



## ПРОГРАММА STAR – БУКОВСКИЙ ВАРИАНТ

Project STAR: The Universe in Your Hands,- Н.Р.Сойлс ет ал. Кендалл/Хант Публ. Комп. 1993.

Краткий пересказ и комментарии Е.Л.Ченцова

([echen@sao.ru](mailto:echen@sao.ru))

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Дорогие читатели, коллеги, перед тем, как познакомить вас с гарвардской обучающей программой STAR, хочу вспомнить обстоятельства и настроение своей встречи с ней. Четверть века назад, в 1989 – 91 годах, по программе «People-to-people», нашу обсерваторию трижды посещали американские старшеклассники, интересующиеся Россией и астрономией, а наши ребята побывали в Америке. Учебник STAR привез нам Харольд Койл, его составитель и лидер первой группы американских школьников. Подарок для меня неожиданный, но в духе ожидаемого.

Дело в том, что нам посчастливилось гостить в Новой Англии, причем в том ее уголке, который называют сердцем и душой Америки, а книги новоанглийских романтиков были моим любимым чтением с детства, которое пришлось на годы советско-американского «боевого содружества». «Дорогие мои мальчишки» и «Два капитана», наши тогдашние новинки, сразу подружились с написанными веком раньше «Золотым жуком» и «Гайаватой». Эдгар По, Купер, Лонгфелло, Готорн. Потом Уолт Уитмен, потом Роберт Фрост...

Так что к следующей оттепели в наших отношениях с Америкой я был подготовлен лучше, чем мои юные спутники. Спрашивал их: «На что тут похоже»? «Ни на что не похоже», - отвечали, - «Все ново». Видимо, зоны внимания у нас не совпадали. Они были зачарованы видом с крыши одной из башен-близнецов в Нью-Йорке (тогда еще целых), я насмотреться не мог на крытые деревянные мосты, на одно-двухэтажные деревянные коттеджи в чешуе «шинглов» (строительной щепы). В одном из них под стук ночных капель вспомнилось уитменовское:

Подросток не спит на чердаке под кедровой крышей и слушает музыкальный дождь.

Деревянные дома моего детства давно снесены как отжившая рухлядь, а здесь - из 18-го века – целехоньки. Сохранены и старые табуретки, вязаные скатерти, более того, такие же изготавливаются и сегодня. Та же «провинциальность», что в довоенной еще «Одноэтажной Америке» Ильфа и Петрова. Хозяева объясняют: ностальгия по корням.

Их ностальгия деятельная. «Мейфлауэр II» стоит в Плимутской бухте. Оживлено первое поселение пилигримов, «Плимут - Плантейшн»: дома не просто восстановлены, они обитаемы. Энтузиасты в одеждах начала 17 в. выращивают пшеницу и кукурузу, ловят треску и лобстеров. И это не пилигримы вообще, а персонально - первый губернатор Брэдфорд, отец и

сын Брюстеры... Мери Уоррен сидит с Библией на коленях, беседует с посетителями.

- Астрономы? Слышала перед отплытием, Галилей какой-то что ли? Что-то он там открыл...

- Да, да,- подхватываем,- горы на Луне открыл, спутники Юпитера.

- Вот, вот...

Пауза.

- Но я не верю. Горы на Луне, еще чего!..

Сейчас 2016 г. Идет сбор подписей под требованием: астрономию – в школу!

Какую?

Да хоть какую-нибудь. Любую – от Платона до Уитмена: вот их крайние позиции:

«Если мы намерены изучать астрономию,.. мы должны изучать ее как геометрию, работая над математическими задачами и не тратя время на наблюдение неба.»

*Платон, «Государство», 360 г. до н.э.*

«Как будто в первый раз вся вселенная бесшумно погрузила меня в свою светлую несказанную мудрость, которая выше – о, безгранично выше! – всего, что могут выразить наши книги, искусства, проповеди... и новые науки.»

*У. Уитмен, «Часы для души» (о звездных ночах), 1878 г.*

Та астрономия, что была у меня в 10-м классе, ближе к “платоновской”, а STAR - к “уитменовской”. В ней ощутимы традиция прямого общения с природой, идущая от американских романтиков, пристрастие к простым рукодельным вещам. Прообраз подхода STAR видится мне, например, в рассказе Э. По «Низвержение в Мальстрем».

Рыбак на своем судне захвачен гигантским водоворотом. Он мчится по наклонной стене огромной водяной воронки, опускаясь к ее губительной горловине вместе с другими захваченными предметами. Надежды на спасение нет, нет уже и страха, но осталась любознательность! Выявляется закономерность: крупные предметы “низвергаются” быстрее мелких. А с ней – путь к спасению: человек, обхватив бочонок, покидает корабль и

выигрывает время до “выключения” Мальстрема. После спасения обращается к школьному учителю за объяснением увиденного и испытанного на себе .

Помимо простой аналогии – мы с Землей так же облетаем Солнце, поглядывая на другие планеты, внутренние и внешние, – рассказ содержит сильную идею, утверждающую необходимость науки: любознательность есть ИНСТИНКТ САМОСОХРАНЕНИЯ человечества.

Учебник STAR адресован непосредственно ученику. Казалось бы, а кому же еще? Но вот другая гарвардская программа, IMAGE (базирующаяся на снимках, сделанных из космоса) предлагает два учебника, один для школьника, другой для учителя, причем второй вдвое толще первого. Проблемы и методика непривычны для учителя, ему самому надо подучиться прежде, чем идти в класс. Или еще одна, интересная программа ARIES, для начальной школы. В ней все обучение – и счету, и чтению, и письму – строится на базе элементарной астрономии. И учебник - только для учителя, а для учеников в нем листки с заданиями, перед уроком учитель делает с них нужное количество копий.

Teacher's Guide – руководство для учителя, имеется и к нашему учебнику. Но все равно необходима “подгонка” по себе и по своим ученикам. Этот курс создавался именно для индивидуального пользования, другому он просто так, без “приручения”, “районирования” может и не даваться в руки. Мне, во всяком случае, первое время не давался. Казалось: интересно, просто – чего тут мудрить? Иди в класс и действуй по инструкции. А в классе выходило сухо, нудно, неинтересно. Начал проверять каждое упражнение на себе (случалось, что я оказывался единственным, кто его выполнил), примерять к особенностям и возможностям поселка обсерватории, обстоятельствам жизни детей и собственной жизни. И программа стала оживать, даже давать новые победы. Постепенно складывался ее буковский вариант.

Поселок Специальной астрофизической обсерватории РАН, Буково, встроен в ущелье Большого Зеленчука (Рис. 1). Нам, приезжим, он - чужбина, а нашим детям – родина, милейшее место на свете. Конечно, это ощущение передается и родителям. Спрашиваешь себя, как бы я себя здесь ощущал в их возрасте? То же и при освоении STAR,- чем бы она стала для меня в моем детстве? Становясь понятнее, она еще и облегчала и ускоряла мое привыкание к здешним местам, корректировала стиль жизни. Вскоре заметил, что ее освоение как бы “промывает стекла”, освежает все вокруг, идет “районирование” не только учебного материала, но и меня самого.



*Рис. 1. Поселок Буково в ущелье Большого Зеленчука. Вид с востока.*

Впрочем, и авторы не считают курс завершенным. Напротив, поощряется его развитие. Открывая учебник, школьник прежде всего узнает, что его

ожидает 100-долларовая премия, если он аргументировано выделит непонятные и скучные места. Передавая программу из рук в руки, придумавшие ее учителя проводят занятия с другими учителями, которые становятся на время учениками. При этом опять-таки выявляются оставшиеся огрехи, содержание и методика совершенствуются и варьируются.

Поэтому вместо полного перевода учебника, я ограничусь его фрагментами и комментариями к ним, основанными на опыте освоения программы учащимися разного возраста, от 9 до 16 лет, и немолодым астрономом.

### **АСТРОНОМИЧЕСКИЕ КОРНИ**

STAR – это не “звезда”, а сокращение от Science Teaching through its Astronomical Roots, т.е. «обучение естественным наукам через их астрономические корни». А можно и просто: “обучение наукам”, ведь астрономические корни есть почти у всех наук.

Почему не прямо, а “через”, в чем смысл обращения к корням? Тоже ностальгия? Похоже, есть и это. Но вообще - зачем, кем и как создана эта программа?

До конца 19 в. астрономия широко преподавалась в Америке как “полезная для души”, но потом ее вытеснили “более практичные” физика и химия. А вернула ее в школу реформа образования, инициированная, между прочим, нашим Спутником («Post-Sputnik reform»).

Здесь стоит отвлечься, чтобы сравнить воспоминания двух сверстников, популярного писателя Стивена Кинга и составителя STAR Харольда Койла.

*С.Кинг:*

«Впервые я пережил ужас... в один октябрьский день 1957 года. Мне только что исполнилось десять лет, и я находился в кинотеатре... Вдруг в зале зажгли свет, и на сцену вышел управляющий...

- Я хочу сообщить вам, - начал он, - что русские вывели на орбиту вокруг Земли космический сателлит. Они назвали его «спутник»...

Сообщение было встречено абсолютным, гробовым молчанием... Он несется где-то над нашими головами... Колыбель, в которой мы качались, внезапно опрокинулась, и мы вывалились. Для меня это был конец сладкого сна., и начало кошмара...»

*Х.Койл:*

«Мое внимание впервые обратилось к небу холодным вечером в октябре 1957 г... Мой отец вывел меня на улицу и показал мне светлое пятнышко,

плывущее среди звезд. Позднее я узнал, что это была ракета-носитель, которая вывела на орбиту Спутник I.»

Символично, что у первого день, и он слушает, у второго ночь, и он смотрит!

В 80-е годы прошлого века Америка все еще встревожена: в школе слишком слабо изучаются естественные науки, а это чревато снижением творческого потенциала страны и чуть ли не утратой ею статуса великой державы. Из трех предметов – физики, химии и биологии - старшекласснику достаточно выбрать один, и 84 % обходятся без физики. Сделать ее обязательной? Нет,- более привлекательной! Причем к старшим классам ученики должны подходить уже заинтересованными, значит “агитировать” нужно 10-14-летних. Чем их привлечь?

Очень скоро выяснилось, что из всех естественных наук только астрономия способна стать «возбуждающим полем и базисом будущей программы». Во-первых, в Америке она устойчиво популярна. Во-вторых, несмотря на удаленность космических объектов, они доступны для прямых контактов. Вроде бы Земля нам ближе, она наш дом. Да нет, мой дом – вот этот участок ущелья, ограниченный горами, дальше нескольких километров взгляд не проникает. Объехать или облететь Землю довелось немногим. А на небе - совершенно бесплатно, не тратясь на переезды, я могу простым глазом увидеть ближайшую звезду Солнце с ее планетами (вот сейчас по вечерам сияют Юпитер, Марс и Сатурн), звездные облака Млечного Пути, нашей Галактики, и галактику Андромеды, от которой свет шел до нас 2.5 миллиона лет.

И все это доступно пониманию среднего ученика. Хорошие снимки небесных объектов поразительно наглядны. Вспомним хотя бы замечание Р. Фейнмана о шаровом скоплении (рис. 2): «Кто не видит здесь действия тяготения, у того нет души!»

И наконец,- главный козырь астрономии. Как отдельный курс она преподается лишь в 15% американских школ, как часть других курсов – в 56%. Но кто ее преподает? С выяснения этого и началась разработка программы. Оказалось, это учителя физики, химии, даже истории, учителя профессиональные, но подавляющее большинство из них – любители астрономии! У нас любительство для учителя скорее порок, там логика другая: они выписывают популярные журналы, имеют свои телескопы, преданы астрономии, и почти все – дизайнеры своих курсов.



*Рис. 2. Шаровое скопление M13 в созвездии Геркулеса.*

Чтобы создать STAR, 40 школьных учителей из разных штатов и несколько профессоров Гарвардского университета и сотрудников Гарвард-Смитсоновского центра астрофизики (его директор Ирвин Шапиро - научный руководитель и один из идеологов программы) несколько раз собирались на летние четырехнедельные сессии. Общение учителей с учеными повышало их мастерство, усвоенное на лекциях по астрономии и педагогике тут же применялось к школьной практике. Но главным было обсуждение уже опробованных в классах и придумывание новых фрагментов программы. Эти фрагменты – activities, т.е. практические занятия, “лабораторки”. На сессии каждая пара учителей еженедельно выносила на суд коллег по одной “лабораторке”.

Такова одна из установок проекта: школьники обучаются лучше всего на практических работах. Брюс Грегори, член “научной команды” STAR, спрашивает: «Как бы Вы отнеслись к тому, чтобы лечь под нож хирурга, который никого до Вас не оперировал, но зато прочел много книг и отлично сдал все экзамены?» Похоже, что американская школа видит главного врага в функциональной неграмотности. Проходил литературу – стань читателем (а это совсем не то, что быть просто грамотным) и хоть немного писателем. Изучал физику – почувствуй себя испытателем природы.



Отсюда предпочтительная методика - не “show-and-tell” (показывай и рассказывай), а “ask-and-do” (ставь вопросы и разрешай их).

Другие установки STAR:

- Оборудование для практикума должно быть дешевым. Пластиковые “небесные” полусферы и линзы для телескопов, а трубки для них - картонные сердечники от бумажных полотенец. Бумага, ножницы, клей... Все сделанное учениками не хранится в школе, а уносится ими домой. В связи с этим любопытен один эпизод Post-Sputnik-reform. Многие школы получили тогда планетарии. Из трех школ, которые мы посетили, они были в двух. Ученикам нравились уроки под искусственными звездами, но знания, которые они с них выносили, были поначалу мизерными. Отдача стала ощущаться после того, как дорогие планетарии дооснастили самодельными фотометрами из засвеченных пленок, угломерами из транспортиров, планшетами и ручками с подсветкой. Эти мелочи позволили делать измерения и записи, перевели учеников из пассивного режима “show-and-tell” в активно-исследовательский режим “ask-and-do”.

- Учить только тому, что ученик способен усвоить. Ибо владение немногими, но хорошо понятыми идеями ценнее, чем беглое знакомство с сотнями новых слов, определений и формул. Как выразился один из авторов STAR, «мы грузим и грузим в них информацию, а потом требуем “отрыгнуть” ее, и по этой “отрыжке” судим о степени усвоения». Работая с ограниченным числом концепций, STAR снова и снова подводит к ним с разных сторон и убеждает в том, что они действуют очень широко – и в классе, и в космосе.

- Помнить, что годы сознательной жизни уже вооружили школьника “наивными теориями” об устройстве мира и его законах. Об этом сам он обычно не подозревает. Их необходимо вскрыть прежде, чем переходить к научным концепциям.

### **НАИВНЫЕ ТЕОРИИ**

В обычной школьной практике не принято спрашивать ученика о том, что ему еще не объяснили. А в STAR каждое занятие начинается именно с такого вопроса: предлагается предсказать результат наблюдения или опыта до того, как они сделаны. Этим провоцируется обращение ребенка к его “наивным теориям” – больше ему опереться не на что. Б.Грегори поясняет: «Коль скоро их убеждения работают, ученики вполне резонно не спешат от них отказываться только потому, что так велел учитель. Отказ может последовать только в том случае, если ученик убедится, что концепция не работает, увидит это на практике. Ни хорошие отметки, ни вся школьная премудрость не вытеснят предрассудков, пока мир школы не пересечется с реальным миром.»

Обязательно ли их вытеснять? Программа как будто не настаивает на этом. В очерке А.Герцык «Из мира детских грез», написанном в начале прошлого века, очень живо передана горечь утраты ребенком своей наивной теории: «То, что я узнала о круглой вращающейся Земле, о частях света и солнечной системе, не обрадовало и не вознаградило меня за разбитую иллюзию... Мне хотелось взять мир под свою защиту от убивающих взоров взрослых...»

Но то, что добыто личным опытом, может быть не убито, а развито новым личным опытом. Значит надо организовать его получение, что и делает STAR в своих activities.

Ценен именно личный опыт. Учебник имеет подзаголовок: The Universe in Your Hands – «Вселенная в твоих руках». Научная теория - всеобщая, «всехняя», а наивная, пусть даже неверная,- зато твоя.

STAR обещает помочь освоить научный способ мышления и понять мир, в котором мы живем. Учебник открывается таким обращением к ученику: «Пожалуйста, помни, что начало курса не требует от тебя никаких астрономических знаний. Так что НЕ БОЙСЯ ДЕЛАТЬ ОШИБКИ! Как раз они-то и помогут тебе учиться.» Некоторые понятия начинают использоваться прежде, чем даются их определения. Лишь бы оно работало, определение потом! Допускаются не вполне четкие описания и приблизительные оценки величин. Широко используемые модели обычно предельно просты.

У программы мощный гуманитарный потенциал, она совсем не прочь выйти за границы естествознания. Практические занятия не только прививают навыки наблюдений и экспериментирования, но и поощряют душевную пристальность. На них ученик обзаводится своим, надежным и уютным миром, который он не рассматривает извне, а ощущает себя внутри него.

Наука открывается ученику не только как результат, но прежде всего как процесс. Поэтому обсуждаются и заведомо ошибочные положения. А самая, наверно, известная ошибочная концепция, геоцентризм, даже используется в начале курса. Да, неверен, зато помещает нас внутрь мира, в самый его центр..

Основные темы программы STAR:

- Ориентация в пространстве и времени.
- Законы природы.
- Свойства и природа света.

Обсуждают их в основном применительно к Солнечной системе, меньше внимания уделяется звездам и совсем немного галактикам. Услышав впервые о такой расстановке приоритетов от Х. Койла, я удивился: вроде бы детей далекие галактики привлекают больше, чем наши соседки (планеты у других звезд тогда еще не были открыты). Недавно, съехавшись в САО на День открытых дверей, школьники очень азартно спорили о черных и белых дырах, и перевести их внимание не то, что на планеты, - на обычные, еще светящие звезды, и то не удавалось. Не удивительно, что один из “продвинутых” учеников обозвал программу STAR “дебильной”. Зачем, мол, открывать уже открытое? Его просто надо принимать к сведению!

Но STAR, не подавляя воображения, привлекает возможностью увидеть своими глазами, сделать своими руками. Школьники находят, что ее activities интереснее обычных учебников. А возня со сферами с выходом на природу сезонов и моделирование Солнечной системы, с которых начинается программа, – одни из самых интересных.

## **ЧАСТЬ I. СОЛНЦЕ, ЛУНА И ПЛАНЕТЫ**

### **ДОТРОНУТЬСЯ ДО НЕБА РУКОЙ**

Если мы хотим не просто видеть небесные объекты, но и измерять их положения, надо обзавестись измерительными инструментами. Простейший из них – собственная рука. Не очень точный, зато всегда с собой. И, главное, можно “потрогать небо”, ведь для нас и близкая Луна и далекая галактика Андромеды - на расстоянии вытянутой руки.

#### **Упр. 1. Использование руки для локализации объекта в небе.**

Вообрази, что ты увидел что-то интересное на небе и звонишь об этом приятелю. Какую информацию надо ему сообщить, чтобы он понял, куда смотреть?

Одна часть этой информации – высота объекта над горизонтом. Горизонт определен просто: линия, вдоль которой проходит граница между небом и землей (или водой). Но с оговоркой: она часто бывает заслонена – горами, домами, деревьями. Определение высоты более четкое: это угол между прямой от твоего глаза к объекту и прямой от глаза к точке на горизонте прямо под объектом.

Чтобы оценить высоту с помощью собственного угломерного инструмента, нужно его сначала “прокалибровать”: узнать угловой размер кулака вытянутой руки.

Для этого рекомендуется:

- прислониться спиной к стене комнаты,
- вытянуть руку и сжать пальцы в кулак,
- перемещая вытянутую руку из горизонтального положения в вертикальное, сосчитать, сколько “кулаков” уложится от отметки на противоположной стене на уровне глаз до точки на потолке точно над головой, т.е. на дуге в 90 градусов.

Допустим, их оказалось 7, значит кулак вытянутой руки виден под углом около 13 градусов. Манипулируя большим пальцем, можно “настроить инструмент” так, чтобы угловой размер кулака снизился до 10 градусов.

Для меньших углов можно использовать пальцы вытянутой руки, большой палец – примерно два градуса, мизинец – около одного.

Инструкцию по использованию пальцев для измерения углов можно также найти в Интернете.

Теперь можно опробовать свой инструмент - оценить высоту Солнца. Но сначала нужно строго-настрого запомнить: НЕ СМОТРЕТЬ ПРЯМО НА СОЛНЦЕ! Заслони его другой рукой или найди место, из которого оно чем-нибудь прикрыто.

Чтобы провести это измерение, ты повернулся вдоль горизонта лицом к Солнцу. И это направление - другая часть информации о положении объекта на небе. Она выражается в градусах дуги горизонта, идущей от точки севера по часовой стрелке (вправо) до точки, лежащей строго под объектом. Ученику напоминают, что горизонтальные углы (азимуты) он уже оценивал с помощью компаса, но теперь может обойтись и без него.

Сегодня нельзя не считаться с тем, что для многих самыми знакомыми небесными объектами после Солнца и Луны все еще остаются НЛО. Вводный вопрос упр.1 можно бы изменить так: устроила бы твоего приятеля следующая информация? «В 19 часов над возвышенностью в районе восточной заправки появились летательные аппараты – один из них полетел в сторону телевышки, а другой в сторону совхоза «Юбилейный»». Это цитата из давнего газетного репортажа «Нашествие НЛО на Черкесск». Вместо высот и азимутов – местные ориентиры. Небо вообще ни при чем, они тут, у нас летают!

Увы, это были запуски ракет с космодрома Капустин Яр под Волгоградом. Самарские экологи наблюдали их с противоположной стороны и сообщили о «десанте зеленых пузырей на Жигули». Не к вам, а к нам они прилетали! Но у них хоть не “летательные аппараты”, - наблюдается, действительно,

раздувающийся пузырь газов, вырывающихся из сопла ракеты – “искусственная эмиссионная туманность”. Из Букова, с расстояния около 600 км, ее координаты были: высота – 1 “кулак”, азимут – 2 “кулака”.

## **ДНЕВНОЙ ПУТЬ СОЛНЦА ПО НЕБУ**

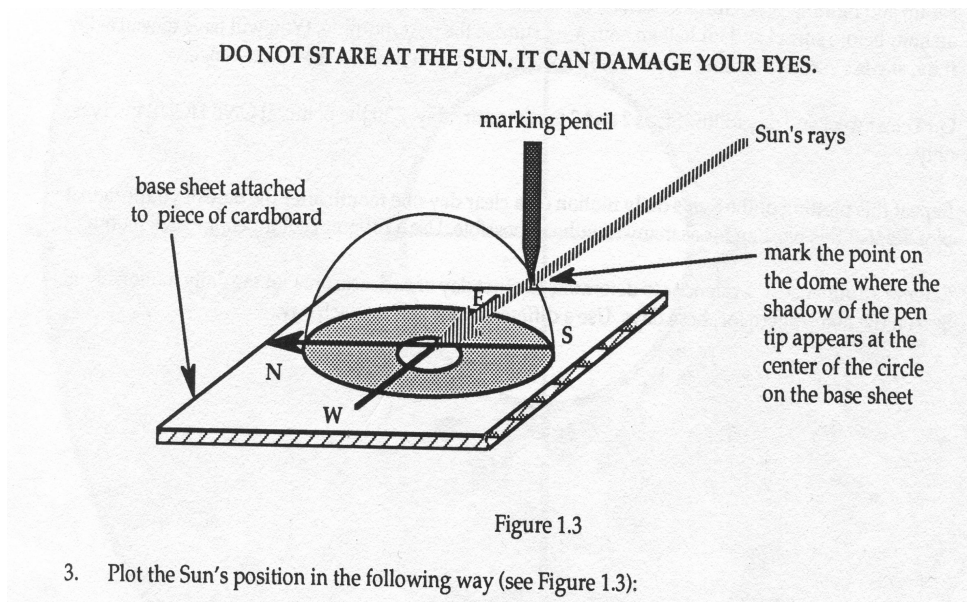
Положение Солнца на небе и его изменение в течение дня более точно фиксируются с помощью прозрачной пластиковой полусферы с плоским квадратным основанием. В STAR используется полусфера диаметром 18 см (заказывая ее, Даррел Хофф дал размер своей шляпы), но, конечно, она может быть и больше и меньше.

### **Упр. 2. Нанесение на полусферу дневного пути Солнца.**

Ученик кладет на стол лист бумаги с окружностью того же диаметра, что у полусферы, и точкой в ее центре и накрывает его полусферой так, чтобы точка стала и ее центром. Помечает одну из сторон квадратного основания значком севера, остальные – по часовой стрелке – значками востока, юга и запада.

Ему предлагается вообразить себя наблюдателем, “сжавшимся” в точку в центре основания полусферы, а ее внутреннюю поверхность - небесным куполом над собой. С помощью фломастера он помечает на полусфере, где по его мнению сегодня вошло Солнце, где окажется в полдень и где зайдет.

Затем следует переход от воображаемого Солнца к реальному. Полусфера с бумажным листом в основании устанавливается на горизонтальной поверхности под его прямыми лучами и выставляется по возможности строго по странам света. В классе, если солнечный свет в него проникает, если нет,- на улице.



*Рис. 3. Кончик фломастера коснулся купола, когда его тень совпала с центральной точкой.*

Двигая фломастер вблизи поверхности полусферы, нужно подвести тень от его кончика к точке в центре основания и только тогда поставить точку на полусфере (рис..3). Процедуру надо повторить в разные часы одного или нескольких соседних дней (в школе или дома), чтобы точек стало достаточно для уверенного проведения кривой движения Солнца по небу.

