень детально, так как с увеличением разрешающей силы количество энергии, приходящей на каждый разрешаемый элемент спектра, уменьшается. Поэтому самую высокую разрешающую силу имеют, естественно, солнечные спектральные приборы. У больших солнечных спектрографов она достигает 106. линейная дисперсия этих приборов достигает 10 мм/Å (0,1 Å/мм).

При исследовании наиболее слабых объектов приходится ограничиваться разрешающей силой порядка 100 или даже 10 и дисперсиями ~1000 Å/мм. Например, спектры слабых звезд получаются с помощью объективной призмы, которая является простейшим астрономическим спектральным прибором. Объективная призма ставиться прямо перед объективом телескопа, и в результате изображение звезд растягиваются в спектр. Камерой служит сам телескоп, а коллиматор не нужен, поскольку свет от звезды приходит в виде параллельного пучка. Такая конструкция делает минимальными потери света из-за поглощения в приборе. На рисунке приведена фотография звездного поля, полученная с объективной призмой.

Грубое представление о спектральном составе излучения можно получить с помощью светофильтров. В фотографической и визуальной областях спектра часто применяют светофильтры из окрашенного стекла. На рисунке приведены кривые, показывающие зависимость пропускания от длины волны для некоторых светофильтров, комбинируя которые с тем или иным приемником, можно выделить участки не уже нескольких сотен ангстрем. В светофильтрах из окрашенного стекла используется зависимость поглощения (абсорбции) света от длины волны. Светофильтры этого типа называются абсорбционными. Известны светофильтры, в которых выделение узкого участка спектра основано на интерференции света. Они называются интерференционными и могут быть сделаны довольно узкополосными, позволяющими выделять участки спектра шириной в несколько десятков ангстрем. Еще более узкие участки спектра (шириной около 1 ангстрема) позволяют выделять интерференционнополяризационные светофильтры.

С помощью узкополосных светофильтров можно получить изображение объекта в каком-либо интересном участке спектра, например, сфотографировать солнечную хромосферу в лучах Hα (красная линия в бальмеровской серии спектра водорода), солнечную корону в зеленой и красной линиях, газовые туманности в эмиссионных линиях.

Для солнечных исследований разработаны приборы, которые позволяют получить монохроматические изображения в любой длине волны. Это – спектрогелиограф и спектрогелиоскоп. Спектрогелиограф представляет собой монохроматор, за выходной щелью которого находится фотографическая кассета. Кассета движется с постоянной скоростью в направлении, перпендикулярном выходной щели, и с такой же скоростью в плоскости выходной щели перемещается изображение Солнца. Легко понять, что в этом случае на фотографической пластинке получиться изображение Солнца в заданной длине волны, называемое спектрограммой. В спектрогелиоскопе, перед выходной щелью и после выходной щели устанавливаются вращающиеся призмы с квадратным сечением. В результате вращения первой призмы некоторый участок солнечного изображения периодически перемещается в плоскости входной щели. Вращение обеих призм согласованно, и если оно происходит достаточно быстро, то, наблюдая в зрительную трубу вторую щель, мы видим монохроматическое изображение Солнца.

# Достижения современной оптической астрономии.

## Использование ПЗУ-матриц ЭВМ.

Развитие физики твердого тела и достижения в области твердотельной технологии обеспечили возможность промышленного изготовления стабильных фотоприемников, пригодных для эксплуатации в инфракрасной бортовой оптико-электронной аппаратуре. Успехи в этих областях знаний позволили создать в последние годы линейки и матрицы приемников с высокой плотностью чувствительных элементов.

Для формирования выходного сигнала аппаратуры необходимо поочередно измерить электрические сигналы, поступающие с каждого элемента линейки. Можно сказать, должно быть обеспечено последовательное подключение электрических проводников от отдельных элементов к общему выходу.

Путем такого «опроса» чувствительных площадок, расположенных в ряд, вырабатывается электрический сигнал, соответствующий одной строке изображения. Процесс переключения электрических цепей чувствительных элементов в аппаратуре осуществляется специальным электронным переключателем последовательного действия. В итоге линейка приемников обеспечивает строчное сканированное изображение электронным, а не механическим способом.

В новейших, наиболее перспективных образцах инфракрасной аппаратуры все чаще используются твердотельные схемы, обеспечивающие прием и обработку сигнала с линейки или матрицы в одном устройстве. Первых два коротких сообщения группы американских исследователей об этой новой идее в области физики твердого тела и об ее экспериментальной проверке появились в 1970 году. Приборы с зарядовой связью – так был назван этот класс устройств – привлекали к себе чрезвычайный интерес и за прошедшие после их изобретения годы нашли самое широкое применение в устройствах формирования изображений в вычислительной технике, в устройствах отображения информации.

С точки зрения физики приборы с зарядовой связью интересны тем, что электрический сигнал в них представлен не током или напряжением, а электрическим зарядом. Основной принцип их действия изображен на рисунке . прибор с зарядовой связью представляет собой линейку электродов на изолирующей основе, нанесенной на поверхность тонкой пластины полупроводника. Обычно под металлическими под металлическими электродами расположен изолирующий слой окисла SiO2, а в качестве полупроводникового материала используется Si. В результате образуется как бы сэндвич: металл – окисел – полупроводник (рисунок ).

В приборах с зарядовой связью появляется возможность, подавая напряжение на металлические электроды, воздействовать через изолятор на положение энергетического уровня, сдвигая его вниз от горизонтальной линии в местах расположения электродов. В итоге на границе раздела Si – SiO2 энергетическая диаграмма будет представлять собой не ровную, а холмистую поверхность, на которой впадины будут расположены под теми электродами, к которым приложено напряжение.

Для наглядности впадины этого рельефа на энергетической диаграмме представляют в виде ямы с плоским дном и вертикальными стенками. На рисунке , б изображены такие прямоугольные потенциальные ямы, сформированные с помощью напряжений, приложенных к электродам. Чем выше напряжение на электроде, тем глубже яма под данным электродом в месте его расположения. Когда фотон попадает на чувствительный к излучению Si и создает электронно-дырочную пару, то электрон стекает в ближайшую потенциальную яму. При дальнейшем облучении образца электроны будут накапливаться и сохраняться в соответствующих потенциальных ямах.

Для совокупности электронов, захваченных потенциальной ямой, физики также придумали образное название, ставшее общепризнанным, - «зарядовый пакет». Такие зарядовые пакеты в соответствии с изложенным механизмом будут возникать на поверхности полупроводника

##

## Использование спутниковых систем Земли для определения расстояния до звезд.

Определение расстояний до тел солнечной системы основано на измерении их горизонтальных параллаксов. Параллаксы, определенные по параллактическому смещению светила, называются тригонометрическими.