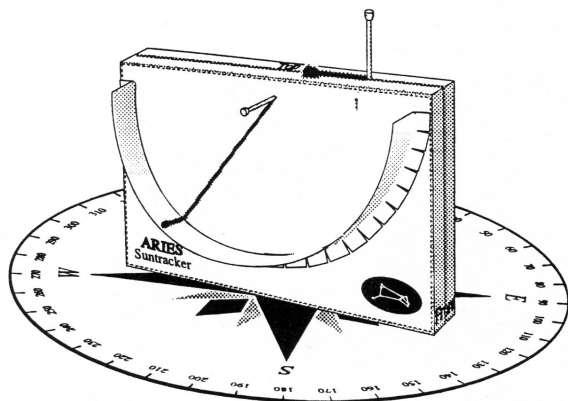
Очень важно обсудить расхождение наблюдаемого с предсказанным. Даже в наших, средних широтах популярно заблуждение, что Солнце всегда восходит на востоке, заходит на западе, а в полдень проходит через зенит. Там его часто и помещают, а оно оказывается ниже. Можно напомнить ученику, что поле зрения у него уже, чем у лягушки, и все, что за его верхней границей, "уходит в зенит". Но, по-моему, лучше предложить ему лечь на спину и «запрокинуть лицо в небосвод». Ось нашего глаза, обычно направленная почти горизонтально, станет вертикальной – как у пластиковой полусферы. И Солнце, только что вроде бы висевшее над теменем, "уйдет в ноги"!

Как сориентировать полусферу по странам света?. STAR рекомендует выставлять ее по компасу, что осложняется учетом магнитного склонения. Но почему бы не предварить упр. 2 проведением полуденной линии (N – S) прямо по Солнцу (фиксируя изменения длины и направления тени вблизи полудня) или/и в темное время по Полярной звезде?

Конечно, о движении Солнца по небу говорят и тени. По приглашению Вивьен Кроуфорд, учительницы из-под Чикаго, мы участвовали в родственном STAR международном проекте «Тенеграммы». На большом

листе бумаги обводилась фломастером тень от полуметровой мензурки. За несколько часов получался очень выразительный учебный плакат с “ромашкой”, каждый “лепесток” которой помечен временем его появления. Мы отсылали свои «тенеграммы» и получали их с разных широт. Постепенно они заполнили полстены в нашем классе. Учитель мог бы за день-два изготовить всю эту коллекцию. Так стоило ли затевать всемирную “лабораторку” и раз за разом склоняться над мензурками, которыми оцетинился, как свернувшийся еж, земной шар? Для нас этот вопрос даже не возникал.

А в упомянутой выше программе ARIES теневым методом измеряются координаты Солнца. Делается это с помощью «сантрекера» (“солнечной ищейки”). Устройство его ясно из рис. 4. Это деревянный брусок с двумя гвоздиками, вертикальным и горизонтальным. Первый вбит на прямой, проведенной посередине верхней грани, второй – на боковой грани в центре приклеенного полукольца высот. Поворачивая брусок вокруг вертикальной оси, проходящей через центр круга азимутов, совмещаем тень от вертикального гвоздика с прямой. Эта прямая покажет азимут, а тень от горизонтального гвоздика – высоту. Повторяя измерения, строим графики зависимостей высоты и азимута Солнца от времени.



*Figure 1: The Suntracker pointing at the Sun, with the compass card indicating direction.*

*Рис. 4. “Солнечная ищейка” из программы ARIES.*

Полусфера проще, нагляднее, чем сантрекер. И еще она мне нравится тем, что удивительно похожа на чудесный предмет из «Сказки королей» Чюрлениса (снимок на обложке). Вот что о нем сказал сам художник: короли «ищут, откуда в этом темном лесу словно свет струится. И нашли на земле, между могучими темными стволами, маленькую вещицу, излучающую

солнечный свет. Один из королей взял ее в ладони, оба смотрят и дивятся. Что бы это такое могло быть?.. А ведь это простая, всем нам известная литовская деревня. Она посылает миру сияние самобытной литовской культуры.»

Буковская полусфера тоже кое-что говорит о нашем месте. Поверху на ней три солнечных дорожки: зимняя, летняя и весенне-осенняя, а внутри модель школы из спичечных коробков и бумажные горы по горизонту.

### **ДНЕВНИК СОЛНЕЧНЫХ ЗАКАТОВ**

Его можно вести одновременно с наблюдениями дневного движения Солнца.

Это упражнение задавал себе и выполнял Ньютон в возрасте учеников STAR.

**Упр. 3.** Снова начинаем с личного опыта ученика. На рисунке с условной линией западного горизонта указаны точка и время захода Солнца. Нужно предсказать, где и когда оно зайдет через месяц, через два.

Затем обращаемся к реальному западному горизонту.

- Выбираем место, с которого он хорошо виден (и не меняем его за время наблюдений!).

- Зарисовываем линию видимого горизонта в обе стороны от точки захода, отмечаем на ней удаленные объекты, они послужат ориентирами. Направление на запад можно найти, отвернувшись на 90 градусов от уже проведенной полуденной линии или пронаблюдав заход экваториальных звезд.

- Дождавшись захода Солнца, замечаем, что передний и задний планы ландшафта слились, картина стала двумерной, разделенной линией видимого горизонта на темную нижнюю и светлую верхнюю части. Отмечаем на рисунке, в каком месте и в котором часу Солнце пересекло эту линию.

- Повторяем наблюдения с интервалами в несколько дней до тех пор, пока не убедимся в изменении места и времени захода. Вблизи равноденствий для этого достаточно одной-двух недель, но с приближением солнцестояния желательно вернуться к упражнению и увидеть замедление перемещения точки захода Солнца.

Конечно, можно заменить (или дополнить) заходы восходами.



Карл Юнг описал утренний ритуал, сохранившийся с давних времен у коренных жителей Кении. Они с усилием дуют или плюют на ладони и протягивают их к восходящему Солнцу – отдают частицу души своему божеству. Однако в дневном палящем солнце ничего божественного они не видят. Не правда ли, похоже на наши 2-е и 3-е упражнения? На Солнце в небе смотреть нельзя, у горизонта – нужно.

Но первое же наше наблюдение показало, что без черного стекла или пленки, причем достаточно плотных (обычные темные очки не годятся), не обойтись. На равнине, возможно, в них и нет нужды. У нас же заход совершается высоко над истинным горизонтом (рис. 5), и живем мы повыше, так что часть воздуха просто под нами, да и сам воздух чище. По существу, как и в упр. 2, Солнце в небе! Черное стекло позволило спокойно следить за плавным скольжением солнечного диска и даже различать на нем крупные группы пятен.

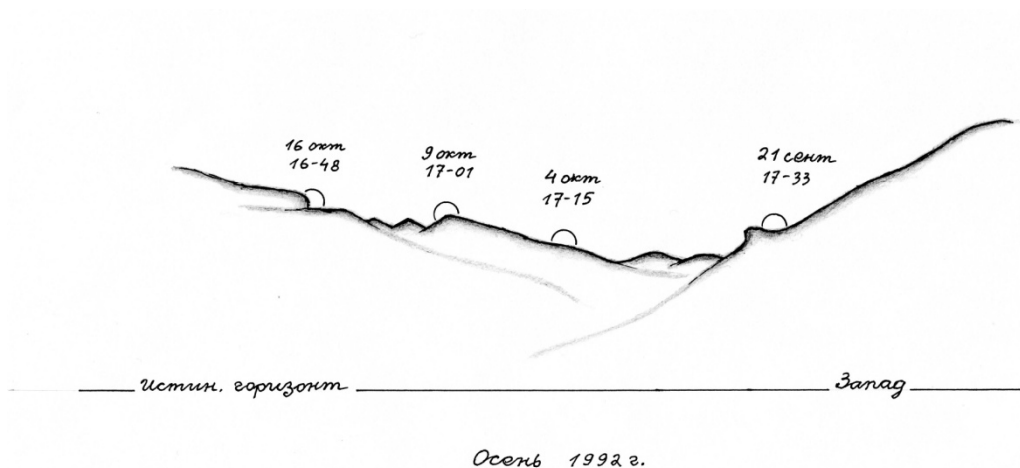


Рис. 5. Буковский дневник заходов Солнца.

В “закатной” элегии Грея (в переводе Жуковского) Солнце уходит под горизонт, «предоставляя мир молчанию и мне». Однако готов ли ты принимать то, что природа не устает вновь и вновь тебе предоставлять?

А вот строгая оценка Маршака:

... А часто ли видел ты близких своих?

Всего только несколько раз,-

Когда твой досуг был просторен и тих

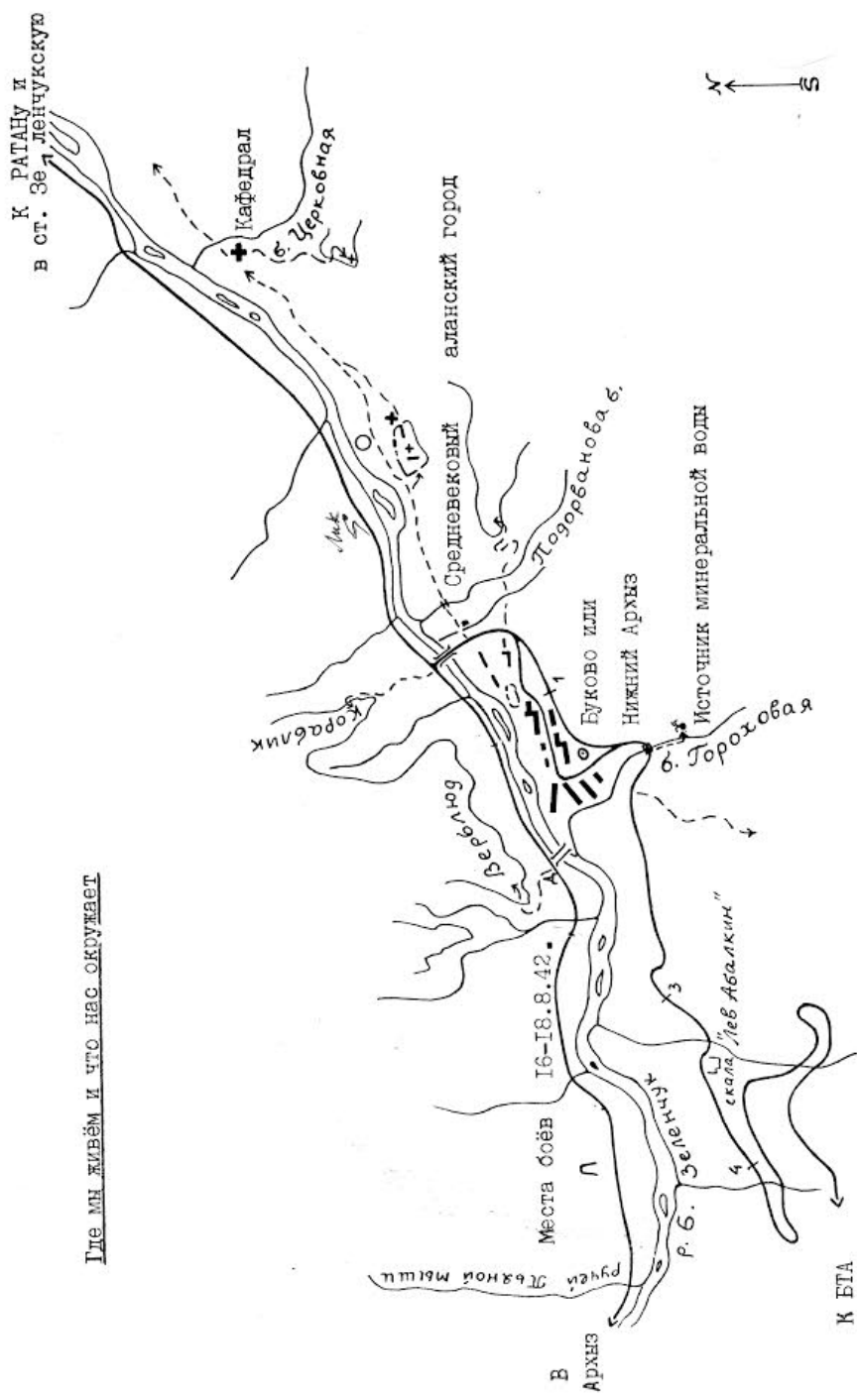
И пристален взгляд твоих глаз..

Упражнение простое, но странным образом оно удается только при вот именно тихом, просторном, и вместе пристальном вглядывании. Оно и прививает навык такого вглядывания, вкус к нему. Тебя начинает тянуть к нужному часу на свое “место встречи с Солнцем”, кажется, что без твоего присмотра оно не зайдет как надо: ведь ты уже знаешь и подсказываешь ему, куда сегодня садиться.

Видимо это испытано и авторами STAR. Цитирую из учебника: «What's your science homework for tonight? - I have to watch the Sun set.» Что тебе задано? «To watch» допускает несколько переводов, я выбираю не пронаблюдать, а провести заход Солнца.

Ты обнаруживаешь, что до этого упражнения пожалуй и вправду не видел своих закатов и гор. А еще оно хорошо помогает в освоении новых мест. Попробуйте – убедитесь!

Наша линия горизонта очень изломана. Один из младших учеников заметил, что зимой Солнце “катается с горки”. Ему повезло с местом наблюдения: на юго-западе склон горы очень крут, и погружение солнечного диска занимает не обычные 2-3 минуты, а целых 15. А летом мы перенесли наблюдения за западную окраину поселка, на развалины средневекового аланского города (рис. 6). Там мы отыскали место, откуда видно, как в конце июня Солнце, коснувшись среза скалы «Кораблик», поворачивает к западу. Название совсем свежее, оно дано буковскими детьми, а все древние, даже название города, забыты. Так не был ли наш «Кораблик» когда-то «Стоп-скалой»?



Где мы живём и что нас окружает

Рис. 6. Карта, составленная буковскими школьниками. Часть топонимов придумана ими же: между аланским городом и Буково – провал в несколько сот лет, и древние названия забыты.

*До самых дальних точек ландшафта, видимых из поселка, немногие километры. Поэтому результаты наблюдений у разных учеников часто не сходятся, у одного Солнце добралось до этого выступа только сегодня, а у другого неделю назад. Утешаю: «В твоём мире так, в его – этак, здесь нет ошибки, обе оценки правильные». Чтобы это лучше улеглось, устраиваем два заката в один вечер. Сначала все вместе засекаем время захода у нижнего, северного дома и устремляемся вверх по склону к самому южному дому. Здесь обнаруживаем Солнце еще не закатившимся. Второй закат совершается через восемь минут после первого... Кстати, чем не наглядная демонстрация параллакса?*

Завершая обсуждение **упр. 3**, перенесемся мысленно в Перу, к древней (4 в. до н. э.) солнечной обсерватории Чанкильо. Это недалеко от экватора, значит Солнце там “ныряет” под горизонт и “всплывает” из под него почти вертикально. Возможно, это и подсказало идею постройки искусственного “зубчатого горизонта” - вытянутой с юга на север цепочки из 13 башен. С востока от нее оборудована площадка для наблюдения заходов, с запада – такая же для наблюдения восходов. С восточной площадки видно, как 21 декабря Солнце садится точно на крайнюю левую башню (с противоположной площадки - восходит из-за нее). К 21 июня оно добирается до крайней правой и в следующие полгода совершает обратный переход.

## **НЕБО ДНЕВНОЕ И НОЧНОЕ**

В учебнике STAR два разных неба, они разведены по двум главам. Все предыдущее - в «Дневном небе», а обратившись к Луне, мы переходим в «Ночное небо». Такое разграничение кажется мне слишком резким и непродуктивным.

Прозрачность горного воздуха позволяет видеть днем простым глазом не только Луну, но и Венеру в элонгациях, а в небольшой телескоп даже звезды.

Учебник, конечно, упоминает о редких коротких возможностях наблюдать звезды днем – во время полных солнечных затмений. Но после его выхода в свет был запущен и до сих пор успешно работает космический аппарат SOHO. Он непрерывно фотографирует затмение Солнца “искусственной Луной”, показывая солнечную корону, а заодно и окружающие звезды, планеты, кометы (рис. 7). Снимки доступны через Интернет. Так почему бы не дополнить пластиковую полусферу этим продуктом новейших технологий, чтобы прямо следить за движением Солнца по зодиакальным созвездиям?

Упражнение 3 полезно расширить: после захода Солнца пронаблюдать несколько раз также и заход ближайшей яркой звезды.

Наконец, небо как большая полусфера над нами, как НЕБОСВОД, по-настоящему воспринимается только ночью, когда он разукрашен звездами...

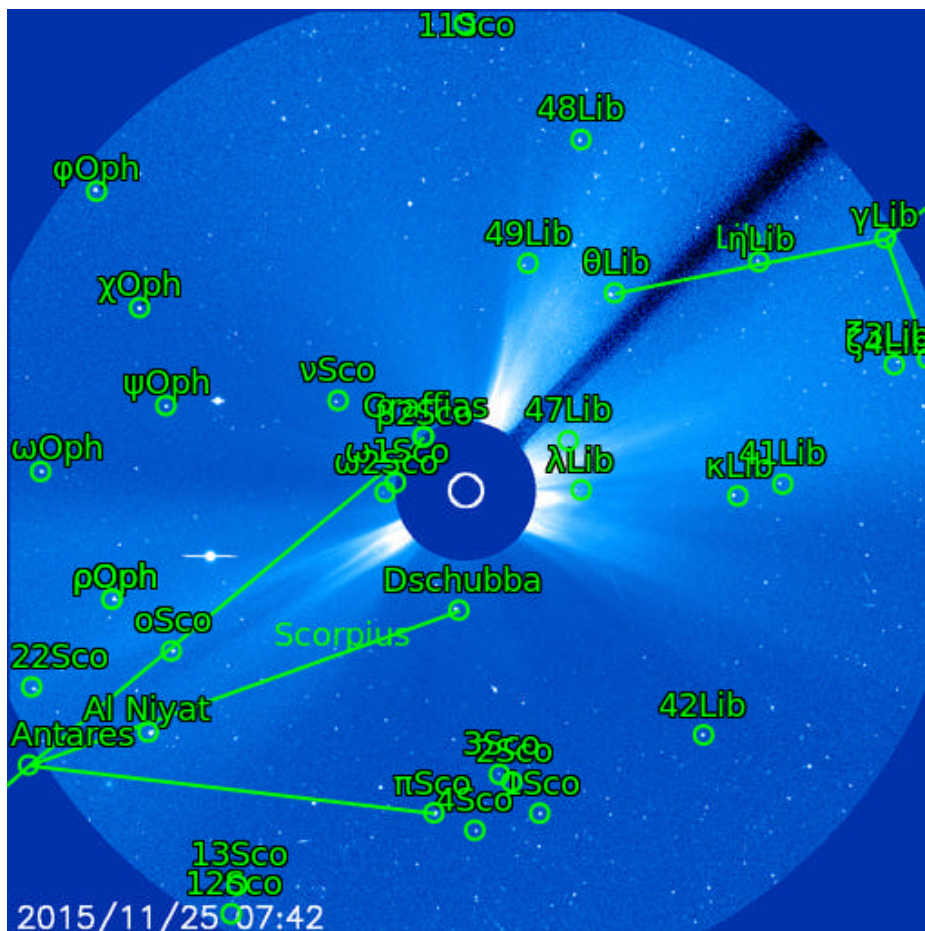


Рис. 7. Снимок с сайта SOHO. Солнце переходит из созвездия Весов в созвездие Скорпиона.

## ПОЛОЖЕНИЯ В НЕБЕ И ВИДИМЫЕ ФОРМЫ ЛУНЫ

Движение Луны по небу, по крайней мере, вблизи полнолуний, также можно проследить с помощью полусферы или сантрекера. Но надо учитывать еще и фазы. Поэтому положение Луны относительно наземных ориентиров и Солнца придется оценивать “на глазок”. Зато делать это, как и различать фазы, можно даже сквозь легкие облака.

**Упр. 4.** На вводном рисунке над горизонтом, на этот раз южным, изображена Луна в 1-й четверти и указаны дата и время наблюдения. Предлагается дорисовать на нем, где и какой была и будет Луна в то же время, но накануне и через два дня.

- Начинаем наблюдения, выбрав для них удобное время и место. Место должно оставаться постоянным, а время не отклоняться от выбранного больше, чем на 15 минут.

- Зарисовываем линию видимого горизонта между точками востока и запада с точкой юга посередине (рис. 8). В этом упражнении наша приподнятость “небесной линии” на юге выгодна: дальше от истинного горизонта, но ближе к пути Луны по небу. Она может быть удобной и в городе: Луна “перепрыгивает” с крыши на крышу.

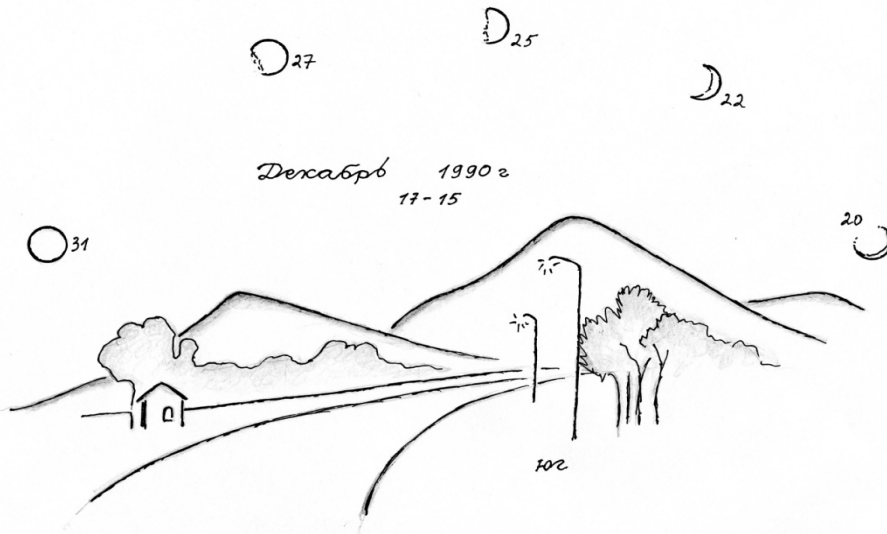


Рис. 8. Луна над южным буковским горизонтом.

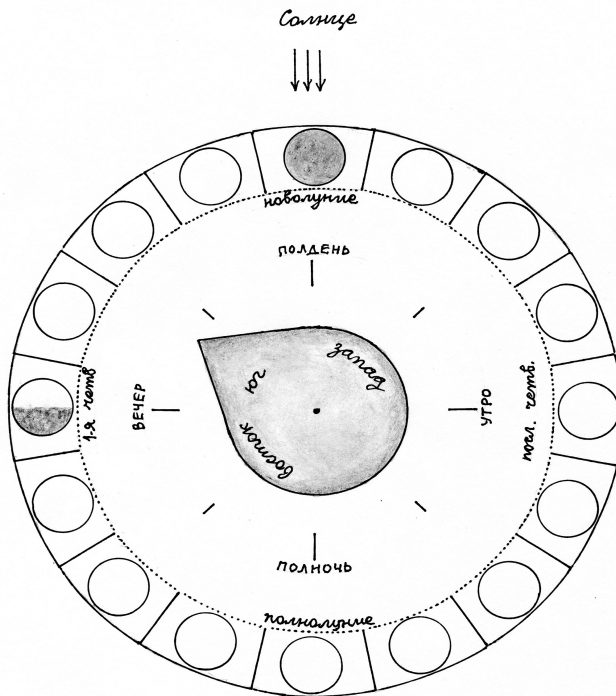
- Наносим на рисунок видимую форму Луны в нужной точке неба, а также планеты и яркие звезды, если заметили их вблизи Луны. Отмечаем дату.

- Наблюдения повторяются через день-два по крайней мере 4 раза, но желательно охватить ими полный цикл изменения фазы (синодический период). Если погода позволяет, желательно также “привязывать” Луну не только к наземным ориентирам, но и к звездам (используя карту звездного неба, рис. 10) – ученик заметит отклонение лунной траектории от эклиптики и отличие синодического периода от сидерического. А заметив изменение положения Моря Кризисов относительно лимба, он познакомится с либрацией Луны.

Результаты наблюдений: изменения азимута Луны, ее фазы и углового расстояния от Солнца и связь между ними, не только обсуждаются, но и моделируются в отдельном упражнении.

**Упр. 5.** В нем 200-ваттная лампочка представляет Солнце, голова ученика в 2-3-х метрах от нее – Землю, пенопластовый шарик размером с теннисный мяч – Луну. Чтобы “терминатор” на шарике был четко виден, нужно, чтобы лампа была единственным источником света в помещении.

- Ученик вытягивает левую руку с шариком в сторону лампы, а затем, имитируя движение Луны вокруг Земли, отводит ее влево и смотрит, как при этом изменяется размер и форма освещенной части шарика.



*Рис. 9. Фаза Луны, время наблюдения и направление вдоль горизонта – по двум известным находим третье.*

- Увиденное нужно воспроизвести на рис. 9. 16 колечек, размещенных по краю большого круга будут изображать фазы Луны с интервалом около 2 суток. Отведя руку на некоторый угол относительно лампы, нужно найти соответствующее колечко и заштриховать в нем нужную часть.

- Большой круг рекомендуется вырезать из листа бумаги (по сплошной линии), сделать прорезы между “лепестками” с колечками (до пунктирной линии), отогнуть их вверх и наклеить круг на картон.

- Ближе к центру круга размечены времена суток (как и фазы, против часовой стрелки). А в самом центре поворачивается на оси маленький кружок со сторонами горизонта и стрелкой - указателем времени.

Эта “лунная рулетка” связывает время, фазу и направление и позволяет по двум из них узнать третье. Например, из положения указателя, изображенного на рисунке 9, следует, что около 4 часов пополудни на юге можно видеть молодой месяц, на западном горизонте – старый (заходящий), а над восточным – восходящую “выпуклую” Луну.