Зная горизонтальный экваториальный параллакс Pо светила, легко определить его расстояние от центра Земли (рисунок ). Действительно, если То=Ro есть экваториальный радиус Земли, ТМ=Δ - расстояние от центра Земли до светила М, α угол Р – горизонтальный экваториальный параллакс светила Ро, то из прямоугольного треугольника ТОМ имеем

 (15)

Для всех светил, кроме луны, параллаксы очень малы. Поэтому формулу (15) можно написать иначе, положив

 (16)

а именно,

 (17)

Расстояние Δ получается в тех же единицах, в которых выражен радиус Земли Rо. По формуле (17) определяются расстояния до тел Солнечной системы. Быстрое развитие радиотехники дало астрономам возможность определять расстояние до тел Солнечной системы радиолокационными методами. В 1946 году была произведена радиолокация Луны, а в 1957 – 1963 годах – радиолокация Солнца, Меркурия, Венеры, Марса и юпитера. По скорости распространения радиоволн с=3\*105 км/сек и по промежутку времени t (сек) прохождения радиосигнала с земли до небесного тела и обратно легко вычислить расстояние до небесного тела

 (18)

Расстояние до звезд определяются по их годичному параллактическому смешению, которое обусловлено перемещением наблюдателя (вместе с Землей) по земной орбите (рисунок ).

Угол, под которым со звезды был бы виден средний радиус земной орбиты при условии, что направление на звезду перпендикулярно к радиусу, называется годичным параллаксом звезды π. Если СТ=α есть средний радиус земной орбиты, МС=Δ - расстояние звезды М от солнца С, а угол π - годичный параллакс звезды, то из прямоугольного треугольника СТМ

 (19)

годичные параллаксы звезд меньше 1′′, и поэтому

 (20)

Расстояние Δ по этим формулам получается в тех же единицах, в которых выражено среднее расстояние а Земли от Солнца.

Если расстояние до небесных тел очень велики, то выражать их в километрах неудобно, так как получается очень большие числа, состоящие из многих цифр, поэтому в астрономии, помимо километров, приняты следующие единицы расстояний:

* астрономическая единица (а.е) – среднее расстояние Земли от Солнца;
* парсек (пс) – расстояние, соответствующее годичному параллаксу в 1′′;
* световой год – расстояние, которое свет проходит за один год, распространяясь со скоростью около 300000 км/сек. Если астрономическую единицу принять равной 149600000 км, то 1 пс=30,86\*1012 км= 206263 а.е.=3,26 светового года; 1 световой год=9,460\*1012 км=63240 а.е.=0,3067 пс.

В а.е. обычно выражаются расстояния до тел солнечной системы. Например, Меркурий находится от Солнца на расстоянии 0,387 а.е, а Плутон – на расстоянии 39,75 а.е.

Расстояние до небесных тел, находящихся за пределами солнечной системы, обычно выражаются в парсеках, кило парсеках (1000 пс) и мега парсеках (1000000 пс), а также в световых годах. В этих случаях

 и 

Ближайшая к Солнцу звезда «проксима Центавра» имеет годичный параллакс π=0′′,762. следовательно, она находится от нас на расстоянии 1,31 пс или 4,26 светового года.

Чтобы перейти от видимого положения звезд на небе к действительному их распределению в пространстве, необходимо знать расстояние до них.

Непосредственным методом определения расстояния до звезд является измерение их годичных параллаксов. Однако этим способом параллаксы могут быть найдены только для ближайших звезд. Действительно, предельные углы, которые удается измерить аксонометрическими методами, составляют около 0′′,01.

Следовательно, если параллакс звезды в результате наблюдений оказался равным π=0′′,02±0′′,01, то расстояние до нее по формуле

 (21)

Получится в пределах от 30 до 100 пс, соответствующих возможным ошибкам в определении параллакса. Отсюда видно, что расстояние до сравнительно близких объектов, удаленных от нас не более, чем на несколько парсеков, определяются более или менее надежно. Так, например, расстояние до одной из ближайших звезд (α Центавра), равное 1,33 пс, известно с ошибкой, меньше 2 %. Однако для звезд, удаленных больше чем на 100 пс, ошибка в определении расстояния больше самого расстояния и метод тригонометрических параллаксов оказывается непригодным. В лучшем случае он позволяет сделать вывод, что расстояние превышает несколько сотен парсеков. Всего в настоящее время тригонометрические параллаксы измерены не более чем для 6000 звезд.

Расстояния до звезд могут быть найдены в тех случаях, когда каким-нибудь образом известны их светимости, так как разность между видимой и абсолютной звездными величинами равна модулю расстояния, который входит в формулу (22)

 (22)

Наиболее надежно модуль расстояния удается найти для звезд, принадлежащих скоплениям. Однако при этом необходимо учитывать, что получаемые величины, как правило, бывают искажены влиянием межзвездного поглощения света.

Особенности спектров, лежащих в основе разделения звезд по классам светимости, могут быть использованы для определения абсолютных звездных величин, а, следовательно, и расстояний (метод спектральных параллаксов).

Важный метод определения параллаксов совокупности звезд основан на изучении их собственных движений. Оставшееся смещение звезды на небесной сфере за год называется собственным движением звезды μ. Оно выражается в секансах дуги в год. Собственное же движение звезды μ вычисляется по формуле

 (23)

Собственное движение у разных звезд различны по величине и направлению. Только несколько десятков звезд имеют собственные движения больше 1′′ в год. Самое большое известное собственное движение μ=10′′,27 (у «летящей» звезды Баркарда). Громадное же большинство измеренных собственных движений у звезд составляют сотые и тысячные доли секунды дуги в год. Из-за малости собственных движение изменение видимых положений звезд не заметно для невооруженного глаза.

Суть этого метода основано на том факте, что чем дальше находятся звезды, тем меньше видимые перемещения, вызываемые их действительными движениями в пространстве. Определенные таким путем параллаксы называются средними.

Для определения расстояния до группы звезд удается применить наиболее точный метод, основанный на том обстоятельстве, что, как и в случае метеоритов, общая точка пересечения направлений видимых индивидуальных движений, которые вследствие перспективы кажутся различными, а на самом деле в пространстве одинаковы, указывает истинное направление скорости общего движения – апекс. При известной лучевой скорости Vr, хотя бы одной из звезд имеется возможность вычислить годичный параллакс всего скопления, называемый адовым параллаксом, по формуле

 (24)

Где μ - собственное движение, а q – угол между направлением на данную звезду и апекс.