### **МОДЕЛИ И БРИТВА ОККАМА**

Ученику с детства привычны модели как копии чего-либо: уменьшенная копия автомобиля, увеличенная копия жука. Игрушки сменяются учебными пособиями вроде глобуса или только что изготовленной “лунной рулетки”. В науке подобные тоже используются, но чаще в ней работают иные модели, те, что не вырезаны из бумаги, а написаны на ней в виде математических уравнений. Они описывают природные процессы и способны предсказать, как процесс отреагирует на изменение того или другого условия.

Важное правило: **СНАЧАЛА НАБЛЮДАЕМ, МОДЕЛИРУЕМ ПОТОМ !**

Кроме того, расширяя понятие модели, создатели STAR сочли необходимым познакомить учеников с «бритвой Оккама» («не затупившейся за 700 лет непрерывного использования»). Этот принцип предписывает проявлять сдержанность, встраивая дополнительные детали в модель, “ослабевшую” под напором новых наблюдательных данных. Из двух моделей, одинаково хорошо объясняющих явление, рекомендуется принять ту, которая проще.

### **О КАРТАХ ЗВЕЗДНОГО НЕБА**

Карта звездного неба – тоже его модель, хотя и более примитивная по сравнению со сферой.

Переходя от Луны к звездам, ученик собирает подвижную (круглую) карту, широко используемую в нашей школе и системе дополнительного образования. Она хороша как “поисковик” и пособие для решения задач. Покажет, какая часть неба в некоторый момент над горизонтом данного места, позволит оценить азимуты и высоты звезд, симулировать вращением круга их восходы и заходы и т.п.. Кстати, все это, а также еще и планеты и Луну с ее фазами неплохо показывает «Карта неба» на сайте: [astronet.ru](http://astronet.ru).



Но в нашем поселке и рядом с ним над горами, домами, деревьями и в просветах между ними видны лишь отдельные участки неба. Чтобы увидеть его целиком, нужно выбраться из ущелья – вниз, на равнину, или вверх, к башне БТА. Поэтому мы предпочитаем карту, представленную на рис. 10 . На прямоугольной полосе представлены южный, восточный и западный участки неба, вид которых меняется в течение года, в круге – неизменная картина северной части неба, которая лишь поворачивается вокруг полюса. Под нижним обрезом прямоугольника указаны месяцы, когда по вечерам соответствующие звезды достигают наибольшей высоты над южным горизонтом (кульминируют), например, Спика и Арктур в июне, звезды Ориона в феврале. Тройная горизонтальная линия в прямоугольнике – небесный экватор. Двойная изогнутая линия – эклиптика, на ней указаны положения Солнца в начале каждого месяца (русский эквивалент в словаре Даля – “солнопутье”). Северный полюс эклиптики в Драконе помечен колечком. Одиночная линия – галактический экватор, центр Галактики в Стрельце и ее антицентр в Возничем помечены поперечными штрихами.

Хорошую иллюстрацию различия этих карт находим в “звездных” стихах А. Фета. Первой можно сопоставить знаменитые строки: «На стоге сена ночью южной лицом ко тверди я лежал», а второй: «Я долго стоял неподвижно, в далекие звезды вглядясь...» Нам, впрочем, приходится больше не “стоять неподвижно”, а ходить, выискивая место, с которого открывается нужный участок неба.



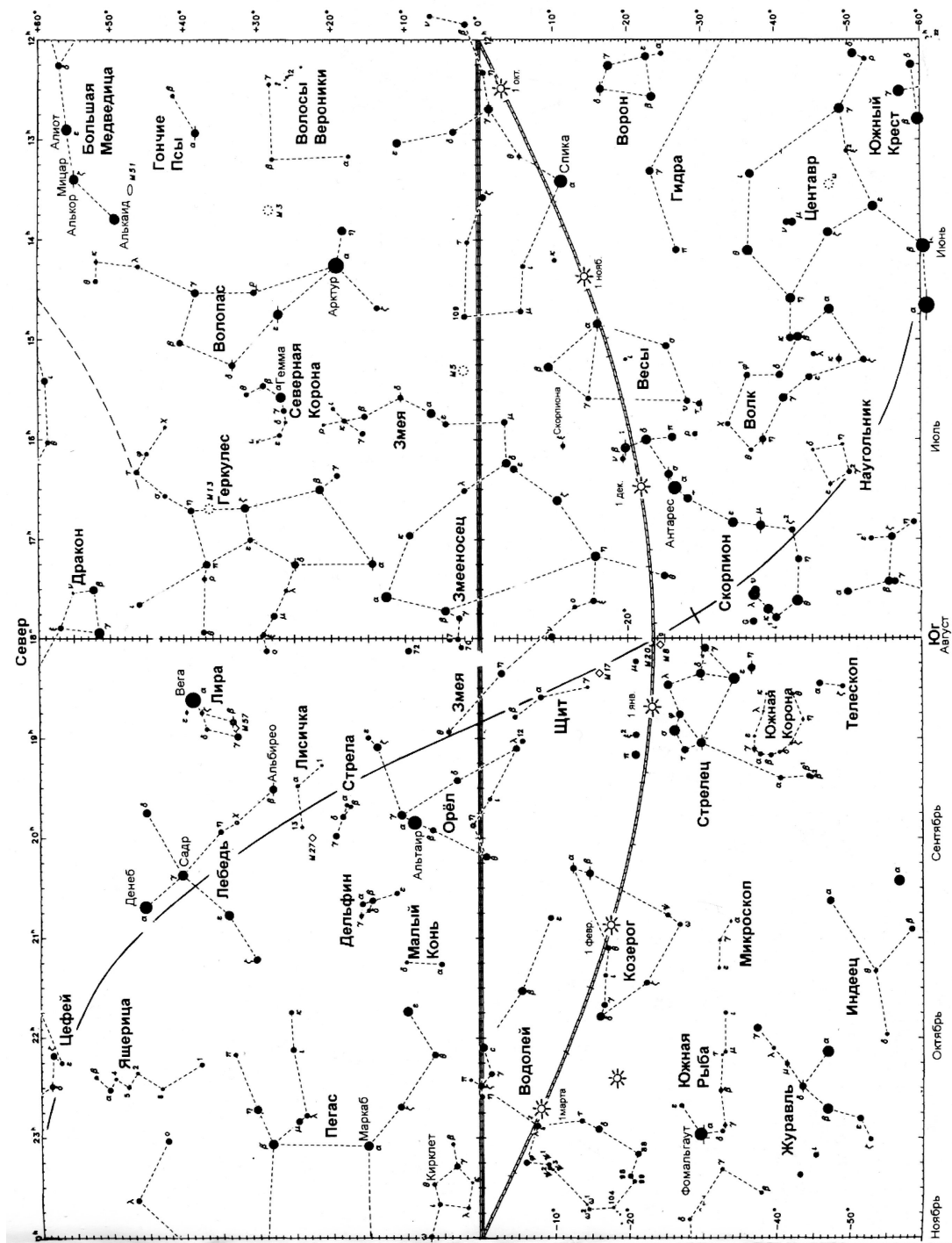


Рис. 106.

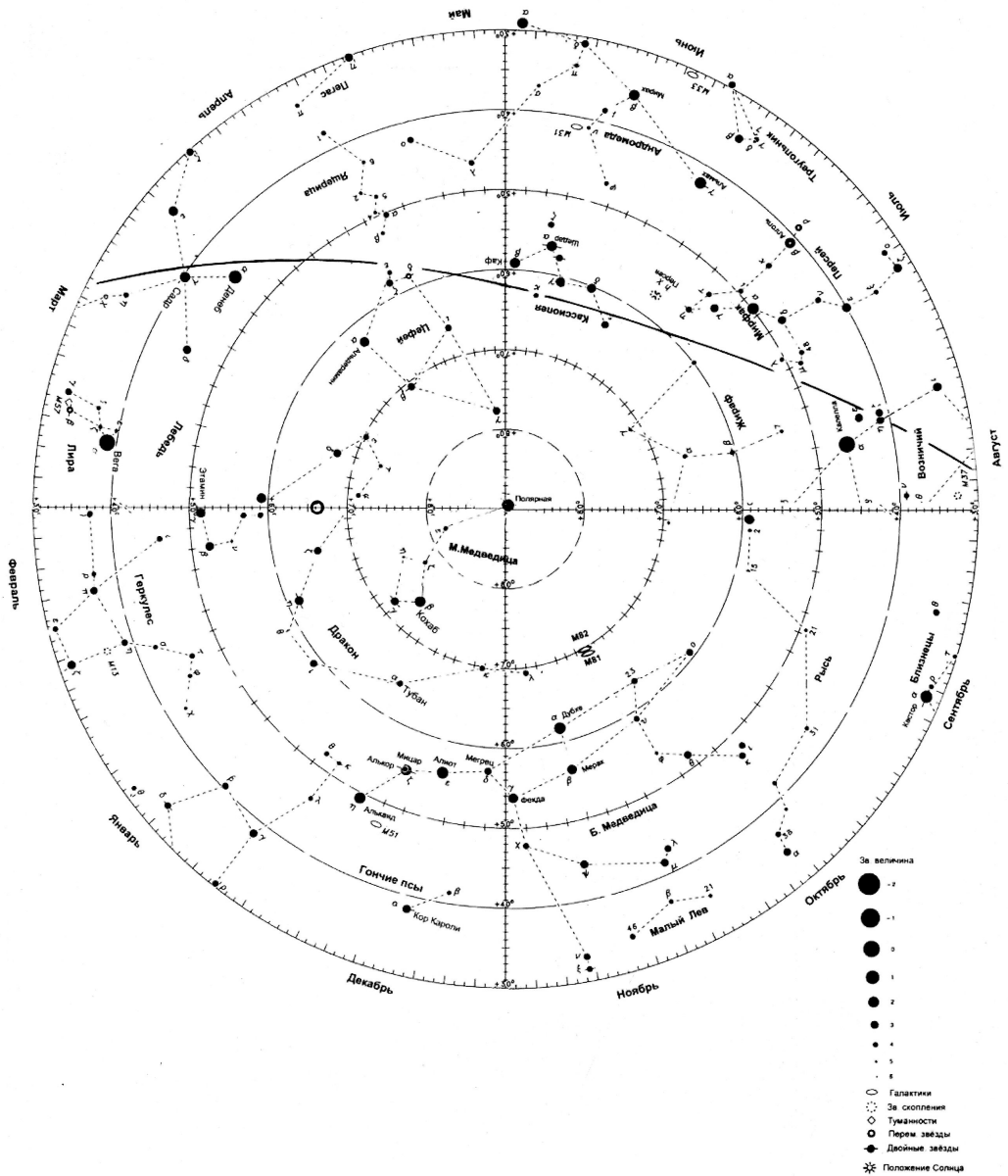
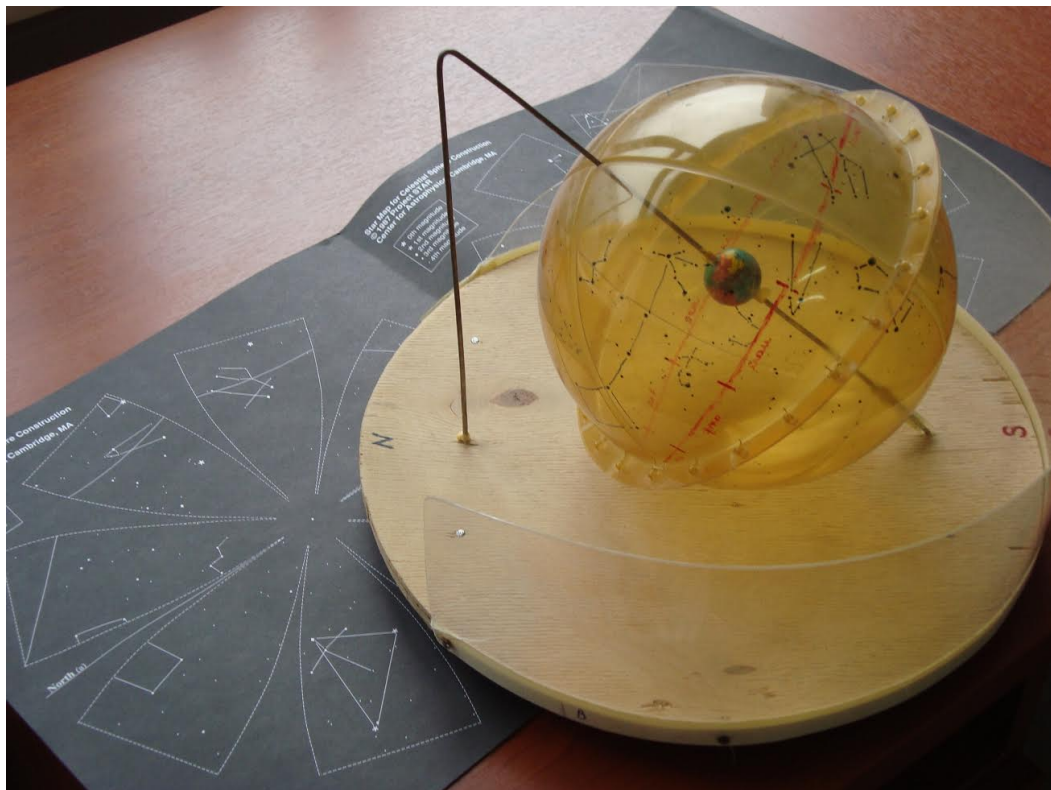


Рис. 10в. Карта звездного неба. Полярная область.

В STAR придумана еще одна, необычная карта, вернее пара карт – для северной и южной частей неба (рис. 11.). Звезды на них примерно те же, что на подвижной карте, до 4-й величины, но созвездия обозначены только самые заметные (из зодиакальных Лев, Близнецы, Телец, Стрелец и Скорпион). Карты круглые, но не сплошные, как круг подвижной карты. Это “цветки о 8-ми лепестках”, расширяющихся наружу, с пробелами между ними. В середине одного “цветка” Полярная звезда, в середине другого –

южный полюс мира. Фон у них черный, а звезды, штрихи, соединительные их в созвездия, и линия эклиптики белые. Они предназначены не для наших прогулок по звездному небу, а для моделирования наблюдаемого движения по нему Солнца.



*Рис. 11. Вспомогательные карты и модель небесной сферы (опоясывающий ее выступ – экватор, красная линия – эклиптика).*

### **ПОДВИЖНАЯ, НО НЕ КАРТА, А СФЕРА**

Как видно из рис. 11, она собрана из двух пластиковых полусфер. Звезды и эклиптика нарисованы на их внутренних поверхностях. Сделано это следующим образом.

**Упр. 6. Карта-“цветок”** северного неба вырезана по внешнему контуру, аккуратно уложена в одну из полусфер рисунком наружу (так, чтобы концы эклиптики оказались в противоположных точках круглого основания полусферы) и прижата сверху второй полусферой (рис.12.). Карта из плоской превратилась в сферическую, стала “мини-планетарием”. С помощью темного фломастера “гасим” в нем одну за другой звезды, воспроизводя их (а также и линии) на внутренней поверхности вставленной полусферы. Повторяем процедуру, поменяв полусферы местами и уложив между ними карту южного неба.

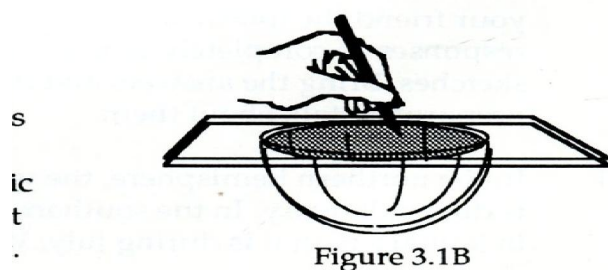
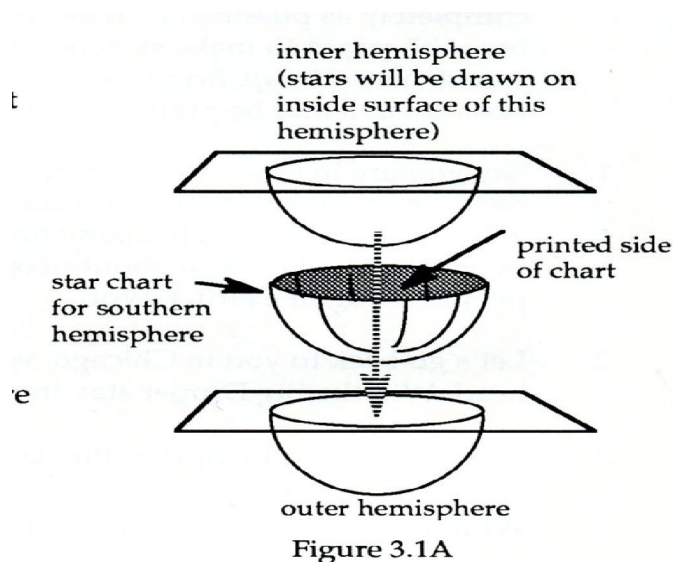


Рис. 12. Изготовление “мини-планетария”. Вкладываем карту-“цветок” между двух полусфер, наносим звезды на внутреннюю поверхность полусферы.

Сложенный из полусфер прозрачный звездный глобус и маленький глобус Земли в его центре насажены на ось из твердой проволоки, наклоненную к плоскости основания на угол, равный широте места (в нашем случае около 44 градусов). Все устройство заключено в круглый “воротник”, верхняя кромка которого находится на высоте центра сферы и представляет горизонт места наблюдения. У нас он прозрачный, из плексигласа, но может быть и картонным.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИДИМЫХ ДВИЖЕНИЙ СОЛНЦА И ЗВЕЗД

**Упр. 7.** Воспроизведем с помощью небесной сферы результаты наблюдений в упр. 2 и 3.

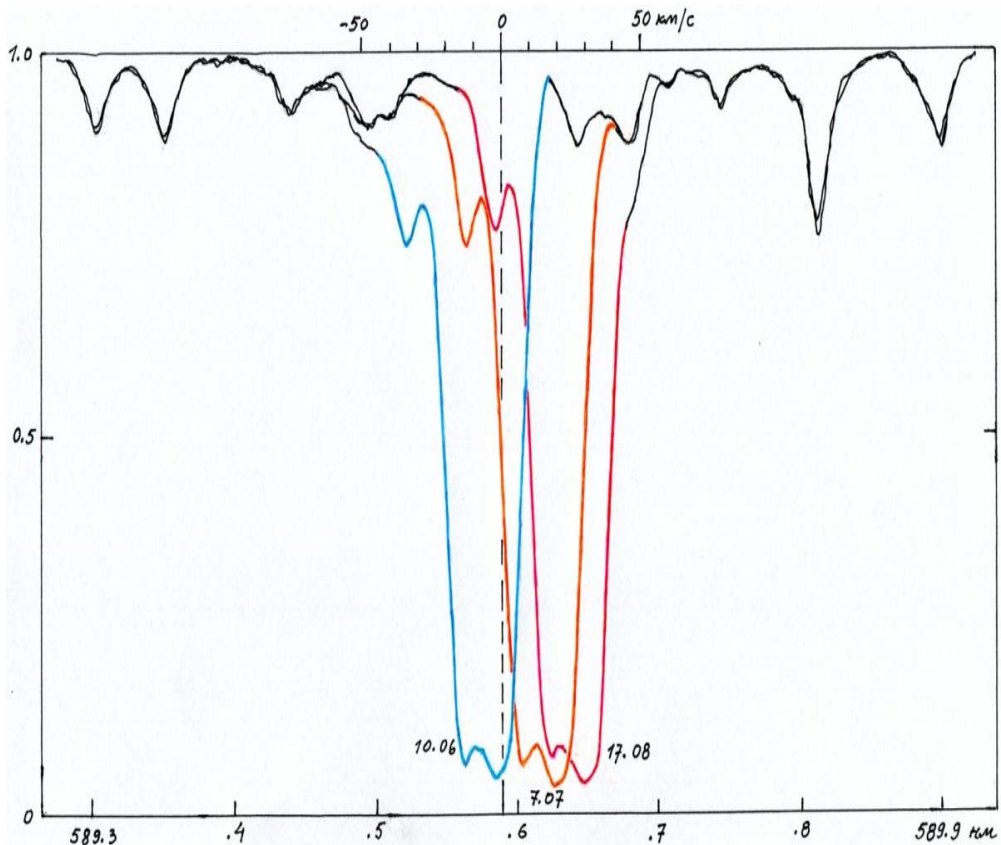
- Находим на эклиптике точку, в которой Солнце было в день выполнения упр. 2, и отмечаем ее булавкой (можно клочком липкой ленты).
- Приблизив глаза к плоскости верхней кромки “воротника” (горизонта), поворачиваем сферу и отмечаем места “восхода” и “захода” Солнца.
- Вдоль линии соединения полусфер (экватора) отштамповано 24 бугорка, соответствующих 24 часам полного оборота сферы. Подсчитав, сколько их пересекло горизонт между восходом и заходом, находим длину дня.
- Вращая сферу, прослеживаем путь Солнца по небу, сравниваем его с кривой, прорисованной на полусфере, и тем самым находим ей объяснение.
- Проделываем то же самое для разных сезонов и, в частности, для дат наблюдений в упр. 3.
- Кроме движений Солнца поинтересуемся суточными и сезонными изменениями звездного неба и узнаем, например, какие созвездия восходят через час после захода Солнца, а какие в это время кульминируют и т.п..

Ответы на эти и подобные вопросы дала бы и подвижная карта звездного неба, но сфера нагляднее.

### ГЕО- И ГЕЛИОЦЕНТРИЗМ

Однако и возможности сферы ограничены, ведь она остается всего лишь двумерной моделью и потому лишь показывает, КАК движутся Солнце и звезды, но не объясняет ПОЧЕМУ. Ученик, конечно, слышал о гелиоцентрической и геоцентрической моделях мира, причем со второй, вероятно, знаком хуже, чем с первой. Поэтому устройство, показанное на рис. ., полезно еще и как ее иллюстрация. Во времена геоцентризма мир представлялся как раз таким: Земля в центре, а небо – да, сфера с закрепленными на ней звездами, только многократно большего радиуса. Солнце, очевидно, ближе к нам, поскольку мы видим его перемещение на фоне звезд.

Возвращаясь в наше время, вспомним все-таки прямые свидетельства того, что мы с Землей движемся вокруг Солнца, а не наоборот.



*Рис. 13. Участок спектра звезды HD 168607. По горизонтали: снизу длина волны, сверху – лучевая скорость. По вертикали – относительная интенсивность света. Штриховая вертикальная прямая показывает несмещенную (лабораторную) длину волны, которой соответствует нулевая лучевая скорость. Пояснения в тексте.*

Это прежде всего aberrация, открытая в 1727 г.. Сложение орбитальной скорости Земли и в 10 000 раз большей скорости света заставляет все звезды независимо от расстояния, в течение года выписывать на небе овалы, по-разному сплюснутые, в зависимости от эклиптической широты, но с одинаковыми большими осями, около 40 угловых секунд.

Затем, годовые параллаксы. Проекция орбиты Земли прямо выписывается на небе, но ее размер - лишь доля угловой секунды, и тем меньшая доля, чем дальше звезда. Поэтому впервые были измерены для ближайших звезд только в 1837-38 г.г..

Ну и поскольку наша обсерватория астрофизическая, хочу предъявить еще одно свидетельство, спектроскопическое.

**Упр. 8.** На рис. 13 маленький фрагмент спектра звезды HD 168607. Он представлен как зависимость интенсивности света от его длины волны. Далекая звезда служит лишь источником непрерывного спектра (его



интенсивность принята за 1). Ни одной звездной линии в данном участке спектра нет, а те, что мы видим как понижения интенсивности, образовались на луче зрения между нами и звездой. Слабые линии (на длинах волн 589.3 нм, 589.35 нм и др.) дал водяной пар земной атмосферы. Глубокая линия натрия с длиной волны 589.59 нм образовалась в облаках межзвездного газа, сквозь которые прошел луч света звезды. По ней видно, что на рисунке присутствуют 3 спектра, полученные в разное время. Они были сдвинуты по горизонтали (по длине волны) так, чтобы линии земного водяного пара совместились. Линии межзвездного натрия при этом “разъехались” между собой, и все они “отъехали” на разные величины от вертикальной штриховой прямой, показывающей положение, которое имела бы линия, если бы она сформировалась, как и линии водяного пара, на Земле (т. н. лабораторная длина волны).

Вопрос: Чем это вызвано?

Подсказка на верхней линии рамки графика. Эффект Доплера. При сближении источника света и приемника длины волн спектральных линий уменьшаются – смещаются в синюю сторону спектра, взаимное удаление источника и приемника вызывает смещение в красную сторону. Величина смещения пропорциональна скорости сближения / удаления. Речь идет о лучевой скорости - проекции пространственной скорости на луч зрения. Точнее, сумме проекций скоростей источника и приемника.

Ширина линии натрия, около 25 км/с, таков диапазон лучевых скоростей межзвездных облаков на луче зрения. Лучевые скорости, измеренные по линии в целом, представлены в таблице вместе с датами получения спектров и угловыми отклонениями звезды от Солнца (к западу, вправо на небе). Последние получены как разности эклиптической долготы звезды и долгот Солнца в даты получения спектров - найдены по нашей карте, (рис.10).

Дата	Геоцентрическая лучевая скорость	Угловое расстояние звезды от Солнца
10.06.09	-7.7 км/с	164 градуса к западу
25.07.07	13.5	208
17.08.08	22.7 км/с	229 градусов к западу

Вопрос: К чему относятся эти скорости: к Земле, к межзвездному газу или к тому и другому?