Определить суточный и годичный параллакс можно из наблюдений: пусть из двух точек О1 и О2 (рисунок ) на поверхности Земли, лежащих на одном географическом меридиане, измерены зенитные расстояния Z1 и Z2 одного и того же светила М в момент прохождения его через небесный меридиан. Предположим далее, что оба пункта наблюдения находятся в северном полушарии и светило наблюдалось в каждом из них к югу от зенита. Следовательно

z1=ϕ1−σ1 и z2=ϕ2−σ2

Где ϕ1 и ϕ2 – географические широты пунктов, а δ1 и δ2 – топоцентрические скопления светила, отличающиеся от его геоцентрического склонения δ на величину

p1=psinz1 и p2=psinz2

В четырехугольнике О1ТО2М (рисунок ) угол О1МО2 равен (Р1 – Р2), угол МО2Т тупой (больше 180º) и равен (180º+Z2), угол О1ТО2 равен (ϕ1-ϕ2) и, наконец, угол ТО1М равен (180º-Z1). Так как сумма внутренних углов четырехугольника равна четырем прямым, то

360°=p1-p2+180°+z2+ϕ1−ϕ2+180°-z

или

p1-p2=(ϕ2−z2)-( ϕ1−z1)

Принимая во внимание соотношения, написанные выше, имеем

P(sinz1-sinz2)={sin(ϕ1−σ1)-sin(ϕ2−σ2)}p=σ2-σ1

откуда горизонтальный параллакс светила

 (25)

По значениям радиуса Земли R в месте наблюдения и экваториального радиуса Земли Rо вычисляется горизонтальный экваториальный параллакс

 (26)

Горизонтальный параллакс светила можно определить и из измерений его прямого восхождения из одного и того же места на Земле, но в различные моменты времени. За промежуток времени между этими моментами вращения земли переносит наблюдателя из одной точки пространства в другую, что дает соответствующее параллактическое смещение светила. Таким образом, горизонтальный параллакс светила определяется из его топоцентрических координат, полученных из соответствующих и целесообразно выполненных наблюдений.

Аналогичным путем получается годичный параллакс звезд, только в этом случае определяются геоцентрические координаты звезды из наблюдений, произведенных в двух различных точках орбиты Земли и приблизительно через полгода одно после другого.

Наилучшие современные угломерные инструменты позволяют надежно определять годичное параллактическое смещение звезд до расстояния не свыше 100 пс (π=0′′,01). Поэтому тригонометрические годичные параллаксы известны лишь для сравнительно небольшого числа звезд (около 6000), наиболее близких к Солнцу. Расстояния до более далеких объектов определяются различными косвенными методами.

Как уже было сказано выше, если знать светимость звезды и, сравнивая ее с видимым блеском звезды, то легко рассчитать расстояние до нее.

Если пользоваться абсолютной М и видимой звездной величиной m, то расстояние в световых годах D находится легко из формулы

 (27)

Как выяснили Адамс и Кольмюттер (США) два-три десятка лет назад, спектры звезд являются хорошими показателями светимости, а поэтому и расстояния, так как видимый блеск звезды m, нужный для сравнения, определить нетрудно.

Зная расстояния до некоторого числа звезд на основании других, весьма кропотливых методов их определения, можно было вычислить светимости и составить их со спектрами тех же звезд. Пока же достаточно сказать, что, например, обычным белым звездам определенного спектрального подкласса, допустимА0, А1, А2 и т.д., соответствует довольно определенная светимость. Таким образом, достаточно определить точно спектральный подкласс обычной белой звезды, и мы уже приблизительно знаем ее светимость, а поэтому и расстояние. (Есть звезды класса А другой светимости, но и спектры у них несколько иные). Такие звезды встречаются редко).

С желтыми и красными звездами дело обстоит сложнее, хотя тоже достаточно определенно. Желтые и еще в большей степени красные звезды одного и того же спектрального класса резко делятся на две группы. Одни из них названы гигантами, у них очень большая светимость. Другие названы звездами-карликами – их светимость значительно меньше. Звезд с промежуточной светимостью не существует, и светимость как карликов, так и гигантов одного и того же спектрального подкласса является довольно определенной. Но есть некоторое различие. Одни и те же темные линии, в спектрах гигантов более тонки и резки, чем в спектрах карликов. Это помогает отличать их друг от друга.

Мало того, относительная интенсивность некоторых пар линий обнаруживает четкую зависимость от светимости звезды. Спектры-паспорта карликов и гигантов – не вполне одинаковы. Так, например, спектры оранжевых звезд 61 Лебедя и Альдебарана в общем одинаковы, почему их и относят к одному и тому же спектральному классу К5. но среди многочисленных одинаковых линий в их спектрах можно, что линии кальция с длиной волны 4454 Å в спектре звезды-карлика 61 Лебедя сильнее линии ионизированного стронция 4215 Å, а в спектре гиганта Альдебарана – наоборот. Нужен некоторый навык, чтобы отличать друг друга спектры гигантов и карликов. Удается установить зависимость между относительной интенсивностью пар линий и светимостью звезды, а затем использовать ею в дальнейшем. Тогда, сфотографировав спектр звезды, находящейся на неизвестном расстоянии и имеющей неизвестную светимость мы можем легко и быстро установить и то и другое.

Точность определения таким способом расстояний до звезд составляет около 20 %, независимо от того, близка к нам звезда или далеко. Быть может, точность в 20 % покажется недостаточно хорошей при измерении расстояния до звезд. Приходится с этим согласиться. Однако в большинстве случаев определить расстояние до звезды другим способом невозможно.

Если расстояние между излучающим телом наблюдателя меняется, то скорость их относительного движения имеет составляющую вдоль луча зрения, называемую лучевой скоростью. По линейным спектрам лучевые скорости могут быть измерены на основании эффекта Доплера, заключающегося в смещении спектральных линий на величину, пропорциональную лучевой скорости, вне зависимости от удаленности источника излучения. При этом если расстояние увеличивается (лучевая скорость положительна), то смещение линий происходит в красную сторону, а в противном случае – в синюю.

Объяснить это явление можно на основании следующих элементарных рассуждений. Вообразим наблюдателя, воспринимающего от объекта луч света. Предположим, что этот луч представляет собой отдельное непрерывное электромагнитное колебание (луч волн). Пусть за 1 секунду источник излучает ν волн длиной λ каждая. Так как ν - частота, то ν=с/λ. Неподвижный относительно источника наблюдатель за ту же одну секунду воспримет столько же (т.е. ν) волк. Теперь пусть источник или наблюдатель движутся с относительной скоростью Vr, на котором укладывается Vr/λ волн. Таким образом, в случае движения вдоль луча зрения наблюдатель воспримет не ν волн, а на Vr/λ меньше, если расстояние увеличивается, и на Vr/λ больше, если оно уменьшается. Следовательно, изменится частота наблюдаемого излучения ν. Обозначая это изменение частоты через Δν и принимая, что положительным значением Vr соответствует увеличение расстояния, получим



Учитывая зависимость между ν и λ, мы видим, что при движении вдоль луча зрения изменяется не только частота воспринимаемого излучения, но и длина его волны соответственно на величину



Объединяя это выражение с предыдущим, найдем окончательную формулу для величины доплеровского смещения спектральных линий

 (28)

Более строгий вывод формулы для доплеровского смещения требует применение теории относительности. При этом получается выражение, которое при Vr<<с очень мало отличается от формулы ( ). Кроме того, оказывается, что смещение спектральных линий вызывается не только движениями вдоль луча зрения, но и перпендикулярными к нему перемещениями (так называемый поперечный эффект Доплера). Однако он, как и релятивистская поправка к формуле ( ), пропорционален (V/c)2 и должен приниматься во внимание только при скоростях, близких к скорости света.