Звезда HD 168607 - один из немногих гипергигантов Галактики. Она светит в 100 000 раз ярче Солнца и очень нестабильна, поэтому мы и следим за ней. Но для этого упражнения она выгодна по нескольким соображениям:

- на небе находится недалеко от эклиптики,
- средняя лучевая скорость газовых облаков на ее луче зрения относительно Солнца мала, всего 0.6 км/с (она учтена в данных, приведенных в таблице),
- и, главное, ее можно считать постоянной за время наблюдений, ведь толщина облачного слоя – сотни световых лет.

Так что смещения линии натрия на рис. 13 и приведенные в таблице скорости – прямое и наглядное доказательство движения Земли, причем движения по кривой: в июне мы приближаемся к межзвездным облакам, а в июле и августе удаляемся от них с нарастающей скоростью.

Более того, по данным таблицы легко найти скорость движения Земли по орбите. Для этого достаточно транспортира и линейки.

Процедура ясна из рис. 14. Окружность на нем представляет земную орбиту, ее 12 отрезков – месяцы, а точки на ней – даты трех наблюдений. Из каждой точки проводим касательную к окружности в направлении движения Земли. Соединив каждую точку с центром - получаем направления на Солнце. От них откладываем по часовой стрелке углы из последней колонки таблицы – получаем прямые направлений на звезду. Все эти прямые параллельны друг другу. Откладываем на них в выбранном масштабе векторы скоростей из второй колонки таблицы. Из концов этих векторов восстанавливаем перпендикуляры до пересечения с соответствующими касательными. Все три полученных величины должны быть близки друг к другу и к известной средней орбитальной скорости Земли, 29.8 км/с.

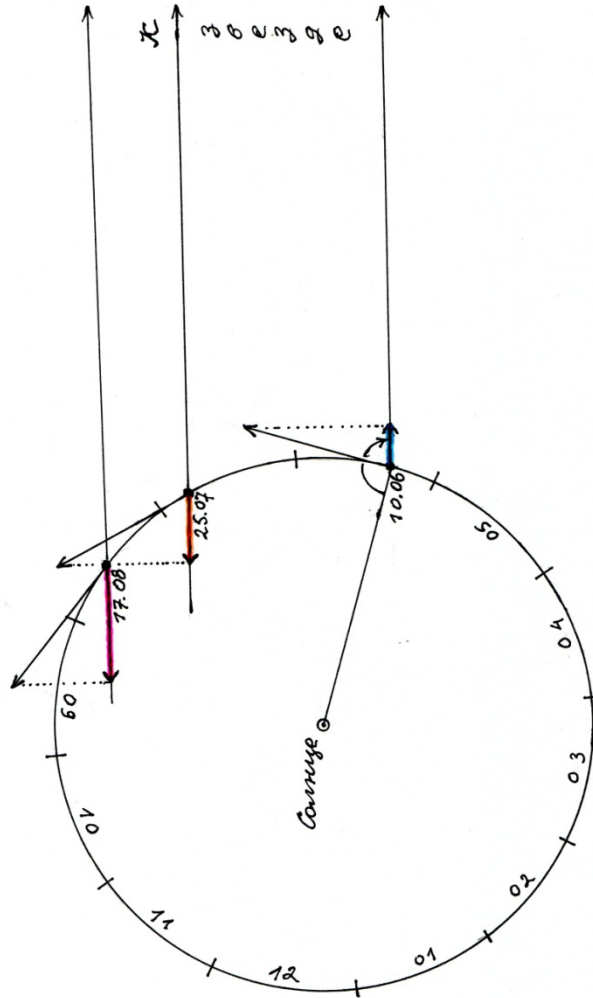


Рис. 14. Демонстрация движения Земли вокруг Солнца.

### ОРБИТА ЗЕМЛИ

Действительно ли она, как на рис. 14,— идеальная окружность? Остается ли расстояние от Земли до Солнца постоянным в течение года? Этот вопрос важен для описания мира, в котором мы живем, и, в частности, для выяснения, почему в нем летом теплее, чем зимой.

**Упр. 9.** В предыдущих упражнениях мы не выходили из т.н. картинной плоскости, перпендикулярной к лучу зрения, в этом впервые пойдем вдоль него.

Глядя на пару снимков солнечного диска, сделанных одной и той же фотокамерой, т.е. в одном и том же масштабе, но с интервалом в полгода, ученик должен решить:

- одного ли они размера,
- если нет, то чем это можно объяснить,
- в какие сезоны сделаны тот и другой снимки.

Чтобы проверить свои ответы, нужно исследовать, как меняется видимый диаметр Солнца в течение года. Для этого подготовлена серия из 12 полосок – по одной на каждый месяц (рис. 15). Это экваториальные полосы, вырезанные из снимков Солнца, также выполненных одной камерой. Нужно измерить линейкой длины каждой из них.

Наблюдательный материал можно получить и самостоятельно, измеряя диаметры изображений Солнца, приводимые в Интернете на сайте: [Lebedev.ru](http://Lebedev.ru) -> Пятна на Солнце.

Для каждой из 12 дат расстояние до Солнца находится делением на длину полоски некоторого постоянного числа, выбранного с учетом средней длины полоски и средней удаленности Солнца, ~ 150 млн. км.

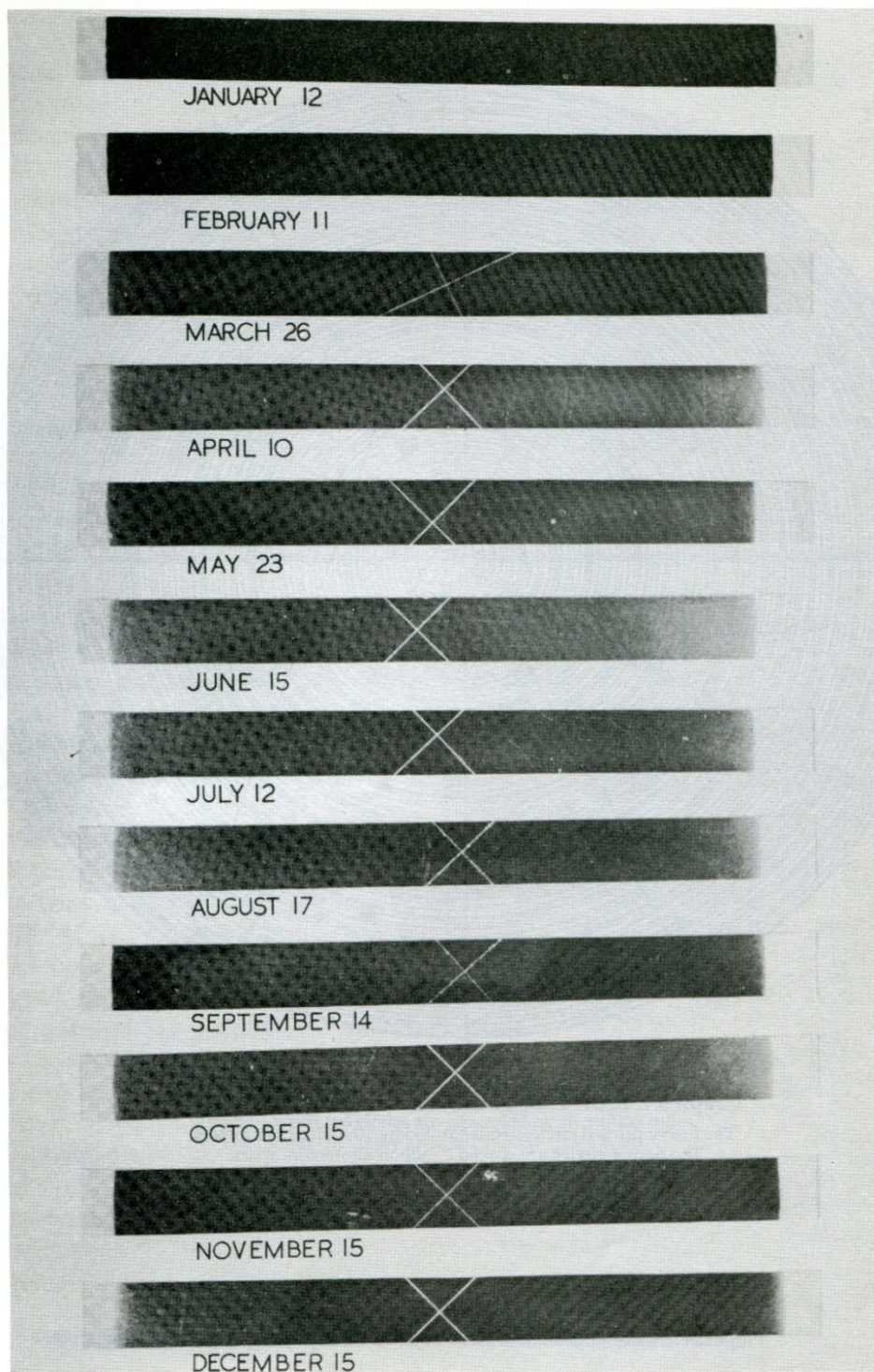
Скопировав размеченную окружность из предыдущего упражнения, проводим из ее центра 12 лучей для дат измерений и откладываем на них полученные расстояния от Солнца до соответствующей точки орбиты Земли.

На рис. 16 она нанесена сплошной линией. Заметны отклонения от окружности (штриховая линия на рисунке), они приходятся на зиму и лето. Причем именно зимой (для нашего, северного полушария!) мы ближе всего к Солнцу. Значит, причину сезонов еще предстоит найти.

measured diameter  
of Sun's image (cm)

CHART 3.2  
SOLAR IMAGE CROSS-SECTIONS

calculated distance  
from Earth to Sun



Project STAR, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, MA 02138

93

Рис. 15. Полоски, вырезанные из снимков Солнца, полученных в течение года. Перекрестия отмечают центр солнечного диска.

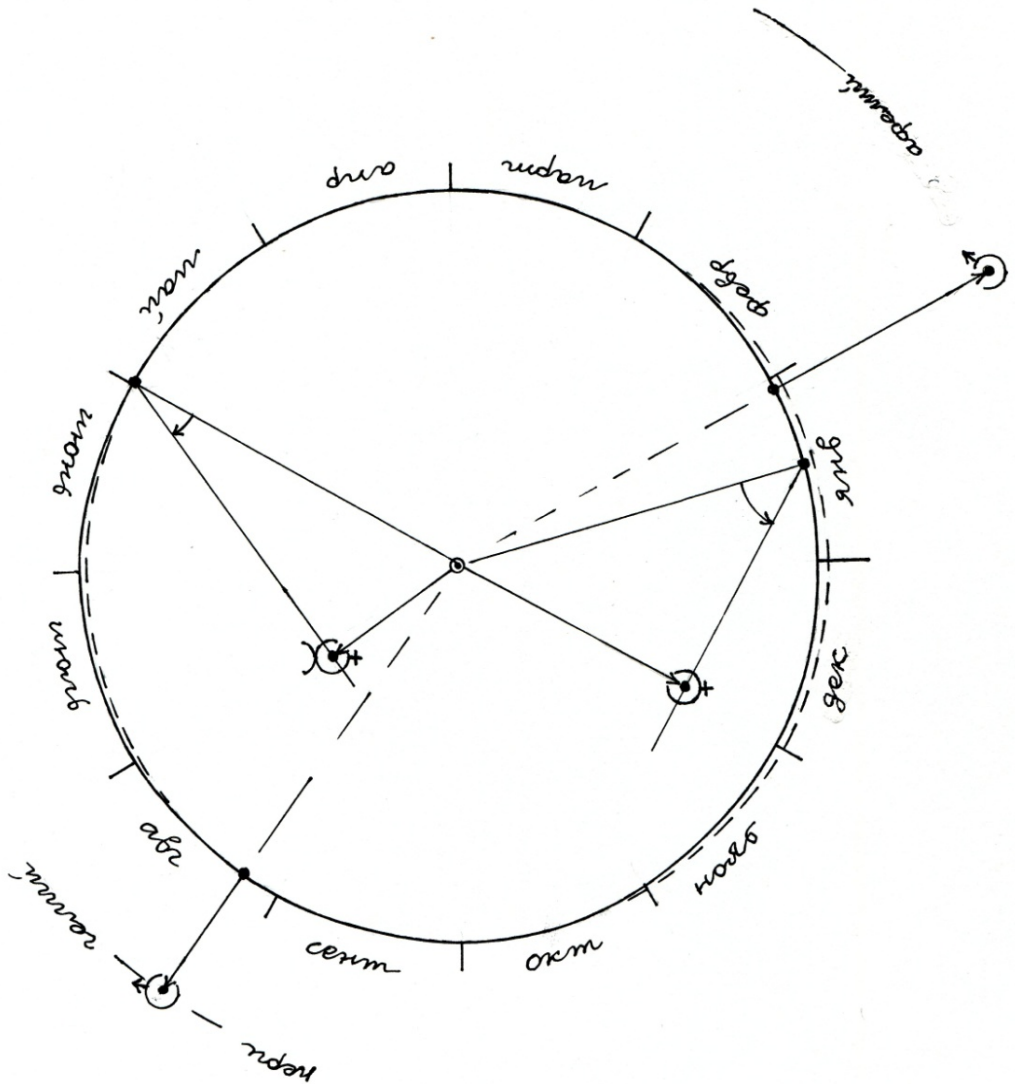


Рис. 16. Отклонение орбиты Земли (сплошная линия) от окружности (штриховая линия) и построение орбит Меркурия, Венеры и Марса. Пояснения в тексте.

### ОРБИТЫ ПЛАНЕТ

А пока естественно дополнить рис. 16 орбитами соседних с Землей планет Солнечной системы. Проще всего это сделать для Меркурия и Венеры. Из того, что они никогда не отходят на небе далеко от Солнца, следует, что их орбиты лежат внутри орбиты Земли. Наблюдая из разных ее точек отклонения внутренней планеты от Солнца и измеряя их максимальные величины (элонгации), можно очертить границы, за которые орбита планеты не выходит.

**Упр. 10.** В таблице собрано достаточное количество измеренных углов элонгаций, а на рис. 16 показано, как ими воспользоваться.

### Элонгации Меркурия и Венеры в градусах

Меркурий			Венера		
Дата	к востоку	к западу	Дата	к востоку	к западу
8 янв 89	19		15 янв 83	45	
18 фев 89		26	4 нояб 83		47
30 апр 89	21		21 янв 85	47	
18 янв 89		23	12 июня 85		46
28 авг 89	27		26 авг 86	46	
10 окт 89		18	15 янв 87		47
22 дек 89	20		2 апр 88	46	
1 фев 90		25	22 авг 88		46
13 апр 90	20		8 нояб 89	47	
31 мая 90		25	30 мар 90		46
11 авг 90	27				
24 сен 90		18			
5 дек 90	21				

Процедура очевидна.

- Найти на орбите Земли точку, соответствующую нужной дате.

Например, 15 янв. 1983 г. Венера была видна вечером и отстояла от Солнца на 45 градусов к востоку (влево). Кстати, из таблицы видно, что через 4 года в эту же дату Венера была в утренней элонгации и отстояла от Солнца на 47 градусов к западу.

- Прочертить из точки наблюдения направление на Солнце и отложить от него с помощью транспортира нужный угол.
- Провести под этим углом луч из точки наблюдения.
- Точка, в которой луч подходит ближе всего к Солнцу, дает положение Венеры. Найти его, опустив с помощью транспортира перпендикуляр к лучу из точки Солнца.

Такой же пример дан для точки орбиты Меркурия, в которой он находился 31 мая 1990 г.

- Нанеся все 10 точек для Венеры и 13 точек для Меркурия, соединить их плавными замкнутыми кривыми.

Даже не зная периодов обращения Меркурия и Венеры, из одного сравнивая их орбит можно понять, почему для первого наблюдалось 13 элонгаций за 2 года, а для второй 10 элонгаций за 7 лет.

В отличие от почти круговых орбит Земли и Венеры орбита Меркурия заметно вытянута, и ее центр сдвинут относительно Солнца. Это отражается и в том, что углы элонгаций у Венеры изменяются только от 45 до 47 градусов, а у Меркурия от 18 до 27 градусов.

Но коль скоро уже затронуты планетные конфигурации, почему бы вслед за элонгациями не использовать и противостояния – чтобы построить орбиту Марса?

**Упр. 11.** В противостоянии внешняя планета наблюдается с Земли в противоположном Солнцу направлении. Значит, чтобы найти это направление, достаточно продолжить вонне прямую Солнце-Земля для даты противостояния. Останется узнать, на каком расстоянии от Земли эта прямая пересекает орбиту Марса.

Ниже приведены даты и угловые диаметры Марса для 9 его противостояний. Зная линейный диаметр Марса (6780 км) по его угловому диаметру можно найти расстояние Земля – Марс.



## Марс: угловые диаметры и удаленности от Земли в противостояниях

---

Дата	Угловой диаметр Марса (угл. секунды)	Расстояние от Земли (миллионы км)
20 марта 97	14.2	
22 апр. 99	16.2	
12 июня 01	20.8	
25 авг 03	25.1	56
8 нояб 05	20.0	
21 дек 07	15.9	
28 янв 10	14.1	99
9 апр 14	15.1	
22 мая 16	18.6	

---

- Наименьшее и наибольшее расстояния от Земли до Марса уже приведены в таблице. Опираясь на них и используя, как и в упр. 9, ОБРАТНУЮ зависимость между угловым размером предмета и расстоянием до него, вычислить эти расстояния для остальных противостояний.

- На рис. 16 найти на орбите Земли точки, из которых наблюдались противостояния.

- Провести через них прямые Солнце – Земля.

- Отложить на их продолжениях полученные расстояния Земля – Марс (две точки, вблизи перигелия и афелия, уже нанесены).

- Соединить точки плавной замкнутой кривой.

Форма полученной кривой, с учетом погрешностей построения, - эллипс.

Именно эллиптичность орбиты обеспечила Марсу выдающуюся роль в истории науки. К концу 16 в. Тихо Браге накопил по нему обширные и

весьма точные наблюдательные данные, из них в начале 17 в. Кеплер вывел свои законы, а в конце 17 в., опираясь на них, Ньютон открыл закон всемирного тяготения. Насколько позднее был бы он открыт, если бы Тихо Браге увлекся наблюдениями не Марса а Венеры?..

## ЖИВОЕ НЕБО

Провозглашенная в STAR первичность наблюдений и вторичность моделирования реализована для Солнца и Луны, но наблюдения планет почему-то не предусмотрены, при моделировании используются только готовые наблюдательные данные. Между тем зимой ученики имеют достаточно темного времени, до и после школы, чтобы выполнить следующее упражнение,- лучше бы до упр. 10, но можно и после него.

- Выясните (например, с помощью сайта: [astronet.ru](http://astronet.ru) -> «Карта неба»), какие планеты видны, в какое время и в какой части неба.
- Делайте зарисовки участков неба с планетами, или фотографируйте их, не реже раза в неделю хотя бы в течение месяца.
- Отмечайте даты и время наблюдений, положения планет относительно звезд и относительно горизонта и наземных объектов.
- Отработайте быстрый и надежный способ наблюдений. Укажите, как сокращались затраты времени по мере накопления опыта.

Положения планет относительно звезд на любую дату рассчитаны и опубликованы в астрономических календарях и ежегодниках (и с ними можно сверяться). Но прогнозы облачности еще далеко не так надежны, облака могут “изорвать в клочья” звездную карту, а световое загрязнение “погасить” часть звезд.

- Поэтому указывайте, какие наиболее слабые звезды, были видны.
- С помощью нашей карты (рис. 10) покажите положения планет на схеме (рис. 16) и проследите их движения за время ваших наблюдений. Орбиты Венеры и Марса уже нанесены в упр. 10 и 11, если будете наблюдать Юпитер или Сатурн, дополните схему их орбитами.

Общение с живым небом помогло бы оживить схему рис. 16, а также весьма формальное заключительное упражнение 12.

## МАСШТАБНАЯ МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

**Упр. 12.** Ученикам предоставляется таблица параметров планет Солнечной системы (расстояния от Солнца, размеры, основные спутники), предлагается ее масштабировать и затем воспроизвести всю систему в выбранном масштабе. Это может быть, например, прочная нить с,

приклеенными к ней в нужных местах бумажными флажками, на которых можно, также в выбранном масштабе, нарисовать планеты и орбиты их спутников. Если такая нить достаточно длинна, цепочка учеников, каждый из которых представляет какую-нибудь планету, может протянуть ее в школьном дворе или коридоре. Это сделает наглядными как относительные расстояния между планетами, так и искусственность ситуации, когда все планеты на одной прямой, внутренние в нижнем соединении с Солнцем, а внешние в противостоянии.

В учебнике STAR после некоторых тем предлагаются еще extensions – расширения. Например, разобравшись с заходами Солнца, пронаблюдать и восходы. Хорошим расширением (в буквальном смысле!) последнего упражнения может стать книга М. Брауна «Как я убил Плутон». Вы получите - из первых рук - увлекательный отчет о новейших открытиях на окраинах Солнечной системы и не менее увлекательную (и созвучную STAR) историю общения автора с планетами, – от наблюдений простым глазом в младших классах школы до их исследования с помощью новейших телескопов и методик.

## ПРИРОДА СЕЗОНОВ

Чтобы подвести ученика к ее пониманию, авторы STAR отбирают наиболее простые соображения.

“Орбитальная версия” отвергнута малостью изменения удаленности Солнца в течение года (**упр. 9**), а также возможностью сменить зиму на лето (как и лето на зиму), перебравшись из северного полушария в южное.

Что же “отвечает за сезоны”?

Как подсказывают личный опыт наблюдений за Солнцем и его моделирование с помощью небесной сферы (**упр. 7**), это высота Солнца над горизонтом в полдень и продолжительность дня. Высота – главное, длина дня менее существенна. Чтобы согласиться с этим, предлагается вспомнить, что утром обычно прохладнее, чем в полдень, и что летом у полюса незаходящее Солнце не очень согревает.

Для объяснения смены сезонов достаточно двух уже известных фактов:

- Плоскость экватора - небесного, а значит и земного, - наклонена к плоскости земной орбиты (эклиптики) на 23.5 градуса (этот же угол между осью вращения Земли и перпендикуляром к плоскости эклиптики),
- При движении Земли по орбите ее ось остается параллельной самой себе. Это следует из того, что в любое время года ее северный конец указывает в одну и ту же точку неба вблизи Полярной звезды.

С помощью небесной сферы с незакрепленной осью интересно промоделировать изменение годового перепада температуры с широтой и выяснить, почему, например, у нас он составляет десятки градусов, а вблизи экватора почти исчезает (“пропадают сезоны”).

А можно и прямо взглянуть на Землю, обходящую Солнце, со стороны – с геостационарного спутника, “висящего” над Африкой на высоте 36000 км: [astronet.ru](http://astronet.ru) -> Картинка дня 19.03.2017.

Сезонные изменения полностью исчезли бы на всей Земле, если бы ее ось стала перпендикулярной к плоскости ее орбиты (Северный полюс мира переместился бы в созвездие Дракона и совпал с полюсом эклиптики).. Остались бы лишь изменения климата с широтой, одинаковые в северном и южном полушариях. Почти такая ситуация реализовалась для Юпитера: его ось отклоняется от перпендикуляра к плоскости его орбиты всего на 3 градуса..

Наконец, можно “сжать время” и прямо убедиться в изменении “количества света” (понятие освещенности не вводится), а с ним и тепла, получаемого площадкой, при изменении наклона к ней солнечных лучей. STAR предлагает сделать это с помощью картонной трубки (сердечника от бумажных полотенец), как показано на рис. .. Вообще-то для качественной демонстрации эффекта достаточно просто наклонять экран к лучам (лучше не Солнца, а лампы). Но его нетрудно оценить и количественно.

В разделе STAR, посвященном свету, нам предстоит манипулировать двумя картонками, в одной из которых вырезано квадратное сантиметровое окошко, а другая расчерчена на сантиметровые клетки. Они демонстрируют закон обратного квадрата,- когда окошко пропускает расходящийся пучок лучей. Но мы пропускали сквозь него и пучок параллельных лучей Солнца - на положенную на землю клетчатую картонку. Прюделав это на нашем склоне и на противоположном, за рекой, увидели, что там каждый участок земли получает вдвое больше света, а с ним и тепла, чем в поселке.

Дело в том, что ленинградские проектировщики поместили Буково на склоне ущелья, обращенном к северу. Живем на Кавказе, а Солнце в декабре-январе по-питерски восходит в 10 часов, в 2-3 заходит. Зато можно прогуляться “из зимы в лето”, от снега у нас к цветам и бабочкам за рекой.

Небольшое извлечение из сочинения шестиклассницы:

«Представим, что наш поселок расположен на южном склоне горы Верблюд. Что могло бы быть?

а) САО могла бы сэкономить на отоплении,

б) сэкономив на отоплении, САО повысила бы зарплату нашим родителям...»

### **ЗИМА. ОРИОН**

«На небо Орион влезает боком,  
Закидывает ногу за ограду  
Из гор и, подтянувшись на руках,  
Глазеет...»

Так начинается «Звездокол» Роберта Фроста в переводе А. Сергеева. Как будто не Нью-Хэмпшир век назад, а сегодняшнее Буково. Именно так он заглядывает и к нам в ущелье. В поселок и в душу заглядывает.

Глазастый, значит. Какой еще? Школьники подсказывают: крутой! То есть?... Заглядываю и я - в словарь, оказывается: «страшновато-величественный». Годится, вот и у астрофизика и поэта С.В. Рублева:

... Раздирая камзол, как Герр Питер

Через ночь прошагал Орион.

Имеется в виду Петр I с картины В. Серова. Подходит и Страйдер («широкошагающий») у Толкина. Неудивительно, что фростовский фермер-неудачник сетует: «Орион меня настиг.»... Птицы застигнуты снежной бурей. Из черноты над головой падает снег вперемешку с их криками. Кажется, само небо кричит... Хотелось успеть с этими заметками к началу учебного года, а вот уже октябрь и первый снег – тоже Орион настагает...