Эффект Доплера играет исключительно важную роль в астрофизике, так как позволяет на основании измерения положения спектральных линий судить о движениях небесных тел и их вращении.

## Космические телескопы (в оптическом диапазоне) и открытия сделанные с их помощью.

Более 20 лет работают на околоземных орбитах специализированные спутники с УФ телескопами на борту, проводя астрономические наблюдения. Их инструменты достигли высокой разрешающей способности и совершенства. Это позволило решать многие проблемы современной астрофизики.

УФ излучение играет важнейшую роль как в существовании биологической жизни, в том, числе и человеческой, так и во всем комплексе процессов эволюции Вселенной. Изучать, что же происходит в глубинах космоса и как он устроен, интереснейшая задача и вечная цель человечества. Решая эту задачу, люди наталкиваются на фундаментальные природные ограничения, преодолевают их и ищут новые подходы для дальнейшего продвижения по пути познания. Одной из преград для проведения астрономических наблюдений служит непрозрачность атмосферы.

Земная атмосфера практически не пропускает весь УФ участок электромагнитного спектра. Однако именно в Уф диапазоне лежат длинны волн спектральных линий, соответствующих наиболее важным в астрофизике атомных и молекулярным переходам водорода и дейтерия. Там же находится множество резонансных линий большинства элементов, соответствующих, как правило, самому распространенному состоянию атомов. Из-за непрозрачности атмосферы исследовать Уф излучение небесных объектов можно только из космоса. Космическим телескопам атмосфера не мешает. Поэтому удается получать изображение объектов во Вселенной с предельно высоким угловым разрешением и резко увеличивать проницающую силу телескопа.

Изучение Вселенной в Уф диапазоне занимаются специальные космические аппараты. Уже проведены десятки космических экспериментов и несколько проектов находятся в стадии разработки. Важно отслеживать тенденции развития этой области науки, и, конечно, необходимо участвовать в перспективных проектах. Для России, имевшей здесь хорошие традиции, важно не потерять их. Особенно во время кризиса, когда необходимо искать различные способы сохранения высокой отечественной технологии, интеллектуального научно-технического потенциала, а в конечном итоге укрепления тающего авторитета развитой страны.

Уф участок электромагнитного спектра весьма широк, и потенциально он гораздо информативнее оптического. Создать эффективный универсальный инструмент, охватывающий весь этот диапазон, невозможно. Поэтому создаются астрономические инструменты, работающие в избранных участках спектра. Выбирают в каждом случае подходящую оптическую схему телескопа, технологию изготовления отражающих поверхностей. Обсерватория «Спектр-УФ» относится к числу крупных мировых проектов внеатмосферной астрономии. Его реализация позволит проводить наблюдения с высоким и даже рекордным разрешением в малоизученном, хотя и очень «богатом» линиями лаймановском участке спектра с временем непрерывной экспозиции до 30 ч.. В отдельных случаях экспозиция может достигать до 140 ч. при высоком пространственном и спектральном разрешении.

В состав космического аппарата «Спектр-УФ» входят служебный модуль, стандартный для всех научных спутников серии «Спектр», телескоп Т-170 и отсек с комплексом научной аппаратуры.

Условия наблюдения предъявляют жесткие требования к параметрам наведения и стабилизации инструментов. Поэтому космический аппарат снабжен системой управления пространственной ориентации в качестве первичного контура и системой точного гидирования телескопа Т-170 – вторичный контур. Первичный контур обеспечивает предварительное наведение телескопа с точностью 1-2′. Затем изображение объекта приводится в заданное положение с более высокой точностью и стабилизируется. Во вторичном контуре малые смещения оптической оси телескопа компенсируются за счет наклонов вторичного зеркала. Это позволяет достигать весьма высокой точности стабилизации – около 0,1′′. Прототип такой сложности системы доказал свою работоспособность во время полета обсерватории «Астрон».

На участке запуска КА телескоп Т-170 закрыт пылезащитной крышкой. Телескоп оснащен блендой, защищающей зеркало от светового потока Земли, Луны и Солнца. После выхода на орбиту солнцезащитная бленда открывается и переводится в рабочее положение. В период выполнения наблюдений пылезащитная крышка открывается. С помощью микродвигателей управления аппарат наводится в сторону исследуемой части неба, и производятся его стабилизация в пространстве, гидирование и другие подготовительные операции.

Орбита для спутника «Спектр-УФ» выбиралась с учетом того, что телескоп должен работать на большом расстоянии от сильного источника засветки – земли, и параметры ее должны быть устойчивыми. Также важно, чтобы КА не пересекал околоземные радиационные пояса, влияющие на работу многих приборов, кроме того, параметры орбиты должны соответствовать задачам запуска обсерватории, а спутник необходимо наблюдать максимальное время. Как показали расчеты, выполненные в Институте астрономии РАИ, таким условиям удовлетворяет сильно вытянутая орбита со следующими начальными характеристиками: высота апогея – 300000 км, высота перигея – 500 км, наклонение – 51,5° и период обращения 7 суток. В течение 8 месяцев после запуска высота орбиты изменяется и становиться рабочей – 250000 x 40000 км, что позволит аппарату постоянно приходится находится вне радиационных поясов.

Интересно сравнить «HST» и «Спектр-УФ», «HST» из-за большего размера главного зеркала выигрывает на длинах волн более 140 нм и существенно проигрывает в более коротковолновом участке. Это связано с наличием «HST» четырех отражающих поверхностей – две дополнительные появились в результате ремонтных работ на орбите по коррекции оптического тракта телескопа. У телескопа Е-170 отражающих поверхностей только две. Поэтому низкоорбитальная обсерватория «HST» имеет не более половины общего наблюдательного времени, а у обсерватории «Спектр-УФ» этот показатель может достигать 0,85. количество квантов, собранных за достаточно длительный промежуток времени обсерваторией «Спектр-УФ», будет больше, чем у «HST».

В составе комплекса научной аппаратуры «Спектр-УФ» входят четыре основных инструмента:

1. Телескоп Т-170. построен по оптической схеме Ричи-Кретьена и имеет характеристики: диаметр главного зеркала – 170 см, фокусное расстояние – 17 м, поле зрения - 40′ (20 см в фокальной плоскости), общая длина – 8,45 м и диаметр 2,01 м, расстояние между главным и вторичным зеркалами – 3,5 м, масса – 1700 кг.
2. Двойной эшельный спектрограф высокого разрешения (ДЭСВР) – предназначен для получения Уф спектров с высоким спектральным разрешением, позволяющим изучать контуры даже узких спектральных линий, ширина которых соответствует тепловым движениям в звездных атмосферах со скоростями около 5 км/сек. Основные параметры инструмента: спектральный диапазон – от 110 до 360 нм, разрешающая сила (R=λ/Δλ, Δλ=1100-3500 Å) до 60000, при самом высоком разрешении чувствительности не хуже 16m за 10 ч экспозиции (отношение сигнал/шум – S/N=10) или 11m за то же время (S/N=100).
3. Роуландовский спектрограф (РС) – предназначен для регистрации спектров в лаймановском участке, а также для наблюдения предельно слабых объектов с низким разрешением в более длинноволновом участке до 450 нм. РС состоит из одной вогнутой решетки и имеет минимальные оптические потери. Параметры спектрографа: основной спектральный диапазон от 90 до 120 нм и разрешающая сила (R) достигает 10000 в участке 91,2-120 нм и 3000 – в участке 115-450 нм.
4. Камера поля (КП), или регистрации изображений объектов с высоким угловым разрешением. Работает в двух режимах (модах). Короткофокусная мода обеспечивает наблюдение предельно слабых объектов, а при работе в длиннофокусной моде обеспечивается высокое угловое разрешение. Параметры КП следующие: короткофокусная мода – рабочий диапазон длин волн от 91,2 до360 нм, поле зрения – 4, разрешение – не хуже 0,16′′, предельная звездная величина (V) объекта за 1 ч наблюдений – 29m; длиннофокусная мода – поле зрения 24m, разрешение в центральной области при применении специальных математических методов обработки изображения до 0,05m, предельная величина (V) небесного объекта за 1 ч наблюдений - 24m.

КА «Спектр-УФ» рассматривается как многоцелевая обсерватория, предназначенная для решения многих задач. Перечислим некоторые из них:

* газодинамические процессы, сопровождающие образование звезд;
* важнейшие показатели звезд – светимость и эффективную температуру;
* радиусы звезд, период пульсации, эволюция;
* химический состав звезд;
* межзвездная и межгалактическая среда;
* поиски областей звездообразования;
* галактики (исследование).

Космический телескоп нового поколения: ключевой компонент космической программы NASA – космический телескоп следующего поколения (NGST-Next Generation Spase Telescope). Работа над ним начата в 1995 году, запуск намечается на 2008 год – год 50-й годовщины создания NASA. В 2008 году также исполняется 60 лет с тех пор, как Лайман Спицер предложил идею космического телескопа. Проект № 65Т – логическое развитие темы космического телескопа имени Хаббла.

Новый телескоп будет выведен на гелиоцентрическую орбиту с фиксированным положением вблизи второй точки Лагранта (L2) системы Солнце-Земля (1,5 млн. км от Земли в стороне, противоположной Солнцу), время полета до нее займет около 3 месяцев. Объектив нового телескопа – трех зеркальный анастигмат. Первичное зеркало диаметром 8 м сделано из бериллия. Оно состоит из центральной части диаметром 3,5 м и восьми лепестков, при выводе на орбиту лепестки сложены. Телескоп составлен из трех модулей: оптический, инструментальный (приемники излучения и управления), модуль поддержки, включающий защитный экран со стороны Солнца. В оптической части кроме основных зеркал имеются два небольших коррекционных зеркала для точной корректировки системы, исправления ошибок из-за гравитационных эффектов, градиентов температуры, краевых эффектов, старения. Телескоп будет охлаждаться до температуры ниже 50 К. он чувствителен к длинам волн от 0,6мм до более 10мм (от красного до среднего инфракрасного) с максимумом чувствительности от 1 мм до 5 мм (ближний инфракрасный свет). Инструментальный модуль содержит камеру ближнего инфракрасного света с полем зрения 4 x 4′, охлаждаемую до 30 К, мультиобъектный спектрометр того же диапазона и камеру (спектрометр в диапазоне 5-28 мм, приемник излучения в которой охлажден до 6 К).

№6SТ сможет наблюдать первые поколения звезд и галактик, включая отдельные районы интенсивного формирования звезд, протогалактические фрагменты, суперновые при красном смещении Z=5-20. №6ST позволит увидеть отдельные звезды в близких галактиках, проникнет в пылевые облака вокруг районов зарождения звезд, обнаружит тысячи субзвезд и объектов пояса Койпера. Субзвезды – объекты с массой меньшими, чем минимальная звездная, излучающие в инфракрасном диапазоне за счет гравитационного сжатия).

Новый телескоп сможет:

* детектировать самые ранние фазы формирования звезд и галактик – конец «темных веков»;
* разрешить первые галактические субструктуры, порядка отдельных скоплений звезд (размер 300 пк для 0,5<Z<5). Здесь требуется разрешение 0,060′′ на длине волны 2 мм;
* выяснить основные спектральные свойства далеких галактик. Провести статистический анализ свойств галактик, с большим красным смешением на полях 4 x 4′ (1 x 1 Мпк для 0,5<Ζ<5);
* обнаружить и исследовать запыленные районы, где скрыты области активного звездообразования и активные галактические ядра, в том числе для эпохи мощного звездообразования при Z=2;
* обнаруживать отдельные объекты, излучающие в среднем и дальнейшем инфракрасных диапазонах фона и получать их спектры вплоть до 28 мм.

Телескоп сможет исследовать все стадии формирования звезд и планетных систем от массивных оболочек вокруг протозвезд до пропланетных дисков вокруг молодых звезд главной последовательности. Он сможет наблюдать планеты типа Юпитера у всех одиночных звезд на расстояниях до 8 пк, получить первые прямые изображения и спектрограммы внесолнечных планет. Многие технические решения №6ST и технологии (сверхлегкая активная криогенная оптика, устройства для опознания формы и исправления волнового фронта излучения, широкоформатные высокочувствительные инфракрасные детекторы, сверхлегкие солнечные экраны) могут быть применены в науке и промышленности уже в ближайшее время.

О создании крупного орбитального оптического телескопа

Давно уже мечтали астрономы. Одним из первых и наиболее активных пропагандистов этой идеи стал в 40-50-х годах Л. Спицер из Принстонского университета. Еще в 1946 году он подготовил доклад (тогда секретный) о преимуществах космических наблюдений. В 1959, 1962 и 1965 годах на совещаниях астрономов США, посвященных выработке программы космических исследований, было рекомендовано начать работы по изучению проекта «Большой космический телескоп», а осенью 1971 года НАСА организовало комитет по разработке этого проекта, с которого и ведет свое начало программа Космического телескопа им. Хаббла.

В 1973 году рабочая группа специалистов под руководством Ч. О′Делла приступила к предварительной проработке основных вариантов конструкции «Большого космического телескопа», завершившейся в 1977 году создание рабочей группы Космического телескопа им. Хаббла. К этому времени телескоп утратил наименование «большого», диаметр его главного зеркала был уменьшен с 3 до 2,4 м. Дело в том, что разработчикам стали известны параметры МТКК – транспортной системы для вывода телескопа на орбиту. В грузовом отсеке МТКК можно разместить телескоп с диаметром зеркала до 3.2 м, но тогда массивные блоки служебных систем спутника (т.е. систем ориентации, энергопитания, связи) пришлось бы расположить за главным зеркалом, и для такого спутника с большим моментом инерции потребовалось разработать мощную и дорогую систему ориентации.