На всем небе не найти другого столь роскошного собрания ярких звезд – глаз не отвести! Но у греков Орион почему-то всего лишь охотник, возлюбленный второстепенной богини Эос. Другое дело египтяне, у них эта звездная фигура - верховный бог Осирис. Так ведь в Египте не бывает наших холодов. Летом там разливается Нил (вслед за первым утренним восходом Ориона-Осириса), зимой созревает урожай.

К северу на первый план выходит «экологический императив», отголосок неолитического экологического кризиса. Когда лук и другие метательные орудия уже были изобретены, а скотоводство и земледелие еще не подспели, стада диких копытных сократились, резко сократилось и число людей на планете. Но даже позднее у скотоводческих народов зимой охота оставалась важным подспорьем. Вспомним, например, карачаевскую легенду о Бийнегере, собрате Ориона.

Орион не просто охотник, он зарвавшийся и наказанный охотник. Чтобы его унять, Артемида, защитница животных, высылает на него гигантского скорпиона. Созвездия Ориона и Скорпиона “разведены” на небе так, что никогда не видны одновременно. Но оба они входят в «пояс Гулда», проекцию на небо единого кольца молодых горячих звезд радиусом около тысячи световых лет, наклоненного к Млечному Пути на 20 градусов. Бенджамин Гулд “узаконил” его в 1879 г., но не удивительно ли, что за тысячи лет до него люди ощущали какую-то связь между этими звездами?

Орион – вернейший спутник зимы. А зима – это хаос, насилие. Не голод, так холод, не холод, так грипп... Пушкинский Вальсингам перечисляет «гибельные угрозы», таящие в себе «неизъяснимы наслаждения – бессмертья, может быть, залог.» И первая среди них – зима. Но «Пир во время чумы» - вещь такая же “зимняя”, как «Метель» и остальные плоды Болдинской осени, еще и в другом смысле. Считается, что та эпидемия холеры, что удерживала поэта в Болдине, была отдаленным последствием извержения вулкана Тамборо в Индонезии в 1815 г.. А ближайшим его следствием стал «год без лета» в Европе. Чудовищный взрыв обратил в пыль и подбросил в стратосферу несколько кубических километров горных пород, солнечное излучение ослабилось, и весна 1816 г. не принесла обычного потепления. Знаменитое стихотворение Байрона «Тьма» рождено будто бы впечатлениями той весны. Андрей Вознесенский осовременил его, зарифмовав «тьму» с «ядерной зимой».

Действительно, крупные извержения вулканов – это “учебные демонстрации” того, что случилось бы с Землей, разразись на ней ядерная война. Локальные взлеты температуры до миллионов градусов, от них обширные пожары, в которых горят даже камень и железо, и дымы, надолго “выключающие” Солнце. В космосе то же самое: плотные газово-пылевые облака остаются холодными рядом с горячими звездами. Да и энергия в водородной бомбе вырабатывается так же, как в недрах звезды. Но эта “космическая лаборатория” настолько далеко, что позволяет астрофизике быть экологически чистой физикой. А бомба – “контрабанда” космоса на Землю, и «ядерную зиму» следовало бы именовать «космической». Если бы космической не была и обычная зима.



*Рис. 17. Звезды Трапеции (в центре) и окружающая их наиболее яркая часть туманности Ориона.*

Самая приметная часть созвездия Ориона - его трехзвездный Пояс, под ним – Меч и среди его звезд - знаменитая туманность. Она различима и простым глазом, а снимок, сделанный с помощью телескопа (рис. 17), представляет ее как типичный звездно-газово-пылевой комплекс. В научной литературе такие комплексы называют “очагами звездообразования”, а в популярной - “звездными яслями”. Темный “залив”, входящий в туманность слева, и вся левая верхняя часть снимка – остатки “родительского” газово-пылевого облака. Пыль не пропускает свет звезд, и внутри облака темно и холодно, несколько десятков градусов, а в самых плотных участках всего несколько градусов от абсолютного нуля. Поэтому тепловое давление не препятствует гравитационному сжатию газа в звезды. Звездам Трапеции (в центре снимка) всего полмиллиона лет, т.е. они в 10 тысяч раз младше Солнца. Действительно “младенцы”. Самая яркая звезда Трапеции в то же

время и самая горячая – 45 тысяч градусов на поверхности (на Солнце всего около 6 тысяч). Именно она заставляет светиться туманность Ориона. И она же, вместе с другими горячими звездами, ее формирует, прогревая и “выпаривая” облако. Красный фронт прогрева и ионизации хорошо виден слева внизу.

Другие звезды Ориона также во много раз ярче (мощнее), горячее и моложе Солнца. Ригель, например, один светит, как 100 тысяч солнц. Столь мощное излучение не может покинуть звезду, не потревожив ее внешних слоев. Давление света срывает их, возвращая часть вещества звезды в межзвездную среду в виде звездного ветра. А совместное действие излучения и звездных ветров центральных звезд Ориона сметает окружающий газ и формирует из него огромный пузырь (устоявшийся термин – “сверхпузырь”). Часть его хорошо видна на (рис. 18) как эмиссионная туманность Петля Барнарда, охватывающая тело Ориона слева. Его “голову” окутывает более компактный (и более молодой) пузырь.

Кстати, этот сверхпузырь, общая оболочка звезд Ориона, не оставляет сомнений в том, что они физически связаны, близки друг к другу пространственно и по возрасту. В среднем до них полторы тысячи световых лет, а радиус оболочки – около сотни световых лет. Этим Орион отличается от соседних созвездий, ярчайшие звезды которых, обходя его по часовой стрелке, образуют т.н. Зимний Овал: Сириус – Ригель – Альдебаран – Капелла – Кастор и Поллукс – Процион (см. рис. 10). Все они, за исключением Ригеля, гораздо ближе не только Ориона (до Сириуса всего 9 световых лет), но и более слабых звезд своих созвездий.

Снимок, показывающий гиганта во весь рост, в отличие от предыдущего, включающего лишь украшение его меча, сделан с помощью обычной цифровой фотокамеры. Сегодня Петлю Барнарда легко выявляют любители, а еще в начале прошлого века профессиональные астрономы не видели ее на своих снимках и не верили В.Гершелю, который веком раньше будто бы разглядел в свой телескоп по крайней мере ярчайший “мазок” туманности (над левой звездой Пояса Ориона). Дело в том, что тогдашние фотопластинки воспринимали только синюю часть спектра, в которой горячие газовые туманности слабы (как видно из рис. 18, они красные – за счет яркой эмиссионной линии водорода). Нужна была светосильная оптика, пусть и невысокого качества, и великий наблюдатель Эдвард Эмерсон Барнард доказал реальность Петли с помощью объектива от детского “волшебного фонаря”. Аукнулась STAR?.





*Рис. 18. Петля Барнарда и другие туманности (горячие газовые – красные, холодные пылевые – голубые) комплекса Ориона.*

Поскольку обсерватория наша астрофизическая, хочется еще отметить “участие” Ориона в закладке одной из основ астрофизики, спектральной классификации звезд, которая к тому же создавалась там же, где и STAR, в Гарварде.

Привычная цепочка спектральных классов: O B A F G K M первоначально, в 80-е годы 19 в., была алфавитной. Первый класс – A: белые звезды, в их спектрах низкого разрешения несколько темных линий водорода. Второй класс – B: белые или голубые звезды, в спектрах кроме линий водорода видны слабые линии непонятной принадлежности. Их до выяснения природы называли “орионовыми”: в каком еще созвездии найдешь столько ярких B-звезд? Когда земная физическая лаборатория освоила температуры 20-30 тысяч градусов, выяснилось, что это линии нейтрального гелия (читайте книгу М.Бронштейна «Солнечное вещество»!) и ионов углерода, азота, кислорода. Но первой была звездная лаборатория Ориона...

Зимний “семейный портрет” САО: гора Пастухова, на коленях у нее БТА, за плечами Орион.



## ЧАСТЬ II. СВЕТ И ЗВЕЗДЫ

В STAR они «проходятся» именно в таком порядке - сначала свет, потом звезды. Вроде бы и правильно: не зная свойств света, как понять, что он нам говорит об испускающих его звездах? Только ведь сами эти свойства узнавали с помощью звезд, в первую очередь Солнца. Исторически то и другое изучалось параллельно. Почему бы и нам не последовать этой традиции и не начать прямо со звезд?

Переходя во вторую часть программы, уместно обратиться к «Альмагесту» Птолемея. Да и в первой стоило бы в него заглядывать. Птолемей был бы нам хорошей компанией, он тоже наблюдал и моделировал движения Солнца, Луны и планет по небу. Его измеритель наклона эклиптики к экватору неотличим от «сантрекера» из программы ARIES (ч. I, рис. 4). Но он исследовал и само небо, звезды для него не были только вехами на /путях планет.

Как и для его предшественника Гиппарха, о котором Плиний Старший написал: «Он отважился на дело, которое было бы дерзким даже для божества: исчислить звезды для сведения потомков, составить поименный каталог светил,.. дабы с тех пор легко можно было по этим данным устанавливать не только, погибают ли и рождаются ли звезды, но и в целом: переходят ли некоторые из них с места на место, увеличиваются или уменьшаются. Выполнив это, он как бы завещал всем людям в достояние небо – если бы только нашелся кто-нибудь такой, кто принял бы это наследство.» Век спустя его принял Птолемей, в «Альмагесте» читаем: «записи Гиппарха о неподвижных звездах, которыми мы большей частью пользовались для сравнения, дошли до нас в полной сохранности.» А еще через два тысячелетия то же можем сказать и мы.

**Упр. 13.** Вот и давайте для начала сравним то, античное, небо с сегодняшним: не «перешли ли с места на место» и не «увеличились ли или не уменьшились ли» за 2000 лет хотя бы некоторые из звезд?

Затравочный вопрос: если да, то заметно ли это на глаз?

Считается, что Гиппарх взялся за составление звездного каталога, поразившись появлению в 134 г. до н.э. новой звезды в созвездии Скорпиона. Но ведь чтобы ее заметить, нужно было уже хорошо «выучить» небо, проведя под ним не одну ночь. Сегодня в олимпиадах по астрономии знание неба проверяют в планетариях, “гася” /одну из ярких звезд или “зажигая” лишнюю. Мы же будем просто сравнивать две картинки.



*Рис. 19. Лебедь и соседние созвездия - фотоснимок.*

### **В ЛЕТНЕМ ТРЕУГОЛЬНИКЕ**

На первой из них (рис. 19) участок неба, снятый обычной цифровой камерой. Точка съемки - вблизи БТА: наверху слабее, чем в Букове, световое загрязнение, от которого не страдали Гиппарх на острове Родос и Птолемей в Александрии. Объект съемки – Летний треугольник, или Летне-осенний (а в наших краях он виден и зимой, сначала по вечерам на западе, потом по утрам на востоке). В его вершинах: Вега (у правой границы снимка), Альтаир (в левом нижнем углу) и Денеб вверху. Все три звезды – ярчайшие в своих созвездиях (Лиры, Орла и Лебеда, соответственно) и потому издавна используются как навигационные: они первыми “загораются” после захода Солнца и последними пропадают из виду перед его восходом. Или в сгущающейся дымке (сымитируйте ее, прищурившись!). Слабые звезды растянуты в черточки, что не портит снимок, а скорее оживляет его, напоминая об осевом вращении Земли. А

также ориентирует: север сверху, точнее в правом верхнем углу снимка, восток слева.

Снимок воспроизводит то, что мог бы увидеть обладатель хорошего зрения на самом хорошем небе. Звезды до 7-й величины. Отдельные компоненты звездной пары Эпсилон Лиры (левее и выше Веги). Увеличив масштаб, убедитесь, что она отчетливо раздвоена. Между компонентами 3.5 угловые минуты, и наиболее зоркие люди видят их отдельно. Но Птолемей пишет о ней в единственном числе: «северная из двух смежных, прилежащих к яркой звезде».

Вторая картинка (рис. 20) – карта, построенная по каталогу Птолемея в проекции и масштабе снимка.

Узнаются ли на снимке звезды и созвездия «Альмагеста»?

Созвездия в современных звездных атласах – это участки неба со строго определенными границами. Во времена Птолемея (и много позже) более определенными и общепонятными были фигуры созвездий. Хороший пример – созвездие Лебедя: на обеих наших картинках ясно видна “пикирующая” птица с длинной шеей и распахнутыми крыльями.

В прошлом звезды считались неподвижными, а построенные из них фигуры – неизменными. А все же, нет ли в них изменений от рис. 20 к рис. 19?

Для каждой звезды Птолемей дает несколько параметров. Прежде всего «определяемую ею часть фигуры». Так, созвездие Птицы (тогдашнее название созвездия Лебедя) представлено звездами «на клюве, на середине шеи, на груди, на хвосте, на сгибе правого крыла...» Позднее, у арабских астрономов, эти описания стали персональными именами звезд, они в ходу и сегодня: Денеб – просто «хвост» по-арабски, Садр – «грудь». (Но сохранилось и несколько древнегреческих, приводимых Птолемеем: Антарес, Канопус...)

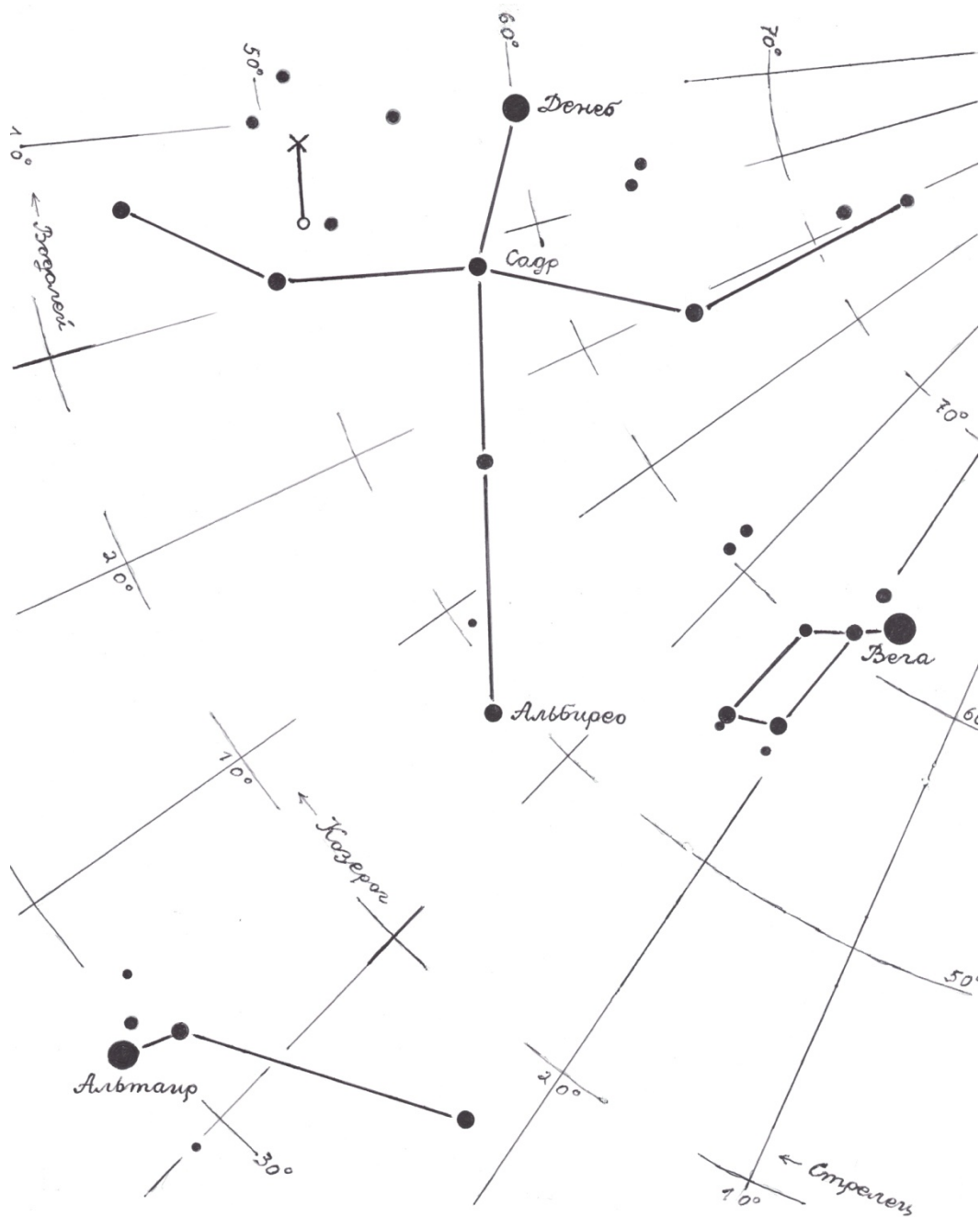


Рис. 20. То же, что на рис. 19, по Птолемею.

За словесным описанием положения звезды следует цифровое: результат измерения эклиптических координат звезды в градусах и их долях. Эклиптическая долгота отсчитана от начала соответствующего знака зодиака (на рис. 20 это Стрелец, Козерог и Водолей), а широта от эклиптики (по Птолемею «круга, проходящего через середины зодиакальных

созвездий») к ее полюсу. Направление на полюс эклиптики, как можно заметить, сравнивая рис 19 и 20, не совпадает с направлением на север.

Последним приводится «номер звезды по ее величине». Это уже чисто «световая» характеристика, оценка блеска, предложенная еще Гиппархом: самые яркие звезды – 1-й величины, самые слабые из еще видимых - 6-й. Пока все они представлялись равноудаленными от нас, величина понималась как размер, диаметр, по одной из «гипотез» - шляпки «гвоздика», вбитого в небесный свод, по другой – дырки в нем, подсвеченной снаружи «эмпиреем». Так что и «увеличение или уменьшение» звезды у Плиния Старшего надо понимать буквально.

Сегодня астрономы по-прежнему используют звездные величины, но точно измеренные и приведенные в строгую систему. Веge выпала роль нуля-пункта этой системы. Ей отведена первая строка нижеследующей таблицы, в которой для некоторых звезд, представленных на рис. 20, сравниваются величины из «Альмагеста» и их современные значения в системе V (т.е. визуальной, имитирующей восприятие света невооруженным глазом). Птолемей иногда уточняет: величина несколько меньше или несколько больше такой-то. В таблицу включены только те звезды, величины которых приведены без оговорок.

Можно ли по этим данным судить об изменении блеска какой-нибудь из них?

---

Эклиптические долгота и широта в градусах	Звездная величина: Альмагест	Имя звезды V
---	------------------------------------	--------------------

---

Стрелец				
17.3	62	1	0.03	Vera
21	56.2	3	3.42	
22.2	36.3	3	2.99	
23.7	60	4	4.30	
29.7	28.7	5	4.45	

Козерог

2	61	4	4.40	
3.2	31.5	3	2.72	
4.5	49	3	3.09	Альбирео
9	50.5	5	4.67	
19.3	64.7	3	2.87	
28.5	57.3	3	2.23	Садр
Водолей				
0.5	49.5	3	2.48	
9.2	60	2	1.25	Денеб

-----

Кроме блеска звезды различаются и цветом. Птолемей заметит, что Антарес, Бетельгейзе, а также почему-то Сириус, – «красноватые». На нашем снимке преобладают белые, но встречаются и желтые. Альбирео, к примеру.

В стихотворении Р. Фроста, упомянутом в конце ч. I, «Звездоколом» наречен телескоп: «За то, что каждую звезду колот / На две, на три звезды – как шарик ртути, / Лежащий на ладони, можно пальцем / Разбить на два-три шарика поменьше.» Каждую – перебор, но вот Альбирео “раскалывается” очень эффектно – рис. 21. У желтой звезды - голубой спутник. Одного взгляда на снимок достаточно, чтобы согласиться, что случайная близость этих двух звезд крайне маловероятна. Пара «физическая», как и Эпсилон Лиры.

Но почему та пара “белая”, а эта “разноцветная” и почему более яркий компаньон в ней желтый?





*Рис. 21. Двойная звезда Альбирео ( $\beta$  Лебеда).*

Птолемя устраивала простая двумерная модель неба. Звезда “на хвосте” и звезда “на шее” Птицы равноудалены от нас, и их видимые яркости различаются ровно настолько, насколько различны их истинные яркости. Но расстояния до звезд, “сорвавшиеся с небесной сферы”, различны. Чтобы убедиться в реальности трехмерной модели, надо суметь эти расстояния измерить.

Летний треугольник – как раз то место, где был совершен “взлом” небесного свода. После многих неудачных попыток в 1838-40 г.г. были наконец измерены параллаксы трех находящихся в нем звезд. Струве выбрал для измерений Вега и Альтаир из такого соображения: яркие – вероятно, потому, что близкие. Так и оказалось, современные значения расстояний до них: 25 и 17 световых лет соответственно.

А Сириус? Он же еще ярче – значит еще ближе?. Да, до него 8.6 св. л.. Но в Тарту и Петербурге, где работал Струве, он слишком близок к горизонту, а в Южной Африке кульминирует вблизи зенита. Там его параллакс и был измерен в те же годы Гендерсоном. Как и параллакс Альфы Центавра. Эта, ближайшая к нам звезда также одна из самых ярких:  $V = -0.1$  зв. вел. (ярче Веги), 1-я величина по Птолемею.

Третья звезда из Треугольника много слабее, ее величина всего лишь 5-я. Таких звезд на рис. 19 около полусотни, но лишь эта кроме номера в каталоге (61-я Лебеда) имеет собственное имя – «Летающая», данное ей в 1804 г. Джузеппе Пиацци. За него-то и выбрал ее для измерений Бессель: чем ближе звезда, тем заметней должно быть ее перемещение относительно далеких звезд. И не просчитался: 61-я Лебеда даже ближе Веги и Альтаира, до нее 11.4 св. г..

Когда мы переходим от двумерной модели неба к трехмерной, вместо «неподвижных звезд» появляются их «собственные движения». В начале 18 в. их открыл Галлей. сравнив современные ему координаты некоторых звезд с их координатами из «Альмагеста» (он и тут пригодился!): за полторы тысячи лет накопились их изменения, превосходящие погрешности измерений Птолемея. А Пиацици хватило 10-ти лет, чтобы открыть собственное движение 61-й Лебеда: точность измерений выше, но главное – его величина, 5 угловых секунд в год! На рис. 20 колечком отмечено положение звезды в эпоху Гиппарха-Птолемея, а крестиком – сегодняшнее. За два тысячелетия 61-я Лебеда “пролетела” около 3 градусов.

Обратим теперь внимание на фон снимка, на то, что лежит под (или за) россыпями звезд. Он пятнистый. Светлые пятна – совместное свечение множества слабейших звезд, которые уже неразличимы по отдельности, как неразличимы капельки воды в наших земных облаках. Подобно каплям звезды тоже собраны в облака. А из звездных облаков состоит Млечный Путь, как это хорошо видно на рис. 22. Это не фотография, а зарисовка с натуры, сделанная художником-астрономом Э.Л. Трувелло. С ее помощью убедимся в том, что наш снимок вырезает небольшой участок Млечного Пути, и найдем, где именно он находится



*Рис. 22. Рисунок Млечного Пути.*

Это, между прочим, та область неба, которой любят японцы в праздник Танабата, «вечер встречи влюбленных звезд». Небесная пряжа (Вега) и небесный пастух (Альтаир) разделены небесной рекой, и только раз в году, 7 июля, небесная сорока перекрывает ее для них своими крыльями.

“Место переправы” стоит найти в знаменитом «Атласе некоторых областей Млечного Пути» Э.Э. Барнарда. Хотя бы потому, что жизненная установка и стиль жизни этого астронома, а также “плодотворная” (обучающая) ошибка,

допущенная им как раз на этом месте, вдохновляли, может быть, создателей STAR.

Эдвард Эмерсон Барнард был азартным и неутомимым наблюдателем («человеком, которого никогда не видели спящим»). Университетский курс прошел уже в зрелом возрасте и «без отрыва от наблюдений», открывая одну за другой кометы, а в качестве дипломной работы ему было засчитано открытие 5-го спутника Юпитера, Амальтеи. Для фотографирования крупных структур Млечного Пути (он ими был очарован с детства) Барнард использовал портретную камеру на экваториальной монтировке с часовым ведением.

Интересующая нас пластинка получена 20 октября 1892 г. с выдержкой в 5 часов: чувствительность тогдашних фотоэмульсий была низкой, и воспринимали они только синюю часть спектра. Позитивные отпечатки с пластинок, помещенные в «Атласе», не вполне устраивали Барнарда, и он сопровождал их подробными описаниями, сверенными с оригинальными негативами. «Атлас» оцифрован и выложен в Интернете, но и наш снимок (рис. 19), экспонировавшийся всего 1 минуту, пригоден для иллюстрации того, что увидел Барнард на своем снимке.

Как хорошо известно всем, кто видел Млечный Путь своими глазами, и как показывают рис. 19 и 22, к югу от Денеба он раздваивается. Темная разделительная полоса в середине рис. 19 огибает слева (с востока) светлое облако в правом (западном) рукаве Млечного Пути, между Садром и Альбирео. Его Барнард воспринял как звездный «занавес» («плотный и однородный слой звезд, который скрывает задний план»). Напротив, темную полосу и небольшое темное пятно в самом центре снимка, вытянутое вдоль шеи Лебеда, он трактует как «впадины в небо», в которых видны удаленные звезды.

В дальнейшем Барнард понял, что все наоборот: это «темные отметины неба», как он их называл, «занавешены» полупрозрачными, а иногда и вовсе непрозрачными, облаками какой-то материи (как вскоре выяснилось, межзвездной пыли). А убедился в их существовании он совсем «по-STARовски»: просто рассматривая другие свои снимки, те, на которых попадались более темные и резко очерченные «кляксы».