В варианте с 2,4-метровым зеркалом служебные системы скомпонованы в виде тора, окружающего главное зеркало, благодаря чему момент инерции спутника сильно уменьшится. Теперь спутник официально называется Космический телескоп им. Хаббла, в честь Э. Хаббла, открывшего расширение Вселенной.

Ограничение на длину инструмента и потребность иметь большое поле зрения привели к выбору оптической системы Ричи-Кретьена, в которая широко применяется и в современных наземных рефракторах. Главное и вторичное зеркала соответственно имеют форму вогнутого и выпуклого гиперболоидов и находятся на расстоянии 4,9 м друг от друга (эквивалентное фокусное расстояние 58 м). К качеству изготовления оптики предъявлялись исключительно высокие требования: например, поверхность главного зеркала не должна отклонятся от расчетной более чем на 10 нм.

Оптические детали телескопа крепятся к ферме из графито-эпоксидного композиционного материала, способной сохранять их взаимное расположение с точностью до 1 мкм, несмотря на перепады температуры. Требования к механической прочности конструкции связаны с 3-4 кратными перегрузками, возможными при взлете и посадке МТКК, а отнюдь не с условиями работы телескопа на орбите. Общая масса спутника 10.4 т.

В отличии от наземных телескопов Космический телескоп им. Хаббла будет работать и при ярком солнечном свете. Поэтому передний конец трубы телескопа существенно удлинен за счет светозащитной бленды, внутри трубы имеется система диафрагм, покрытых «особо» черной краской, способной отражать менее 1% падающего света и не давать бликов. Несмотря на эти меры, по-настоящему «темное» небо телескоп сможет регистрировать только тогда, когда объект наблюдения находится на угловых расстояниях более 50° от Солнца, 70° от освещенной части Земли и 15° от Луны.

Система ориентации Космического телескопа им. Хаббла построена на основе силовых гироскопов. Грубое наведение с точностью 1′ будет осуществляется с помощью звездных датчиков и гироскопов – датчиков скорости (положение их осей время от времени должно уточнятся по звездам). Однако расчетное качество изображения, получаемое с помощью 2,4-метрового телескопа на длине волны 0,5 мкм, равно 0,05′′, и чтобы использовать это преимущество перед наземными инструментами, требуется обеспечивать стабилизацию телескопа с еще более высокой точностью.

Направление оптической оси телескопа определяется тремя датчиками точного гидирования по изображениям звезд более ярких, чем 1,4m, в периферийной части поля зрения телескопа, разбитой соответственно на 3 сектора. По команде датчики начинают поиск гидировочных звезд, перемещаясь по спирали с центром в расчетном положении. Критериями правильности захвата нужных звезд служат значения их яркости и взаимное расположение. В случае неудачи поиск повторяется, затем переходят к поиску запасных звезд (если таковые имеются). Очевидно, выбор звезд должен производиться заранее, и это очень трудоемкая работа. Более того, точность координат существующих звездных каталогов, как правило, недостаточна, поэтому запуску Космического телескопа им. Хаббла должно было предшествовать фотографирование всего неба на наземных телескопах с большим полем зрения и составление специального каталога гидировочных звезд с точно известными положениями.

Датчики точного гидирования относятся к числу наиболее сложных систем телескопа и включают в себя прецизионные механические узлы, диссекторные телекамеры и даже интерфомометры. Небольшие смешения звезды в поле зрения соответствуют изменению разности фаз световых волн, приходящих на противоположные края зеркала телескопа: изменяются интенсивности интерферирующих пучков, и на выходе датчика возникает сигнал ошибки. При точности гидирования 0,007′′ время реакции датчиков точного гидирования должно быть меньше 1 с, и не только потому, что возможны быстрые колебания самого спутника, но и поскольку все звезды смещаются в поле зрения из-за аберрации света вследствие движения спутника по орбите.

К тому же с помощью Космического телескопа им. Хаббла будут наблюдаться и планеты, достаточно быстро перемещаться на фоне звезд. Однако с данной системой наведения этот телескоп не сможет наблюдать земную поверхность. Следует отметить, что неполадки при работе датчиков точного гидирования до последнего момента заставляли сомневаться в их работоспособности.

Как бы не был совершенен орбитальный телескоп, без светоприемной аппаратуры он «слеп». Выбор типа светоприемника для Космического телескопа им. Хаббла оказался не прост. Всерьез обсуждались возможность применения фотопленок, столь долго и успешно служивших астрономам на Земле. К сожалению, в условиях космоса высокочувствительные пленки постепенно темнеют из-за воздействия проникающей радиации, и поэтому их пришлось бы доставлять на Землю не реже одного раза в месяц. Однако частые посещения орбитального телескопа нежелательны как с экономической, так и с технической точки зрения. Отражающее покрытие зеркала (пленка алюминия и фтористого магния) очень чувствительно к газовой атмосфере, окружающей всякий крупный (а тем более маневрирующий) космический объект, поэтому плотная крышка будет открываться лишь после удаления МТКК и вновь закрываться с его приближением.

В 1973 году было решено использовать электронные приемники изображения, лучшим из которых считалась разрабатываемая в Принстонском университете Р. Даниельсоном и его сотрудниками передающая телевизионная трубка секон. Каково же было разочарование его создателей, когда в 1977 г. стало известно о резкой переориентации руководителей программы на твердотельные приемники. Это было смелое решение, ибо технология создания таких приемников насчитывала тогда всего несколько лет, и в астрономии они еще не использовались.

В настоящее время эти ПЗС-приборы – приборы с зарядовой связью – можно увидеть чуть ли не на каждом американском телескопе, и их преимущества хорошо известны: высокий квантовый выход, доходящий до 60%, большое количество чувствительных элементов, малый шум, большой рабочий диапазон изменения яркости объекта и высокая геометрическая стабильность.

# Использование приведенного материала в учебном процессе.

## Включение материала в темы занятий по физике, естествознанию (рекомендации для учителя).

На весь курс астрономии в программе средней школы отводится мало времени. За это время ученики должны освоить астрономию, сферическую астрономию, астрофизику, космологию и космогонию. Целостный курс астрономии практически распадается на ряд ознакомительных разделов, теряя филосовско-мировозренческое значение.

Одним из выходов видится экономия времени за счет введения различных элементов астрономических знаний в курс других школьных дисциплин в качестве иллюстративного материала. Например, развитие представлений о строении Солнечной системы – в истории; определение географических координат астрономическими методами, основы измерения времени – в географию; законы Кеплера, источники энергии Солнца, определение радиальной составляющей скорости звезд на основе эффекта Доплера – в физику; определение пространственной скорости звезд – в физику и геометрию; определение расстояний до звезд и до тел Солнечной системы – в геометрию; химический состав планет и звезд – в химию и т.п.

Хотя эти элементы будут просто иллюстрировать законы, изучаемые в данных дисциплинах, в курсе астрономии учитель уже сможет опираться на них. Время, требуемое для активизации знаний, значительно меньше чем для изучения.

Например, в 8-м классе в разделе «Геометрическая оптика» изучаются законы отражения и преломления света. В качестве примера применяемых законов в технике рассматривается всего одно устройство – фотоаппарат, приводятся его оптическая схема и принцип работы. Другие оптические приборы, такие, как телескоп и микроскоп, представлены только фотографиями. Однако эти приборы в школе применяются при изучении астрономии и биологии, и учащиеся должны знать их устройство. Оптические схемы микроскопа и телескопа вполне доступны пониманию детей этой возрастной группы, а оптические схемы телескопов – рефлекторов Ньютона и Кассегрена могут стать хорошей иллюстрацией того, как работают законы отражения света. Это удачно используется в интегрированном курсе физики и астрономии.

В 11-м классе вместо объяснения оптических схем телескопов достаточно показать их чертеж, тем самым активизировать знания и сократив время на изучение этого материала примерно на треть урока. Освободившееся время более полезно потратить на рассказ о крупнейших обсерваториях мира, обращая внимание на оптические схемы самых крупных телескопов этих обсерваторий.

Таким образом, включение астрономического материала в виде иллюстраций в другие школьные дисциплины позволяют освободить до одной трети всего времени без ущерба для самого курса астрономии и тех учебных дисциплин, в которых будет применятся иллюстративный астрономический материал.

## Планы-конспекты уроков

План-конспект урока по астрономии (11 класс).

**Тема**: Оптические телескопы.

**Цель:** Дать начальные сведения о телескопах.

**Тип:** Объяснение нового материала.

**Элементы усвоения**: Типы телескопов.

**Приборы и принадлежности:** Схемы рисунки.

**Методы:** фронтальный опрос, рассказ, беседа.

**Требования к знаниям и умениям учащихся:**

а) знать: 1) Предыдущий материал.

б) уметь: 1) Отвечать на поставленные вопросы.

2) Внимательно слушать новый материал.

**Задачи учителя**: обучающие – проконтролировать выполнение учащимися домашнего задания. Обеспечить усвоение нового материала.

 Развивающие – развить мышление, память, внимание и т.д

Воспитывающие – воспитать умение слушать других, умение настраиваться на учебную работу

**Ход урока:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Время** | **Деятельность учителя** | **Деятельность ученика** |
| 2 минуты | Приветствие. Организационный момент | Приветствие |
| 8-10 минут | Опрос по прошлой теме | Отвечают на вопросы |
| 25 минут | Объяснение нового материала | Слушают объяснения учителя и отвечают на поставленные вопросы. |
| 3 минуты | Подведение итогов | Записывают домашнее задание |

Дидактический материал (опрос по прошлой теме).

Объяснение нового материала:

Наблюдения основной источник информации о небесных телах, процессах и явлениях, происходящих во Вселенной. Для проведения наблюдений во многих странах созданы специальный научно-исследовательские учреждения – астрономические обсерватории. У нас, их несколько десятков: главная астрономическая обсерватория Российской Академии наук – Пулковская (в Санкт-Петербурге), Специальная астрофизическая обсерватория (на Северном Кавказе), Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга (в Москве) и др.

Современные обсерватории оснащены крупными оптическими телескопами, представляющими собой очень большие, сложные и в значительной степени автоматизированные инструменты.

Телескоп увеличивает угол зрения, под которым видны небесные тела, и собирает во много раз больше света, приходящего от небесного светила, чем глаз наблюдателя. Благодаря этому в телескоп можно рассматривать невидимые невооруженным глазом детали поверхности ближайших к Земле небесных тел и увидеть множество слабых звезд.

В астрономии расстояние между объектами на небе измеряются углом, образованным лучами, идущими из точки наблюдения к объектам. Такое расстояние называется угловым, и выражается оно в градусах и долях градуса. Невооруженным глазом две звезды видны раздельно, если они отстоят на небе друг от друга на угловом расстоянии не менее 1-2′. В крупные телескопы удается наблюдать раздельно звезды, угловые расстояния между которыми составляют сотые или даже тысячные доли секунды (под углом 1′′ «видна» спичечная коробка примерно с расстояния 10 км).

Существует несколько типов оптических телескопов. В телескопах – рефракторах (рисунок ), где используется преломление света, лучи от небесных светил собирает линза (или система линз). В телескопах – рефлекторах (рисунок ) – вогнутое зеркало, способное фокусировать отраженные лучи. В зеркально линзовых телескопах (рисунок ) – комбинация зеркала и линз.

С помощью телескопов производятся не толь визуальные и фотографические наблюдения, но преимущественно высокочастотные фотоэлектрические и спектральные наблюдения. Телескопы, приспособленные для фотографирования небесных объектов, называются астрографами. Фотографические наблюдения имеют ряд преимуществ перед визуальными. К основным преимуществам относятся: документальность – способность фиксировать происходящие явления и процессы и долгое время сохранять полученную информацию; моментальность – способность регистрировать кратковременные явления, происходящие в данный момент; панорамность – способность запечатлевать на фотопластинке одновременно несколько объектов и их взаимное расположение; интегральность – способность накапливать свет от слабых источников; детальность получаемого изображения.

Сведения о температуре, химическом составе, магнитных полях небесных тел, а также об их движении получают из спектральных наблюдений.

Кроме света, небесные тела излучают электромагнитные волны большей длины волны, чем свет (инфракрасное излучение, радиоволны), или меньшей (УФ, рентгеновское излучение и гамма лучи).

План-конспект урока по физике (11 класс).

**Тема**: Спектральный анализ.

**Цель:** Сформировать представление о спектральном анализе.

**Тип:** Объяснение нового материала.

**Элементы усвоения**: Спектр.

**Приборы и принадлежности:** таблицы, рисунки.

**Методы:** фронтальный опрос, рассказ, беседа.

**Требования к знаниям и умениям учащихся:**

а) знать: 1) Предыдущий материал.

б) уметь: 1) Отвечать на поставленные вопросы.

2) Внимательно слушать новый материал.

**Задачи учителя**: обучающие – проконтролировать выполнение учащимися домашнего задания. Обеспечить усвоение нового материала.

 Развивающие – развить мышление, память, внимание и т.д.

Воспитывающие – воспитать умение слушать других, умение настраиваться на учебную работу

**Ход урока:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Время** | **Деятельность учителя** | **Деятельность ученика** |
| 2 минуты | Приветствие. Организационный момент | Приветствие |
| 8-10 минут | Опрос по прошлой теме | Отвечают на вопросы |
| 25 минут | Объяснение нового материала | Слушают объяснения учителя и отвечают на поставленные вопросы. |
| 3 минуты | Подведение итогов | Записывают домашнее задание |

Дидактический материал (опрос по прошлой теме).