Вот во всем этом: яркостях и цветах звезд, параллаксах, геометрическом и спектральном, устройстве телескопа, природе света и световым загрязнениям, нам и предстоит разобраться.

## РАССТОЯНИЯ, РАЗМЕРЫ И УГЛЫ

В ч. I – на небесной сфере – мы оценивали “угловые расстояния”, теперь расстояния станут линейными, а размеры - и линейными и угловыми.

Для начала предлагается мысленно сопоставить знакомые предметы: монетки разного диаметра, теннисный мяч, «летающую тарелку» (сгодится и набор крышек от бутылок, банок, кастрюль) с некоторыми небесными объектами: Луной, Плеядами, Ковшом Большой Медведицы и др.. Нужно предсказать, каким из предметов, отведенных от глаза на расстояние вытянутой руки, можно “накрыть” тот или иной небесный объект. Предметы должны быть в наличии, потому что от воображения надо будет перейти к наблюдению и проверить предсказание.

И еще: используя пальцы вытянутой руки, сравнить угловой диаметр полной Луны на восходе и 3-4 часа спустя. На горизонте Луна воспринимается как деталь нашего ближнего окружения, а оторвавшись от него, она “покидает нас” и, вероятно, удаляется, так что разница ожидаема. Но заметна ли она?

### **Упр. 14. Мизинец как угломерный инструмент. Его калибровка.**

Координаты небесных объектов мы оценивали «в кулаках», для оценки их размеров больше подходят пальцы.

К стене на уровне глаз приклеена долларовая банкнота (заменяем ее открыткой)

Вытяните руку и сожмите кисть в кулак пальцами кверху. Мизинец отогните вверх, оставляя остальные пальцы согнутыми. Закрыв один глаз, найдите расстояние, на котором видимая ширина верхней фаланги мизинца сравнивается с видимой шириной открытки.

Измерить линейкой ширину открытки и верхней фаланги своего мизинца можно самому, а измерить рулеткой расстояния от глаза до мизинца и от глаза до открытки должен кто-то помочь.

Сколько ширин мизинца укладывается в расстояние от него до глаза? Допустим, 50. А сколько ширин открытки - в расстоянии от нее до глаза? Столько же.

Повторив последние измерения для расстояний, с которых открытка покрывается половиной мизинца и двумя мизинцами, убедиться, что ваш “измерительный инструмент” работает, сначала в интерьере, а за тем и вне него.

А нужно ли такое упражнение? Надо ли проверять геометрическую очевидность (подобные треугольники)? Ведь ей, собственно, и обходятся ученики, отвечая на закрепляющие вопросы, вроде такого, например, (в переводе на местный материал): с какого расстояния контур кончика мизинца точно совпадет с контуром купола БТА, если диаметр последнего 50 метров?

Но очевидность хорошо бы оживить. Для создателей STAR важно, чтобы ученик почувствовал себя “внутри задачи” и чтобы он приобрел навык “собственноручной” оценки удаленности.

Вот и у нас сейчас (в мае 2017 г.) в программе развития страны на ближайшие годы отмечается низкий уровень функциональной грамотности выпускников школ и ВУЗов и подчеркивается ценность не только знаний, но и навыков.

В нашем варианте задачи открытка на стене подобна скале «Кораблик» за окном, удаленность которой надо оценить. Этот навык не должен подвести и при переходе от километров к световым годам. Для космического объекта мы часто не знаем ни расстояния, ни линейного размера, но легко находим его видимый размер. Как его представить? Сравнить с общеизвестным подручным предметом - бессмысленно, указать вдобавок расстояние, с которого предмет следует рассматривать, – приемлемо, но неуклюже, неудобно. Универсальный способ – выразить в градусах. И впредь манипулировать тремя величинами: линейный размер - расстояние - угловой размер.

Отношение первой ко второй однозначно связано с третьей, причем для углов до 20 градусов почти линейно. Это видно из нижеследующей таблички, которую полезно запомнить.

Угл. разм.	Лин. разм. / расст.
1 °	0.017
2 °	0.034
4 °	0.071
5 °	0.09
10 °	0.18
15 °	0.26
20 °	0.35

## ОТ ГАЛАКТИКИ К ГАЛАКТИКЕ

Кроме нашей собственной галактики Млечный Путь (или просто Галактики с большой буквы) простым глазом можно увидеть еще три: туманность Андромеды у нас и Магеллановы облака в южных краях. А снимки неба хранят множество изображений галактик разных форм и угловых размеров. Форма (строение) меняется от галактики к галактике, но далеко не так сильно, как видимый размер. На этом основан проект Galaxy Zoo (“зоопарк галактик”), в котором, помогая астрономам, добровольцы отыскивают на снимках слабые галактики и классифицируют их по немногим образцам. И это же позволяет профессионалам делать прикидки расстояний до галактик перед более точным их измерением.

**Упр. 15.** Давайте и мы попрактикуемся в применении к галактикам простейшего геометрического способа оценки их удаленности.

В основе этого способа - предположение: у галактик со сходным строением близки и линейные размеры. Поэтому займемся спиральными галактиками, видимыми “с ребра”: в них хорошо выражены дисковые составляющие, и плоскости этих дисков пересекаются вблизи Солнца.

Совершая прыжок вглубь Вселенной, “оттолкнемся” от нашей Галактики: ведь и ее мы видим “с ребра”, т.к. Солнце расположено недалеко от ее плоскости. Обратимся к рис. 23. Этот роскошный снимок сделан в Чили, где центр Галактики проходит через зенит, с помощью широкоугольной камеры: левый нижний угол соответствует середине рис. 19 (шея Лебедя), а правый верхний заходит в созвездие Киля.

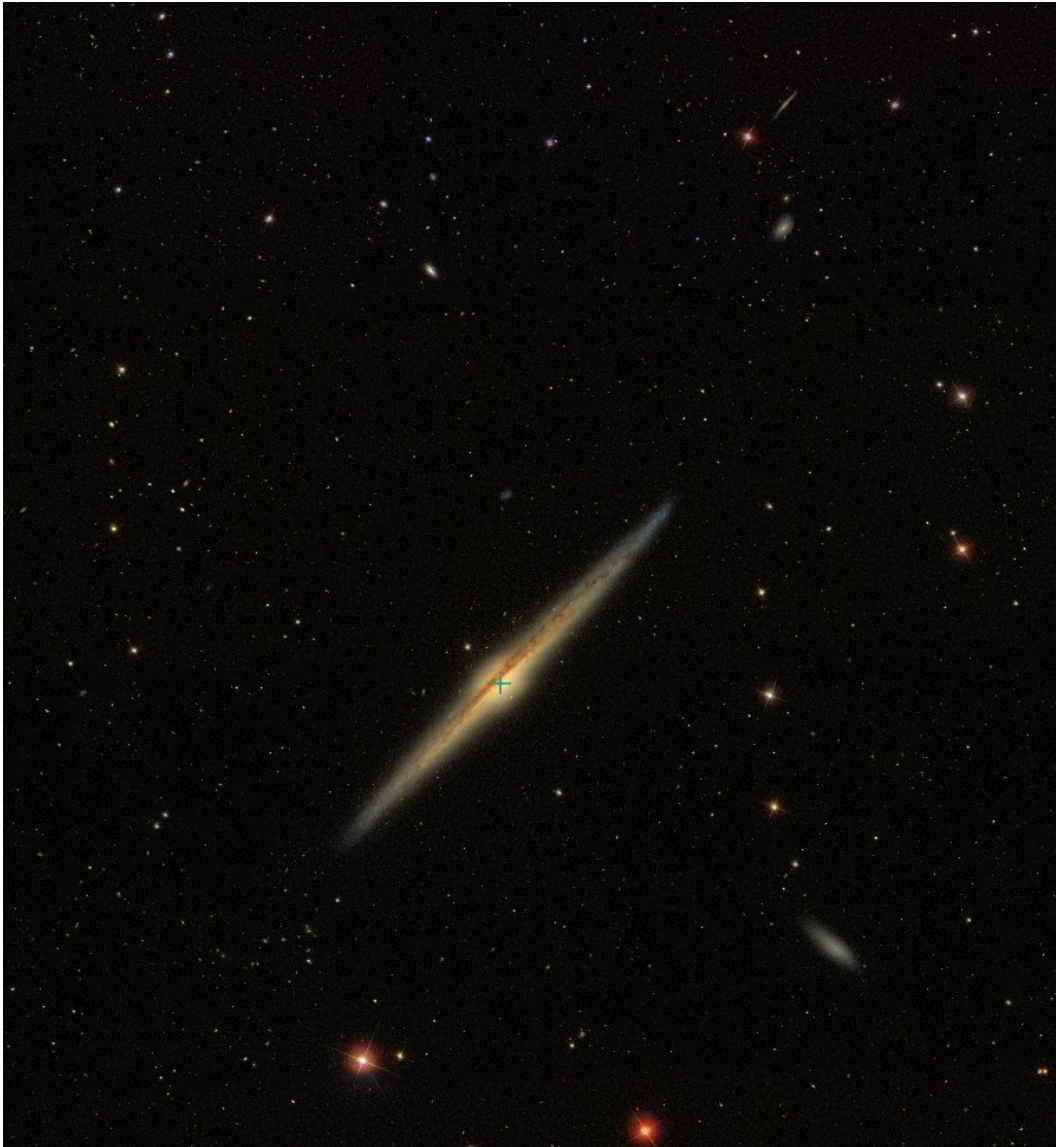


*Рис. 23. Вид на центр Галактики.*

Отвлечемся ненадолго, чтобы рассмотреть недоступную нам южную часть Млечного пути. Она тянется от центра снимка вправо вверх. На фоне светлой полосы, как на экране театра теней, различим темный силуэт. Есть на небе фигуры, образованные не звездами, а межзвездной пылью!

У австралийских аборигенов это «Эму» (самая большая птица Австралии, вроде страуса): широкое тело в Скорпионе, Жертвеннике и Наугольнике, шея в Центавре (с яркими Альфой и Бетой), голова с клювом в Южном Кресте. Европейцы заметили только голову (туманность Угольный Мешок).

Возвратимся к нашим измерениям. У Галактики мы можем оценить только угловую ширину. В центре (на рис. 23 над ним сияет планета Юпитер) она максимальна и составляет около  $20^\circ$  (20 градусов).



*Рис. 24. Галактики, видимые с ребра.*

Перейдем к рис. 24. Галактика NGC 4565 в его центре выглядит как уменьшенная копия рис. 23, да и специалисты считают ее похожей на нашу. Ее угловая ширина в центре - около 80 угловых секунд. Это в 900 раз меньше  $20^\circ$ , а значит, расстояние до нее в 900 раз больше, чем от Солнца до центра Галактики. Последнее расстояние нам известно: 26 000 световых лет. Следовательно, до NGC 4565:

$$26\ 000 \times 900 = 23\ 400\ 000 \text{ св. лет.}$$

(То есть, когда наши далекие предки перешли к прямохождению, свет от нее прошел уже 9/10 пути к нам.)



Но почему бы не пойти еще дальше? На рис. 24 NGC 4565 окружена более мелкими изображениями галактик, и одна из них, IC 3543 (тонкий штрих в правом верхнем углу), тоже видна “с ребра”. Она в 13 раз уже и во столько же раз дальше, чем NGC 4565, т.е. до нее:

304 200 000 св. лет.

Более совершенные способы определения расстояния дают для первой галактики около 30 млн. св. лет, до второй около 320 млн. св. лет. Расхождения с нашими оценками умеренны и естественны: сказались отсутствие четких “границ” у изображений с плавно убывающей яркостью и возможное различие линейных размеров.

### УГЛОВОЕ РАЗРЕШЕНИЕ

Если к вам в темноте приближается автомобиль, у которого фары разведены на 1 метр, с какого расстояния отпадет подозрение, что это мотоцикл?

Это зависит от вашей зоркости, а в наших терминах – от того, каков предел углового разрешения ваших глаз. Его полезно знать, и STAR предлагает вам его измерить.

**Упр. 16.** На стене укреплена картинка, представляющая собой веер расширяющихся вверх полосок (рис. 25). Она хорошо освещена. Ученики работают в паре: один из них смотрит на картинку с расстояния 10 метров, а другой перекрывает ее листом белой бумаги и, удерживая его край горизонтально, медленно опускает лист, открывая все более узкие участки веера. Когда испытуемый перестает различать полоски отдельно, ассистент считывает расстояние между ними.

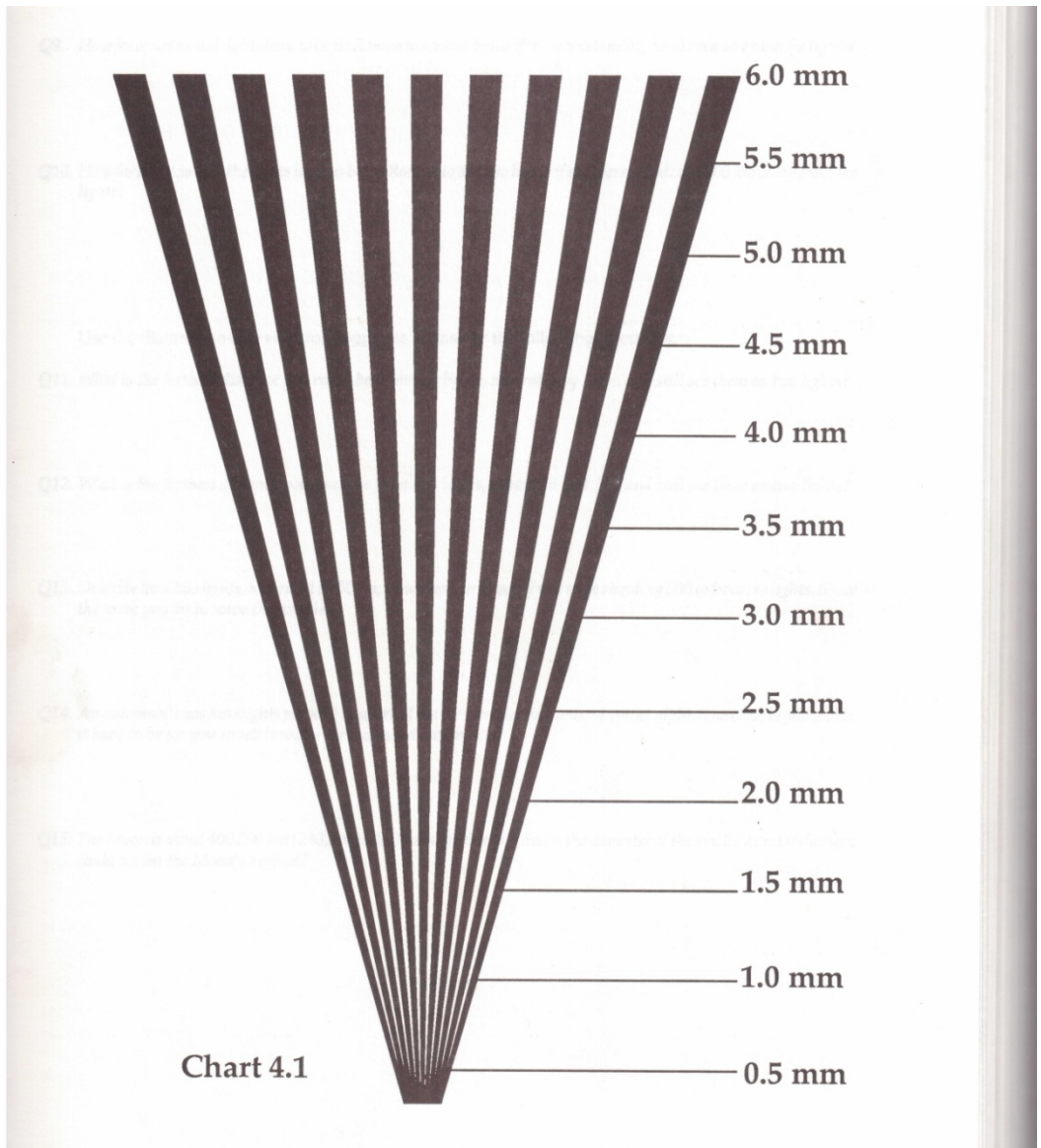


Рис. 25. «Измеритель зоркости».

Отношение расстояния до картинки к расстоянию между полосками характеризует остроту зрения. Его можно представить числом или углом. Хороший результат:  $10\ 000\text{ мм} / 3\text{ мм} = 3300$ , что соответствует примерно 1 угловой минуте.

После первой оценки можно спросить ученика, как изменится результат, если измерение повторить при меньшем расстоянии до картинки и при пониженном освещении, а потом дать ему возможность проверить себя. Первое не повлияет на результат, а второе его понизит: подстраиваясь к полумраку, зрачок расширяется и строит на сетчатке менее резкое изображение.

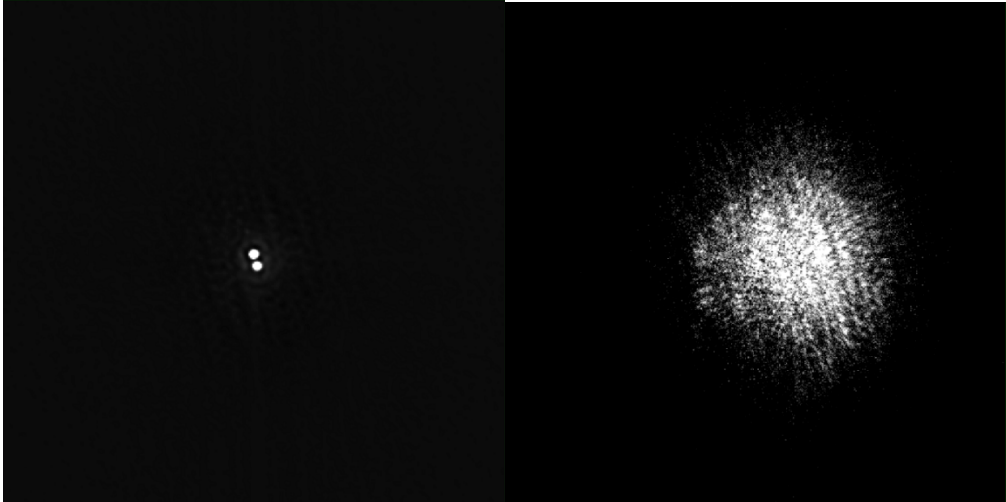
Но и выйдя из класса под звездное небо, многие смогут разрешить на компоненты Эпсилон Лиры: вспомним, что между ними 3.'5 (три с половиной угловые минуты). А между компонентами Альбирео 34" (тридцать четыре угловые секунды), это меньше предела разрешения невооруженного глаза, и тут уж не обойтись без телескопа.

А с телескопом каков предел разрешения? В нашем поселке то и дело слышишь: «Какие были изображения?» - вопрос одного астронома другому, наблюдавшему прошлой ночью. Две секунды – неплохо, полторы – хорошо, изредка бывает и меньше секунды. Речь, конечно, об угловом диаметре изображения звезды, построенного телескопом... и атмосферой! Спокойна она – изображение компактно, турбулентна – размазано.

Еще меньшими углами, долями угловой секунды, измеряются упомянутые выше параллаксы звезд Летнего треугольника. Годичный параллакс звезды – угол, на который она смещается относительно более далеких звезд при движении Земли вокруг Солнца (более строго – угол, под которым виден со звезды радиус земной орбиты). Отсюда - единица расстояния парсек: «параллакс – секунда» (1 пк = 3.26 св.г.). Чтобы узнать расстояние в парсеках, достаточно поделить единицу на параллакс. У самой близкой звезды, Альфы Центавра, он равен 0."747, значит, она удалена от нас на 1.34 пк. Напомним, что речь сейчас идет не об угловом разрешении, а о точности измерения угла. Погрешность, с которой находится положение центра изображения звезды во много раз меньше его диаметра. Так что даже наземные измерения параллаксов дают расстояния до звезд в радиусе нескольких сотен парсек от Солнца, а космическая обсерватория Gaia обещает увеличить этот радиус до нескольких килопарсеков.

### **“НАЗЕМНАЯ КОСМОНАВТИКА”**

Но, к счастью, в САО реализован метод наблюдений с замысловатым названием «спекл-интерферометрия». Происходит оно от английского speckle – пятнышко. На рис. 26 справа - сильно увеличенное мгновенное изображение звезды 41-й Дракона, построенное нашим телескопом БТА. Ясно видно, что оно “раскрошено” атмосферой на эти самые «спеклы». В каждом из них только малая доля света звезды, но угловой размер его – тот, какой имело бы ее изображение, если бы БТА был вынесен в космос. Вот спекл-интерферометрия и воссоздает это (заатмосферное!) изображение, собирая спеклы воедино.



*Рис. 26. Двойная звезда (слева) и ее мгновенное изображение (справа).*

**Упр. 16. Предел углового разрешения БТА и двойная звезда 41-я Дракона.**

Рассмотрите внимательно правый фрагмент рис. 26. Напомним: это мгновенный снимок, он сделан с выдержкой 0.02 сек. В следующие мгновения из-за нестабильности атмосферы спеклы возникли бы в других местах того же кружка диаметром  $1.''5 - 1.''7$ . То, что показывает киносъемка, напоминает бурлящую рисовую кашу. Естественно, при длинной выдержке спеклы сливаются в одно световое пятно.

Обратите внимание на общую структуру изображения. Заметили ли вы, что спеклы сдвоены (особенно отчетливо на левом краю изображения)?

Оцените угловое расстояние между парными спеклами и угол наклона к вертикали соединяющей их прямой.

Проверьте себя по левому фрагменту рис. 26. Это результат выполненной в САО спекл-интерферометрии 41-й Дракона. Очевидно, это двойная звезда. Период обращения ее компонентов вокруг общего центра масс 3.4 года. Наш снимок сделан в момент их наибольшего взаимного удаления – на  $0.''12$ .

Теперь вы сможете более уверенно оценить угловой размер спекла, а значит и предел углового разрешения БТА.

Остается сравнить свой результат с дифракционным пределом разрешения БТА. Его приблизительное значение вы получите, поделив длину волны света на диаметр зеркала телескопа:  $\alpha \sim \lambda / D$ .

Если взять для простоты желтый свет с длиной волны 0.6 мкм, получим:

$$\alpha \sim 6 \times 10^{-7} / 6 \text{ (то и другое в метрах)} \text{ или } 10^{-7}.$$

Чтобы перейти к угловым секундам, поделим  $10^{-7}$  на  $2 \times 10^5$  (таково отношение расстояния до объекта, видимого под углом в 1 секунду, к его линейному размеру). Итого 0."02 (две сотых угловой секунды). Близка ли к этому ваша оценка?

## О СВЕТЕ

“Наивно-теоретический” зачин этой главы перекликается с давними, 1930-х годов, рассуждениями Даниила Жуковского (сына А. Герцык, упомянутой в ч. I):

«Когда-то существовала теория света, которая говорила, что мы видим потому, что что-то выделяется из наших глаз навстречу внешнему миру... Наивному мышлению кажется, что зрение должно быть как бы ощупыванием какими-то длинными щупальцами... Когда мы говорим: «я устремил свой взгляд», - разве мы не возвращаемся к этой наивной старой теории?..»

Родилась она, скорее всего, в четырех стенах: трудно представить себе “щупальцы”, дотягивающиеся до звезд, - и лишена астрономических корней. Авторы STAR сразу, до наблюдений, предлагают модель света и поясняющие ее комнатные упражнения. Идея “опрокидывается”: не из глаз исходит нечто, а в них входит свет, и он состоит из частиц, фотонов, летящих со скоростью 300 000 км/с. Модель иллюстрируется недодержанным фотоснимком: изображение еще не прорисовано, потому что видны лишь отдельные засвеченные зерна фотоэмульсии. Они выглядят, как первые капли дождя на асфальте. А мы можем сравнить центр и края изображения звезды на рис. 26.

Еще одна реплика Д. Жуковского:

«Свет стал летящими квантами, ударяющимися в сетчатку глаза... Но как по этим толчкам мы можем судить о сущности бытия, а додумывая мысль до конца, и о реальности всего внешнего мира?»

Можем как-то. Пока достаточно вопроса, физика и физиология зрения - за пределами STAR.

### **Упр. 17. Затмения Ио и скорость света.**

Вспомним, что впервые она была измерена, пусть и с большой погрешностью, в обсерватории, по наблюдениям затмений Юпитером его спутника Ио. В 1676 г. Оле Ремер убедился в том, что время между двумя последующими затмениями зависит от положения Земли на орбите, объяснил это конечностью скорости света и вывел ее величину.

Раз уж величина скорости света названа, используя ее и построенную в ч. I модель Солнечной системы, опишите, хотя бы качественно, эффект Ремера. (Задача разобрана в Интернете.)

Авторы STAR не умалчивают и о волновой модели света, изредка даже ее используют (вот и мы только что имели дело с интерференцией и дифракцией), однако свет сравнивают с ветром, а не со звуком. Но тогда почему бы не познакомиться с реальным звездным ветром?

Земной воздух днем рассеивает солнечный свет, что позволяет нам и в тени видеть наше ближнее окружение. А ночью он рассеивает фонарный свет, который заливают небо и гасит звезды. Газ звездной атмосферы тоже рассеивает свет, идущий из более глубоких слоев звезды. Но это излучение несравненно мощнее достигающего Земли солнечного, и уже нельзя упускать из виду, что, отскакивая от частиц вещества, частицы света своими толчками разгоняют их.

Звезды – газовые самосветящиеся шары. Такие, как Солнце, к нашему счастью, долгое время остаются стабильными, а наиболее горячие и яркие сами себя разрушают. Они настолько активно выталкивают в космос собственным излучением вещество своих внешних слоев, что теряют за время жизни больше половины начальной массы.

### **Упр. 18. Звездный ветер Р Лебеда.**

Р Лебеда (R Gygni) можно найти на рис. 19, чуть ниже Садра, как звездочку 5-й величины. Такой мы ее видим с расстояния 6 000 св. лет и сквозь облака межзвездной пыли, хотя излучает она одна как 150 000 солнц! Так что давления излучения достаточно, чтобы сформировать и поддерживать вокруг нее расширяющуюся оболочку (рис. 27, вверху слева). Это и есть звездный ветер.

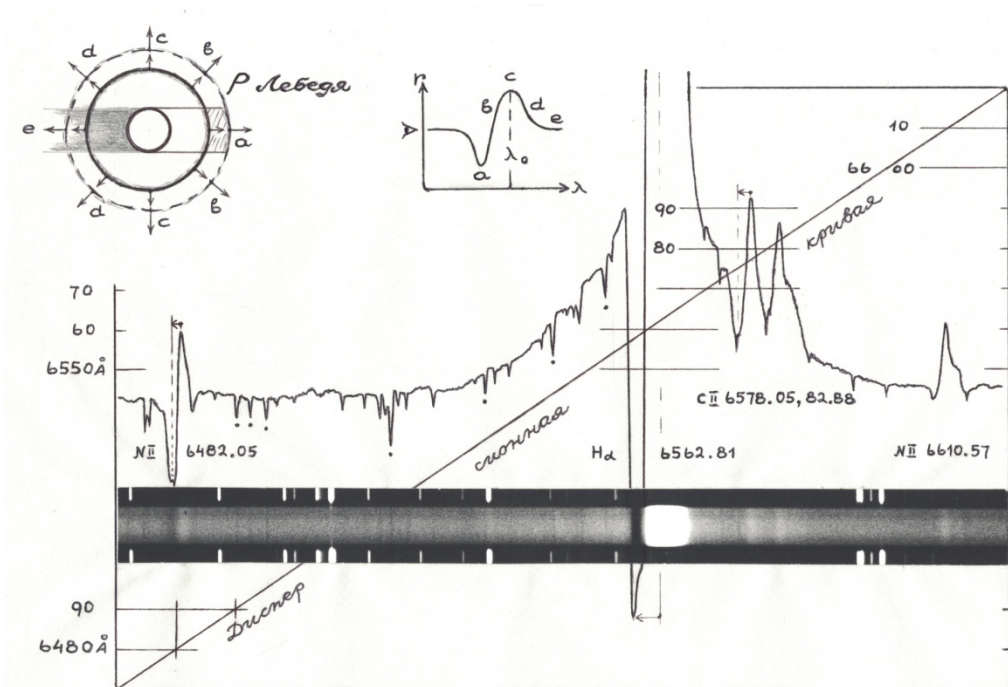


Рис. 27. Звездный ветер Р Лебеда.

- С помощью верхней части рис. 27 разберитесь, как образуется «ветровой» профиль спектральной линии, т.н. «Р Сиг профиль». Мы смотрим справа. Фотосфера звезды (первый корень тот же, что в слове фотон,- свет) дает непрерывный спектр. Область ветра «а» перекрывает для нас диск звезды, и свет, идущий от фотосферы, рассеивается в ней во все стороны – в непрерывном спектре возникает провал, линия поглощения. Вспомним об эффекте Доплера. Рассеивающие свет атомы в области «а» движутся к нам, поэтому длина волны линии уменьшается – она смещается в синюю сторону. В областях «с» рассеяние, напротив, направляет часть фотосферного света к нам, и над непрерывным спектром поднимается горка, линия излучения. Поскольку эти атомы движутся перпендикулярно лучу зрения, вершина горки остается несмещенной.

- Основная часть рис. 27 занята фотографией участка спектра Р Лебеда и фотометрическим разрезом вдоль него – графиком зависимости интенсивности излучения от длины волны. Он включает Р Сиг профили сильной линии водорода H $\alpha$  и нескольких более слабых линий ионов углерода и азота. Их «лабораторные» длины волн (т.е. измеренные в спектре источника, неподвижного относительно наблюдателя),  $\lambda_0$ , выражены в привычных для звездной спектроскопии ангстремах (1 Å = 0.1 нм). Приведена «дисперсионная кривая», связывающая положение линии в спектре с ее лабораторной длиной волны. Она построена по линиям излучения в спектре лабораторного источника (сверху и снизу от звездного

спектра) и по линиям поглощения в спектре звезды, образованным парами воды земной атмосферы (основные из них помечены точками).

- Найдите

$\Delta\lambda$ : сдвиги углублений профилей относительно их вершин (“а” относительно “с”, горизонтальные стрелочки на рис. 27), а затем

$V_r$ : лучевые скорости (проекции пространственной скорости на луч зрения) в ветре Р Лебеда по формуле Доплера:

$$\Delta\lambda / \lambda_0 = V_r / c$$

( $\lambda_0$  – лабораторная длина волны,  $c$  – скорость света).

- Обсудите возможные причины различия скоростей звездного ветра, найденных по разным линиям.

## РАССТОЯНИЕ И ВИДИМАЯ ЯРКОСТЬ

Лучи из разрывов в облаках и из фар машин, тени от столбов, вереницы одинаковых фонарей вдоль дорог – эти и другие “учебные демонстрации” уже убедили вас в том, что:

- в однородной среде свет распространяется прямолинейно,

- видимая яркость источника света – “кажущаяся”, в отличие от присущей ему “истинной” яркости, которая остается неизменной, в то время как

- видимая яркость убывает с удаленностью источника.

“Истинная” яркость источника света – его мощность, вся энергия, излучаемая им за 1 сек. В STAR она обозначается как «ваттаж», либо как «светимость». Последний термин принят в астрономии, и мы им ограничимся. А видимая яркость определяется освещенностью, т.е. энергией, получаемой  $1 \text{ см}^2$ . в плоскости зрачка за 1 сек.

Фотонная модель легко объясняет убывание видимой яркости с расстоянием. Достаточно вообразить поток фотонов, летящих из одного центра и разрежающийся с удалением от него. Но важно найти точную зависимость между светимостью, видимой яркостью и расстоянием, - чтобы с ее помощью находить расстояния до звезд, до которых метод годичных параллаксов “не дотягивается”.

В звездной электрофотометрии реализован «режим счета фотонов». Человеческий глаз воспринимает не отдельные фотоны, а их сумму, и – в отличие от “входного зрачка” электрофотометра – сам под эту сумму



подстраивается. Выше этот эффект уже отмечался, но вот еще вопрос: можно ли закрыть головкой спички звезду? Нет: она не перекроет весь расширившийся в темноте зрачок. А Солнце? Можно: на ярком свете зрачок сужен (но не настолько, чтобы обезопасить глаз от ожога, - не пытайтесь это проверить!).

Поэтому мы будем по возможности избегать оценок видимой яркости «на глаз».

### Упр. 19. К освещенности через освещенную площадь.

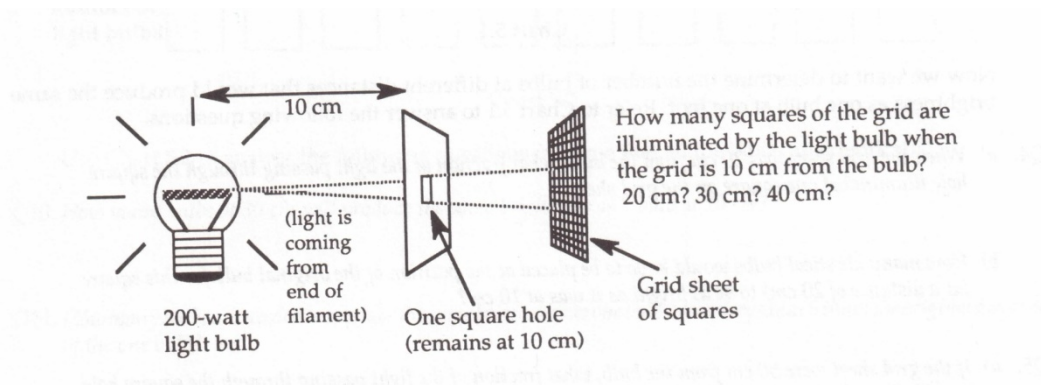


Рис. 28. Схема упр. 19.

Суть упражнения понятна из рис. 28. На краю длинного стола укреплен источник света. Сегодня это может быть маленький светодиод, размером и формой напоминающий брюшко светлячка. Но 30 лет назад использовалась лампочка с прямолинейной нитью. На ее продолжении помещено квадратное окошко со стороной 1 см, прорезанное в неподвижно закрепленной картонке. Свет, пропущенный окошком, попадает на лист бумаги, разлинованный в клетку, также по 1 см, и наклеенный на другую картонку, которая движется, оставаясь параллельной первой. Когда она прижата к окошку, освещается только 1 клетка, при удалении от него число освещенных клеток увеличивается.

Перемещая картонку с экраном, замеряем рулеткой ее расстояния от лампочки и подсчитываем освещенные клетки. Затем находим, какая часть света, пропущенного окошком, приходится на одну клетку на том или ином расстоянии от источника света. Набрав достаточный материал, анализируем связь между этими величинами.

Убеждаемся, что освещенность убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от источника света.

## ЗАКОН ОБРАТНОГО КВАДРАТА

Two spheres surrounding a bulb

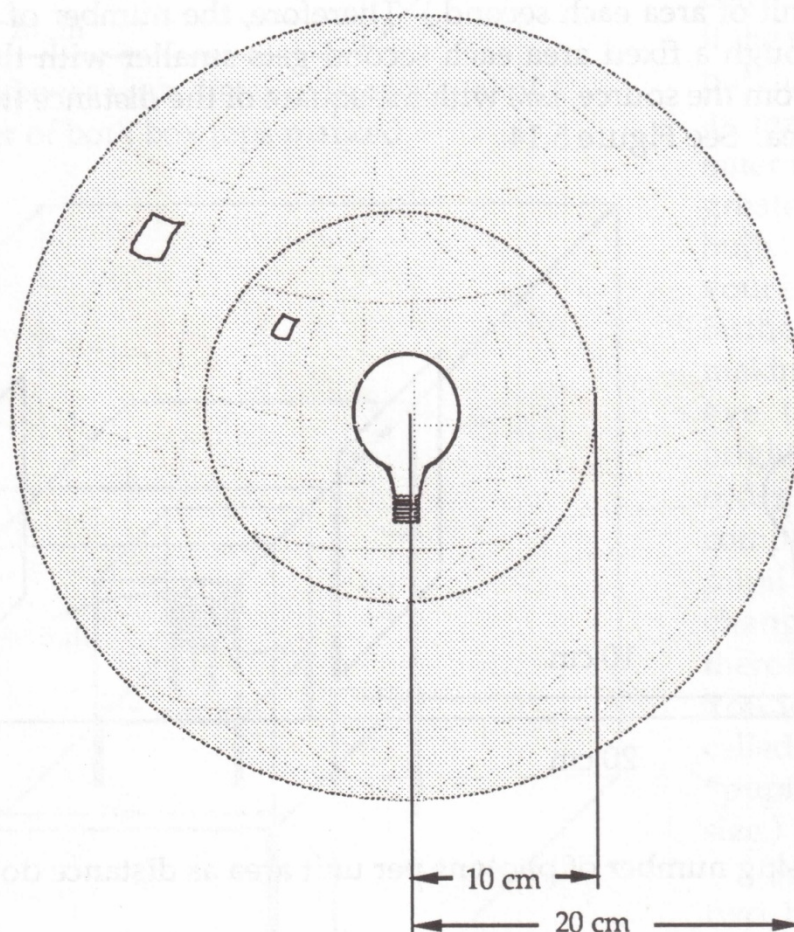


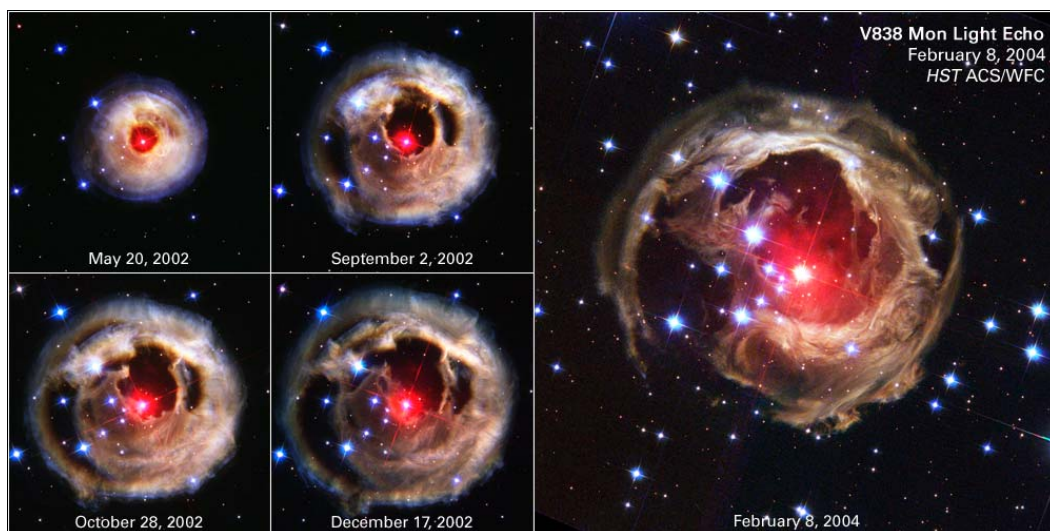
Рис. 29. К закону обратного квадрата.

Опять, как и зависимость углового размера от расстояния, его можно было вывести чисто геометрически, как естественное следствие трехмерности пространства. И такой вывод сделан в учебнике STAR - с помощью двух сфер разного радиуса с общим центром, в котором помещена лампочка (ее колба – третья сфера, рис. 29). Расстояние, которое пролетают фотоны до поверхности сферы, - ее радиус  $r$ , а площадь поверхности, которую они пронизывают, -  $4\pi r^2$ . Вот и квадрат расстояния, который при делении на площадь становится обратным:

Видимая яркость  $\sim$  Светимость / Квадрат расстояния.

А **упр. 19** только подтверждает это. Но хорошо бы кроме “комнатного” найти еще и космическое подтверждение.

Первое, что приходит на ум,- световое эхо. Самое впечатляющее за всю историю астрономии эхо породила вспышка красной звезды в Единороге, V838 Mon, случившаяся в начале февраля 2002 г.. На рис. 30 знаменитые цветные снимки, полученные космическим телескопом им. Хаббла. В Интернете есть и созданный по ним видеоролик. Первое впечатление: взрыв, выброс клочковатой оболочки. Звезду действительно окружает неоднородная пылевая туманность. Но она-то неподвижна. Это свет вспышки расходитя сферической волной и рассеивается оказавшимися на его пути облаками пыли. “Космические” размеры туманности дают нам уникальную возможность – следить за тем, как свет “не спеша” уходит все дальше от вспыхнувшей звезды (до внешних облаков на правом фрагменте рис. 30 он добирался 2 года!).



*Рис. 30. Световое эхо, заснятое телескопом им. Хаббла.*

Снимки вроде бы смахивают на рис. 29. Но то, что мы видим на них,- не полные сферы, а лишь небольшие части, “шапочки”, и не сфер, а очень вытянутых эллипсоидов. В одном из фокусов эллипсоида, том, что внутри “шапочки”, находится красная звезда, в другом (тоже внутри него!) находимся мы. Между фокусами 6200 пк (расстояние от нас до вспыхнувшей звезды), а размер освещенной части туманности около 1 пк. Снимок эха нельзя считать “мгновенным”: фотоны пришли в разные его точки одновременно, но в соответствующие им точки туманности - в разное время.

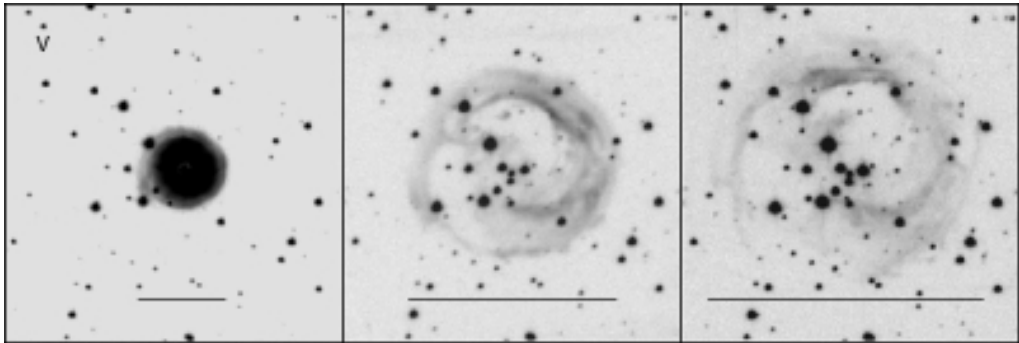


Рис. 31. Три стадии светового эха.

На рис. 31 представлены еще три снимка эха V838 Mon, взятые из работы: Crause et al., Mon. Not., v. 358, p. 1352 (2005). Они скромнее: черно-белые, негативные и получены с помощью 1-метрового наземного телескопа, но более четко иллюстрируют вышесказанное.

- Отрезками прямых авторы показали найденные ими диаметры изображений эха. Убедитесь, что диаметр не пропорционален времени, истекшему после вспышки (что и предсказывает модель эллипсоида): первый снимок получен через 83 дня после нее, второй - через 468, а третий через 820 дней. Очевидно, что расстояние, пройденное светом, следует оценивать именно по времени после вспышки.

- Приняв во внимание, что второй снимок экспонировался вдвое, а третий втрое дольше, чем первый (это видно по изображениям звезд), убедитесь, что яркость на краях эха убывает с его радиусом. По закону обратного квадрата и с учетом различия выдержек (но без учета различия плотности пыли) можно оценить, насколько края эха на 2-м снимке должны быть ярче, чем на 3-м. (Примерно вдвое, но, увы, на глаз это не проверить).

Итак, световое эхо подтверждает конечность скорости света и убывание видимой яркости с расстоянием. Но для наглядной демонстрации закона обратного квадрата это красивое явление слишком сложно.

Обратимся к чему-нибудь попроще. Не подойдут ли звезды близких и не запыленных окрестностей Солнца?

Видимые яркости звезд измеряются гораздо точнее, чем расстояния до них. К тому же точность измерения годичного параллакса снижается с расстоянием, поэтому ограничимся радиусом 200 пк. Начнем с близкой Веги, и отберем звезды одного с ней спектрального класса A0 V и, надо полагать, одной с ней светимости. Поскольку ослабление звезды межзвездной пылью сопровождается ее покраснением, проследим, чтобы все отобранные звезды оставались такими же белыми, как Вега.

Получившаяся зависимость видимой яркости от расстояния представлена графически на рис. 32. На вертикальной оси слева показано, на сколько величин, а справа, - во сколько раз та или иная звезда слабее Веги. Кривая, опускающаяся вниз от точки Веги, следует закону обратного квадрата.

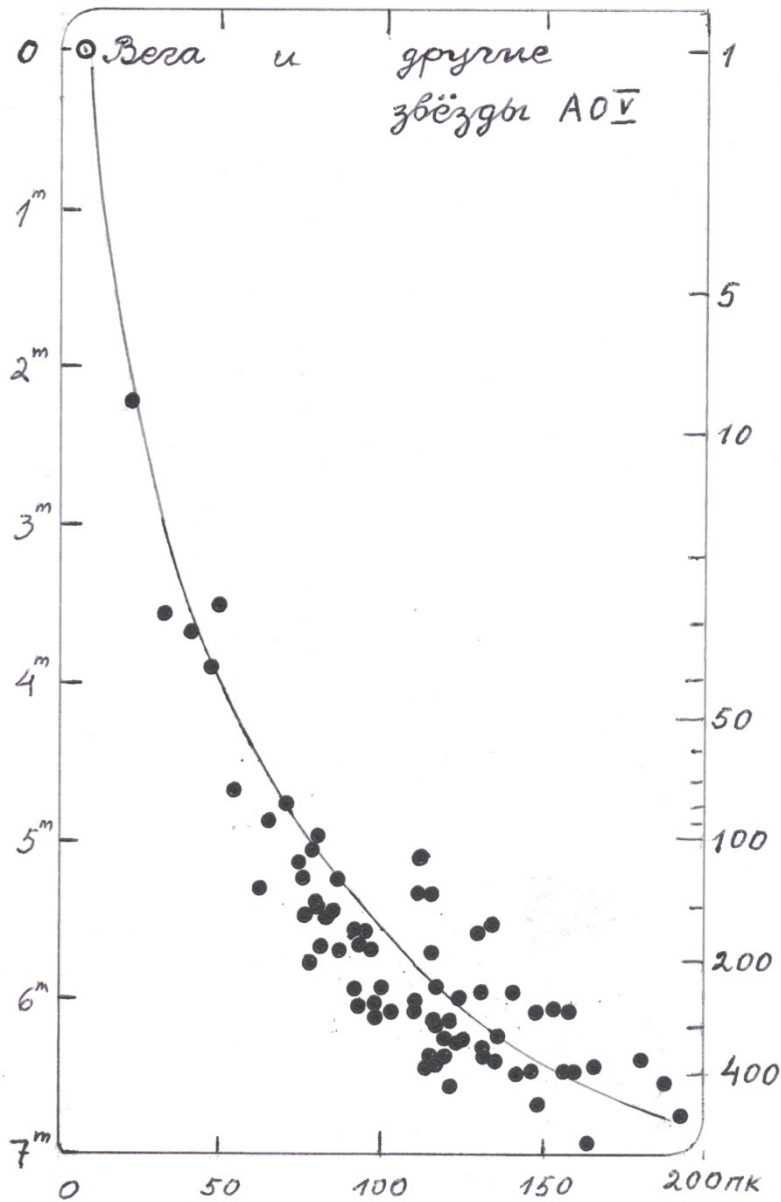


Рис. 32. Зависимость видимой яркости от расстояния.

Звезды не подвели! Систематического отклонения от кривой не заметно, а разброс точек объясняется небольшими различиями светимостей, которые все-таки возможны у звезд одного спектрального класса, и ошибками параллаксов, нарастающими с расстоянием.

## ПРИНЦИП ФЕРМА

Обращаясь далее к зеркалам и линзам, STAR знакомит с правилом, сформулированным в 17-м веке Пьером Ферма: двигаясь из одной точки в другую, свет “выбирает” тот путь, который занимает наименьшее время. Для однородной среды его знал уже в 1-м в. н.э. Герон Александрийский. В то время считалась, что свет распространяется мгновенно, и стало быть все варианты пути равноценны. Но опыт показывал, что луч, не встречая препятствий, не отклоняется от прямой, а наткнувшись на плоское зеркало, изламывается так, что угол падения всегда оказывается равным углу отражения.

### Упр. 20. Моделирование зеркала телескопа.

Рис. 33 поясняет, как оно организовано в STAR. На краю длинного стола в 30 см над его поверхностью укреплена электрическая лампочка. На расстоянии не менее 3 м от нее, на другом краю стола или на соседнем столе на приклеенном к его поверхности листе клетчатой бумаги лежит деревянный кубик размером 2-3 см с зеркальцем на одной из граней – она обращена к лампочке. Зеркальце отбрасывает на бумагу световой прямоугольник (вид сверху на рис. 33). Второй такой же кубик с зеркальцем устанавливается так, чтобы идущий от него световой прямоугольник точно совестился своим концом с концом первого прямоугольника. Затем добавлением еще нескольких кубиков наращивается яркость общего светового пятна. На бумаге прочерчивается кривая, соединяющая положения зеркалец. Затемнение класса желательно, но без него можно обойтись, заменив электрический свет солнечным.

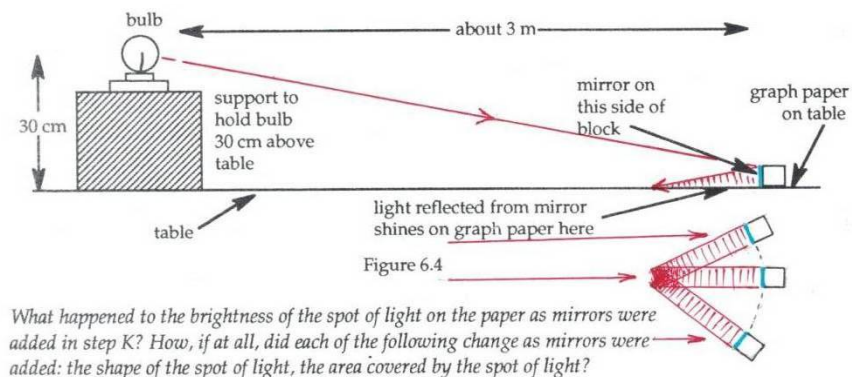


Рис. 33. Схема упражнения с зеркалами.

Этот вариант упражнения вызывает две ассоциации. Первая: оживление легенды о “боевых зеркалах” Архимеда. В октябре 2005 г. сотня студентов MIT (Массачусетского технологического института), вооружившись 30-сантиметровыми плоскими отражающими плитками, сумела поджечь дубовую модель римского судна (отчет имеется в Интернете). Вторая: кольцевая антенна нашего радиотелескопа РАТАН-600 (рис. 34), ее алюминиевые щиты – такие же идеальные зеркала для сантиметровых радиоволн, как зеркальца на кубиках для видимого света.



*Рис. 34. Составная антенна РАТАН-600.*

Но мы в буковской школе практиковали и другой вариант упражнения. Он не заканчивается кривой, а начинается с нее. На рис. 35 две “отражающие кривые” – окружность и парабола (сечения плоскостью рисунка сферы и параболоида). Правая половина рисунка: все лучи, параллельные оси параболы, отразившись от нее, сходятся в одной точке, фокусе, и – в соответствии с принципом Ферма – в одно время. В левой половине рисунка лучи, отраженные от разных точек дуги окружности, не фокусируются в одной точке – «сферическая аберрация», ее уменьшение возможно только за счет укорочения дуги, т.е за счет снижения светосилы зеркала.