Объяснение нового материала:

Вы уже знаете, что существует несколько видов спектров: непрерывный, линейчатый, полосатый. Главное свойство линейчатых спектров состоит в том, что длины волн (или частоты) линейчатого спектра какого-либо вещества зависит только от свойств атомов этого вещества, но совершенно не зависят от способа возбуждения свечения атомов. Атомы любого химического элемента дают спектр, не похожий на спектры всех других элементов: они способны излучать строго определенный набор длин волн.

На этом основан спектральный анализ – метод определения состава вещества по его спектру. Подобно отпечаткам пальцев у людей линейчатые спектры имеют неповторимую индивидуальность. Неповторимость узоров на коже пальца помогает часто найти преступника. Точно так же благодаря индивидуальности спектров имеется возможность определить химический состав тела. С помощью спектрального анализа можно обнаружить данный элемент в составе сложного вещества, если его масса не превышает 10-10 г. это очень чувствительный метод.

Количественный анализ состава веществ по его спектру затруднен, так как яркость спектральных линий зависит не только от массы вещества, но и от способа возбуждения свечения. Так, при низких температурах многие спектральные линии вообще не появляются. Однако при соблюдении стандартных условий возбуждения свечения можно проводить и количественный спектральный анализ.

В настоящее время определены спектры всех атомов и составлены таблицы спектров. С помощью спектрального анализа были открыты многие новые элементы: рубидий, цезий и др. Элементам часто давали названия в соответствии с цветом линий спектра. Рубидий дает темно-красные, рубиновые линии. Слово цезий означает «небесно-голубой». Это цвет основных линий спектра цезия.

Именно с помощью спектрального анализа узнали химический состав Солнца и звезд. Другие методы анализа здесь вообще невозможны. Оказалось, что звезды состоят из тех же самых химических элементов, которые имеются и на Земле. Любопытно, что гелий первоначально открыли на Солнце и лишь, затем нашли в атмосфере Земли. Название этого элемента напоминает историю его открытия: слово гелий означает в переводе «солнечный».

Благодаря сравнительной простоте и универсальности спектральный анализ является основным методом контроля состава вещества в металлургии, машиностроении, атомной индустрии. С помощью спектрального анализа определяют химический состав руд и минералов.

Состав сложных, главным образом органических смесей анализируется по их молекулярным спектрам.

Спектральный анализ можно производить не только по спектрам испускания, но и по спектрам поглощения. Именно линии поглощения в спектре Солнца и звезд позволяют исследовать химический состав этих небесных тел. Ярко светящаяся поверхность Солнца – фотосфера – дает непрерывный спектр. Солнечная атмосфера поглощает избирательно свет от фотосферы, что приводит к появлению линий поглощения на фоне непрерывного спектра фотосферы.

Но и сама атмосфера Солнца излучает свет. Во время солнечных затмений, когда солнечный диск закрыт луной, происходит «обращение» линий спектра. На месте линий поглощения в солнечном спектре вспыхивают линии излучения.

В астрофизике под спектральным анализом понимают не только определение химического состава звезд, газовых облаков и т.д., но и нахождение по спектрам многих других физических характеристик этих объектов: температуры, давления, скорости движения, магнитной индукции.

# Заключение

Рассказ о строении окружающего нас звездного и галактического мира, об управляющих им законах, о путях его эволюции мы в целом воспринимаем сегодня как что-то само собой разумеющееся. В этом, безусловно, проявление уже глубоко укоренившейся в каждом из нас веры в науку, в ее, как представляется, почти неограниченные возможности. При этом мы вспоминаем слова выдающегося французского ученого Репе Декарта (1596-1650): «Нет ничего столь удаленного от нас, чего бы мы не смогли открыть». А также слова его не менее видного соотечественника Блеза Паскаля (1623-1662): «Удивительно не то, что Вселенная бесконечна, а то, что человек способен раскрыть ее тайны …».

Но если мы сравниваем работу астронома с особенностями проведения исследований представителями других естественных наук, то не можем не отметить ее кардинальное отличие. Физик, химик, биолог или геолог изучает тот или другой образец, имея его непосредственно перед собой. Объект своего исследования он может «пощупать руками» в любой момент и в буквальном смысле этих слов. Астроном же, как принято говорить, сидит на дне протяженного воздушного океана и всего лишь улавливает слабые световые потоки, приходящие к нему от того или другого небесного объекта. И, тем не менее, совершается нечто чудесное. Не выходя из стен своего учреждения, астроном определяет расстояние до этого объекта, как будто измерил его своими шагами, говорит о температуре на его поверхности, как будто побывал на нем, о массе объекта, как будто своими руками укладывал его на какие-то огромные весы, о химическом составе, как будто ему удалось как-то «зачерпнуть» крупицу вещества из его атмосферы. Более того, астроном рассказывает о строении звездных недр, как будто ему удалось пробуравить хотя бы одну звезду до ее центра, он строит схемы развития звезд, галактик и Вселенной в целом на протяжении миллиардов лет, хотя не в состоянии проследить за этим развитием даже какую-нибудь одну сотню лет …

И хотя в своем продвижении к свету, к пониманию законов мироздания люди долго блуждали во мраке неизвестности, ошибались, горизонт их познания постепенно и неуклонно расширялся. А здание науки о небесных светилах – астрономия – становилось все прекрасней …

# Литература

1. Журнал «Земля и Вселенная» №1, 2, - 2000 г., №5 – 2000 г.
2. П.И. Бакулин «Курс общей астрономии» М., «Наука» 1977 г.
3. В.Л. Гинзбург «Современная астрофизика» М., «Наука» 1970г.
4. Ф.Ю. Зигель «Астрономы наблюдают» М., «Наука» 1985 г.
5. Е.П. Левитан «Астрономия» учебник для 11 класса М., «Просвещение» 1994 г.
6. Б.А. Воронцов-Вельяминов «очерки Вселенной» М., «Наука» 1969 г.
7. П. Ходж «Революция в астрономии» М., «Мир» 1972 г.
8. К.Л. Баев «Создатели новой астрономии. Коперник, Бруно, Кеплер, Галилей» М., Учпедгиз 1948 г.
9. И.А. Климишин «Элементарная астрономия» М., «Наука» 1991 г.
10. Журнал «Астрономический вестник».
11. А. Томилин «Занимательно о космологии». Ленинград «Молодая гвардия» 1971 г.
12. Приложение к «1 Сентября» «Физика в школе».
13. Журнал «Космонавтика и астрономия», №11 1986 г. А.А. Токовинин «Орбитальные и оптические телескопы».
14. Журнал «Космонавтика и астрономия», №7 1987 г. Ф.С. Ортенберг «Методы инфракрасного зондирования Земли из космоса».