Остается проверить модель наблюдением. Направляем ось параболы нашего чертежа в сторону удаленной лампы или Солнца и изгибаем на нем - по параболе - ленту фольги или стальную линейку. Отраженные лучи должны сойтись в фокусе.

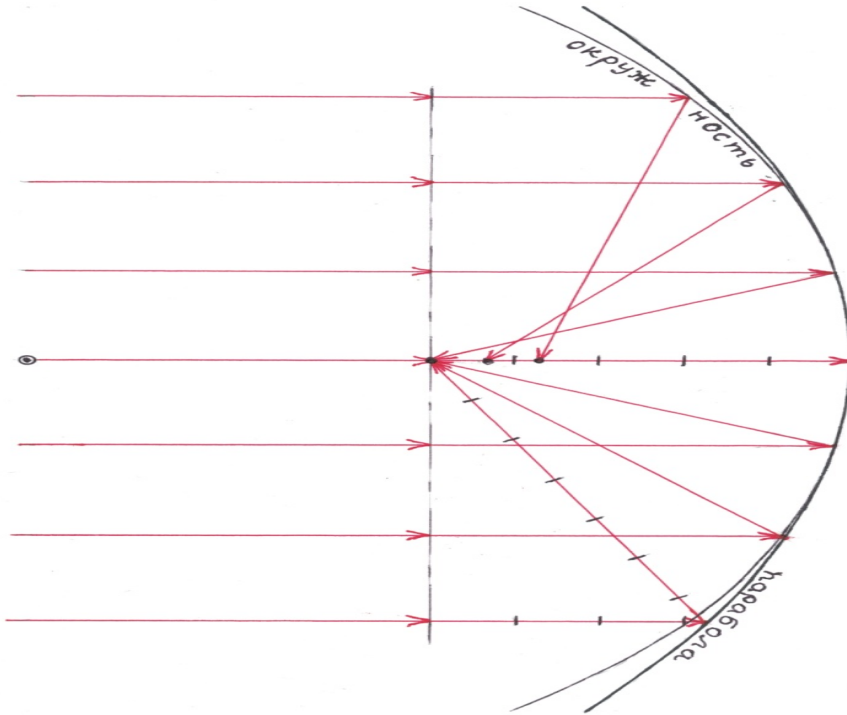


Рис. 35. Отражение параллельных лучей от окружности (слева) и от параболы (справа).

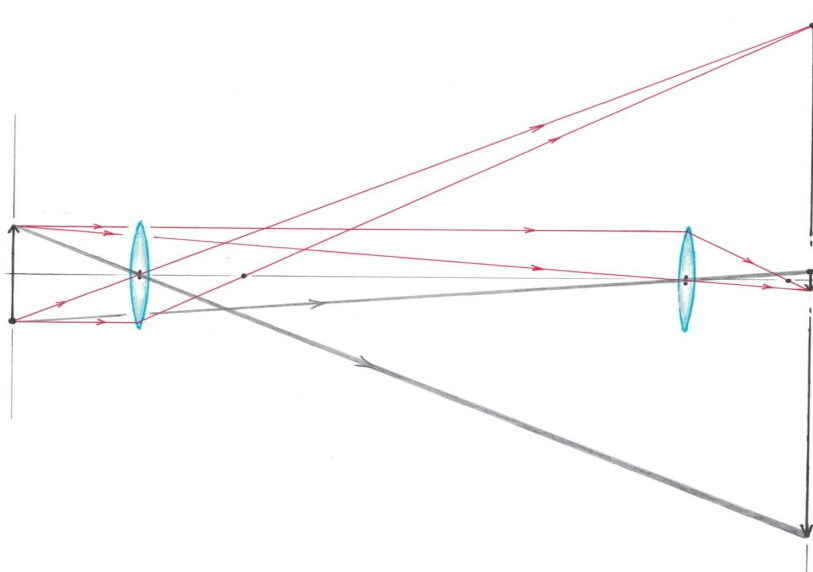
### Упр. 21. Линза и камера-обскура.

То и другое схематически представлено на рис. 36.

По сравнению с зеркалом линза - более сложный (но столь же наглядный) пример действия принципа Ферма. Проходя сквозь нее, свет из воздуха попадает в стекло, где его скорость снижается. Поэтому фотоны, летящие через края линзы, не проигрывают фотонам, “выбравшим” кратчайший путь через ее центр: последние из-за большей толщины стекла “притормаживаются” сильнее. Выйдя из одной точки излучающего объекта, те и другие сходятся в соответствующей точке его изображения одновременно.

- Реализуйте на столе схему рис. 36. В качестве источника света (стрелка слева, направленная вверх) удобна нить накала лампочки.





*Рис. 36. Построение изображений линзой и камерой-обскурой.*

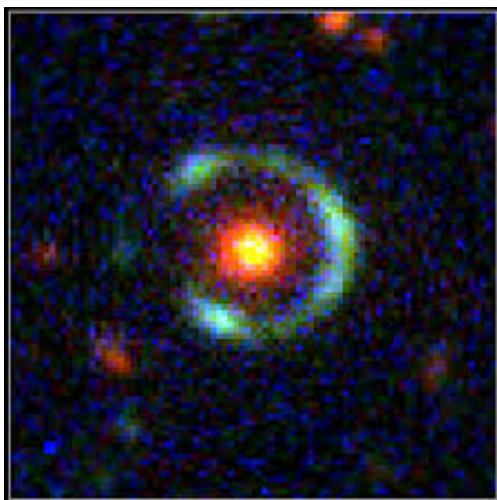
- С помощью линзы сфокусируйте ее изображение на вертикальном экране (стрелки справа, направленные вниз). Сделайте это в двух вариантах: “проекторного аппарата” – линза слева, вблизи лампочки, изображение увеличенное, и “фотокамеры” – линза справа, у экрана, изображение уменьшенное.
- Постройте изображение нити с помощью малого отверстия в картонке, помещенного на место линзы (серые лучи на рис. 36), и убедитесь, что в обоих вариантах размер изображения не изменился.
- Измерьте расстояния между нитью накала и экраном, между ней и линзой в первом варианте и между линзой и экраном - во втором.
- По этим замерам постройте на клетчатой бумаге схему, аналогичную рис. 36, и, ориентируясь на него, воспроизведите ход лучей.
- Найдите на вашей схеме положения фокуса линзы (на рис. 36 они отмечены жирными точками на оптической оси линзы).
- Измерьте по схеме фокусное расстояние вашей линзы.
- Сравните результат с прямой оценкой по удаленным объектам за окном.
- Поэкспериментируйте с отверстием в картонке, постепенно увеличивая его и наблюдая, как при этом изменяется яркость и четкость изображения.

- Осуществите зеркальный вариант камеры-обскуры. Большое плоское зеркало не дает изображения нити накала, но накройте зеркало картонкой с отверстием, и оставшийся незакрытым “глазок” его построит.

- Замечали ли вы, что муха, летающая возле открытой лампочки, отбрасывает на стену тень в форме ее нити накала? Осуществите этот “прокол навыворот” с помощью бусины на нитке или булавки с круглой головкой.

Заканчивая этот раздел, нельзя не упомянуть о том, что в природе встречаются и гравитационные линзы. В отличие от стеклянных они не преломляют, а изгибают лучи света. Одна из них, исследованная в САО,- на рис. 37. Голубая подковка – изображение далекой галактики, построенное полем тяготения другой галактики, удачно оказавшейся на луче зрения, оранжевое пятно в ее центре – сама эта галактика. Она изогнула и направила к нам свет, который без нее прошел бы мимо нас. Его оказалось достаточно, чтобы получить на телескопе БТА спектр дальней галактики, а по нему найти расстояние до нее – 12 миллиардов св. лет.

Галактика-“линза” вдвое ближе. Не меньше впечатляют и то, что иногда удается восстановить истинное изображение “линзированного” объекта: тогда выполняется и другая функция линзы – снижается предел углового разрешения.



*Рис. 37. Гравитационная линза.*

## **О ТЕЛЕСКОПАХ**

Обращение к ним вслед за угловыми размерами и видимыми яркостями естественно: телескоп предназначен увеличивать как угловое разрешение, так и видимую яркость. Появился он на рубеже 16-го и 17-го веков с именем *spyglass* – “шпионское стекло”. Смысл русского названия тот же, в словаре Даля: «подзорная труба,- коею подзирают (подглядывают) издали». То есть

исходным было первое предназначение, но уже к началу прошлого века главным стало второе.

Вопрос, выявляющий исходный уровень понимания ученика: как изменится размер и яркость звезды, хорошо видимой невооруженным глазом, если его вооружить телескопом?

А мы интересуемся у посетителей обсерватории перед их подъемом на гору: что они ожидают увидеть под куполом БТА? Нередко предполагают: большую трубу с большой линзой... И бывают удивлены тому, что подтверждается только размер: БТА – большой телескоп азимутальный. Но вместо линзы – зеркало (конечно, параболическое), да, большое, 6 метров в диаметре. Есть и еще большие: в Южной Европейской обсерватории в Чили - батарея из четырех 8-метровых телескопов, на Гавайях и Канарах – 10-метровые, объединенная Европа строит 39-метровый (он также будет установлен в Чили)! И все это телескопы-рефлекторы. А два самых больших линзовых телескопа всего лишь 1-метровые. Они вступили в строй в конце 19 в..

Вопрос: в чем же преимущество рефлектора перед рефрактором?

Подсказка: главное назначение телескопа – собрать как можно больше света.

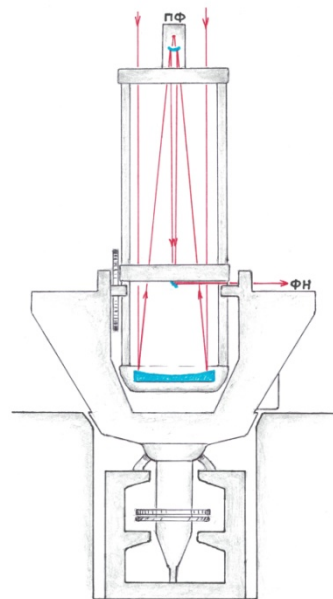


Рис. 38. Телескоп БТА (слева) и ход лучей в нем (справа).

На рис. 38 - внешний вид и схема нашего БТА с ходом лучей в нем. Отчетливой трубы у него, как и у других крупных телескопов, не видно: она максимально облегчена. Тяжелое зеркало в оправе (одного стекла 42 тонны) скреплено легкими штангами с квадратным средником, а он с кольцом, в центре которого - стакан первичного фокуса. И все-таки “труба” весит около 100 тонн, а общий вес инструмента – больше 800 тонн, во время наведения на объект и сопровождения его он “плавает” на тонком слое масла, прогоняемого между сферическими поверхностями “масляных подушек”. Деформации при таком весе неизбежны, но они снижены тем, что основная ось направлена строго вертикально, к центру Земли (вокруг нее весь телескоп вращается по азимуту), а вокруг горизонтальной оси (по высоте) поворачивается только облегченная “труба”. БТА – первый крупный телескоп на «альт-азимутальной» монтировке.

Но главное зеркало, вместе с вторичными, - только «питающая система»: “кормит” собранным светом “умный” прибор, способный извлечь из этого света нужную информацию. Основные приборы, поочередно помещаемые в стакан первичного фокуса БТА (ПФ), - упомянутый спекл-интерферометр и “комбайн”, включающий фотометр и спектрограф низкого разрешения – ему доступны далекие галактики и слабые звезды (вплоть до 23-й величины). Во вторичном фокусе (Несмита, ФН), на балконе и внутри стойки, постоянно установлены два спектрографа высокого разрешения – для изучения более ярких звезд.

Ниже приведена небольшая часть расписания наблюдений на нашем телескопе. Как видно из нее, под задачи, выполняемые в ПФ, выделяются “темные”, безлунные ночи, а получаемые в ФН спектры ярких звезд (до 11-12 величины) не “загрязняются” посторонним светом даже при Луне.

### **Выписка из расписания наблюдений на БТА**

**(даты, объекты, фокус / прибор)**

8 -12. 05. 17	Двойные звезды	ПФ
полнолуние	Двойные астероиды	спекл-интерферометр
	Звезды в ассоциации Суг OB2	
13 -17.05.17	Магнитные звезды	ФН
	Звезды в ассоциации Ser OB1A	спектрограф высокого

---

18 -25.05.17	Сверхплоские галактики	
новолуние	Катаклизмические переменные	ПФ
	Скопления галактик	спектрограф низкого
	Сверхновые	разрешения

---

## Упр. 22. Самодельный телескоп.

Упражнение можно выполнить и с готовым небольшим телескопом. Но лучше, следуя рекомендации STAR, собственноручно изготовить простейший инструмент, примерно такой же, как тот, которым пользовался Галилей. Это позволит воспроизвести не только его открытия, но и его впечатления - увидеть лунные кратеры и спутники Юпитера такими, какими их увидел он.

Вот это изделие (рис. 39): типичная “телескопическая конструкция” из двух сердечников бумажных полотенец, позволяющая изменять расстояние между входным и выходным отверстиями. На внутренней трубке - шкала этих расстояний.

- Сначала используем его как камеру-обскуру: входное отверстие закрыто проколотой в центре фольгой, а выходное – полупрозрачной миллиметровкой.

- Ловим на миллиметровку изображение нити накала удаленной лампочки, длина которой заранее измерена. Измеряем также длину изображения, длину трубы и расстояние от прокола в фольге до нити в лампочке.

- Убеждаемся, что отношения длины нити к ее удаленности и длины изображения к длине трубы равны,- мы получили прибор для измерения угловых размеров.

- Тестируем его по Солнцу, раздвинув трубу на максимальную длину. (Камера-обскура еще в Средние века использовалась на Ближнем Востоке и в Европе для наблюдений солнечных затмений и для измерений видимого размера Солнца.)

- Увеличиваем его светосилу, заменив фольгу на входе пластиковой (безопасной) линзой. Фокусируем на миллиметровке силуэт дальнего

темного предмета на фоне светлого неба - узнаем фокусное расстояние линзы-объектива.

- Наконец заменяем бумажный экран в выходном отверстии трубы малой короткофокусной линзой-окуляром.



Рис. 39. Телескоп из картонных трубок.

### Упр. 23. Калибровка телескопа.

- Какое он дает угловое увеличение, можно узнать, поделив фокусное расстояние объектива на фокусное расстояние окуляра. А можно оценить его приблизительно, но зато непосредственно. Глядя одним глазом в телескоп на отдаленный предмет (здание, столб), а другим на линейку в вытянутой руке, сближаем линейку с изображением предмета и измеряем его видимый размер в сантиметрах. Затем повторяем измерение одним глазом без телескопа. Остается поделить первый результат на второй.

- С помощью того же приема можно оценить, во сколько раз, или на сколько величин, телескоп увеличивает видимую яркость. Наводим его на группу звезд с известными величинами, например, на Ковш Малой Медведицы. Оба глаза открыты. Одним глазом хорошо видим в телескоп слабые звезды. Наклоняя трубу, сближаем ту или иную из них с яркой Полярной, на которую

смотрим вторым глазом мимо телескопа. Подбираем звезду, которая кажется такой же яркой, как Полярная. Разность их звездных величин должна соответствовать отношению квадратов диаметров объектива телескопа и зрачка нашего глаза.

- Добавив к полученной разности  $b$ , получим ожидаемую величину самых слабых звезд, которые еще можно видеть в наш телескоп. А уточнить ее можно по Плеядам или другому звездному скоплению с известными величинами. Данные для этих фотометрических стандартов собраны в «Справочнике любителя астрономии» П.Г. Куликовского (есть в Интернете).

### “НУЛЕВОЙ” ФОТОМЕТР

На глаз трудно оценить, во сколько раз или насколько различаются видимые яркости двух источников света, особенно, если различие велико. Точность такой оценки невысока. Но если каким-либо способом снизить различие яркостей до нуля, глаз уверенно зафиксирует их равенство. Такой прием только что был использован при калибровке фотометрической эффективности телескопа. Применим его для фотометрической оценки удаленности звезд.

#### Упр. 24. Измерение расстояния до Солнца с помощью парафинового фотометра.

Для фотометра нам нужны две одинаковые парафиновые пластинки. Их можно получить, разрезав купленную в аптеке плитку медицинского парафина, или заполнив спичечный коробок парафином, капающим с горячей свечи.

- Проложив между пластинками картонку, обернутую блестящей фольгой (кухонной, от чая или шоколада), сложите “сэндвич” и скрепите его резинками.

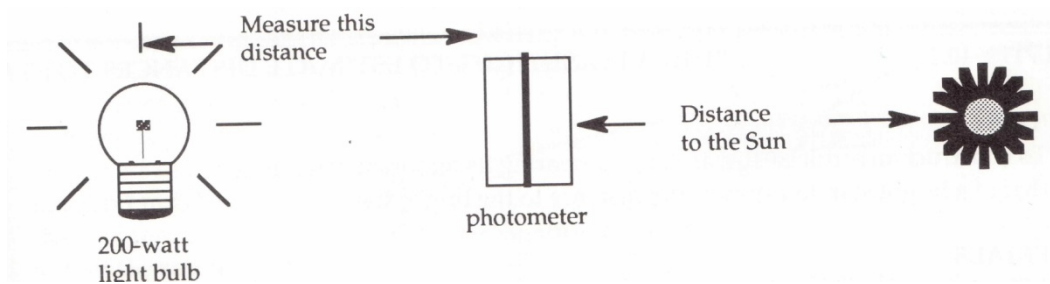


Рис. 40. Принцип работы «нулевого» фотометра.

- Обратите одну сторону “сэндвича”-фотометра к Солнцу, а другую осветите 100- или 200-ваттной лампочкой, как показано на рис. 40. Торцы пластинок излучают свет, рассеянный парафином.
- Приближая лампочку к фотометру, следите за изменением видимой яркости торца пластинки, обращенной к лампочке.
- Когда видимые яркости обоих торцов уравниваются, измерьте линейкой расстояние от нити накала лампочки до ближайшей к ней поверхности фотометра.
- Исходя из этого расстояния, по закону обратного квадрата найдите расстояние до Солнца, приняв его светимость равной  $4 \times 10^{26}$  вт.
- Обсудите возможные погрешности полученного результата. В частности стоит обратить внимание на различие цвета Солнца и лампочки, которое способен показать наш фотометр.

**Упр. 25. Измерение расстояний до ярких звезд с помощью “искусственной звезды”.**

“Искусственная звезда” - источник света с известной светимостью, подходящей для сравнения с реальными звездами.

В STAR она реализована с помощью небольшого отрезка оптического волокна. Один его торец приклеивается к стеклу карманного фонарика и изымает из него малую долю света, другой ее излучает со светимостью в одну миллионную ватта.

Приведу также свой опыт измерения расстояния до Сириуса с помощью светодиода. В сочетании с 3-вольтовой батареей (рис. 41) его мощность (принятая за светимость)  $\sim 4 \times 10^{-3}$  вт, а светимость Сириуса  $\sim 3 \times 10^{27}$  вт. Светодиод такой же белый, как Сириус, отличия по цвету не заметно, а видимые яркости уравниваются при его удалении на 90 м. Найденное расстояние до Сириуса  $\sim 8.3$  св. г., т.е почти столько же, сколько дает годичный параллакс (8.6 св.г.). Результат удивительный - при различии светимостей на 30 порядков!



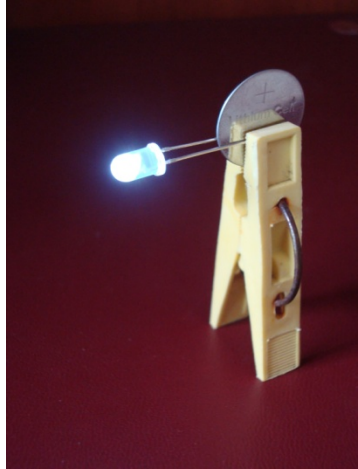


Рис. 41. Светодиод с батареей.

### ВМЕСТО ФОРМУЛЫ - НОМОГРАММА

Расстояние от нас до звезды связано с ее видимой яркостью и светимостью формулой:

$$\text{Lg } d = [(v - Mv) + 5] / 5.$$

Здесь:  $d$  – расстояние в парсеках,  $v$  – знакомая нам видимая визуальная звездная величина, а  $Mv$  – светимость, выраженная в звездных величинах и потому называемая абсолютной звездной величиной. Такой станет видимая визуальная величина звезды, если ее “поместить” на стандартном расстоянии 10 пк. Величина  $(v - Mv)$  называется модулем расстояния.

# APPARENT BRIGHTNESS-DISTANCE NOMOGRAM

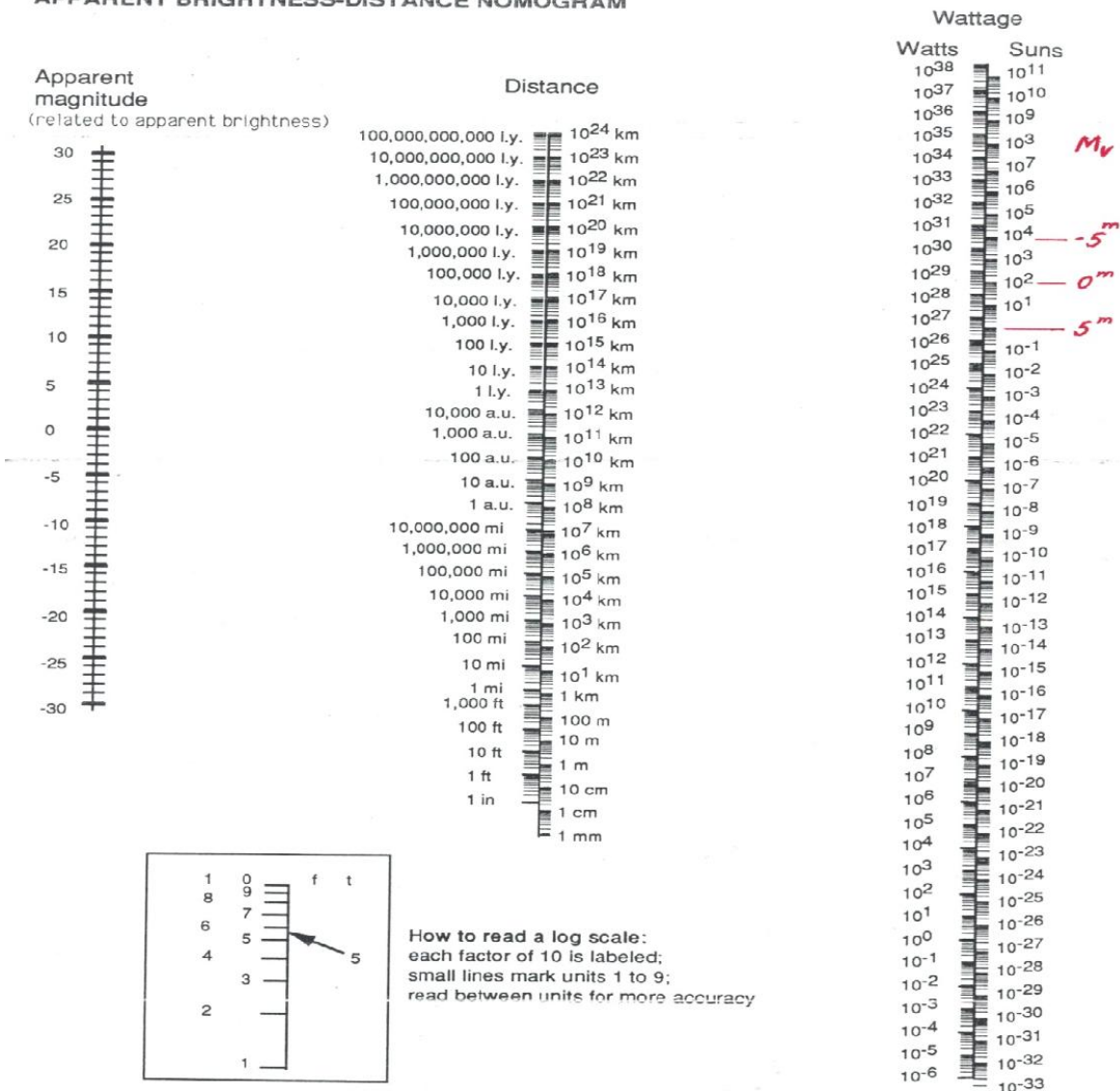


Рис. 42. Номограмма: видимая яркость – расстояние – светимость.

Но программа STAR старается избегать формул, и данное важное соотношение представлено в ней номограммой. Ознакомьтесь с ней по рис. 42 и попрактикуйтесь в ее использовании.

### Упр. 26. Оценка расстояний до звезд с помощью номограммы ( $v - d - M_v$ ).

Она состоит из трех вертикальных логарифмических шкал, параллельных друг другу, слева направо: видимая величина ( $v$ ), расстояние ( $d$ , от километров до световых лет) и светимость (в ваттах и светимостях Солнца). Справа от шкалы светимости красным отмечены три ее значения в абсолютных величинах  $M_v$ . При необходимости найдите и отметьте другие значения  $M_v$  - масштаб правой и левой шкал, естественно, один и тот же.

Пользование номограммой просто: если известны любые две величины, найдите их положения на соответствующих шкалах и соедините линейкой, так, чтобы она пересекла и третью шкалу, – на ней она покажет значение связанной с ними третьей величины.

- Прodelайте это для звезд Летнего Треугольника – найдите их расстояния по приведенным ниже видимым и абсолютным величинам.

- Сравните результаты, полученные фотометрическим способом с найденными по годичным параллаксам,  $d(\pi)$ , – они также приведены ниже.

Звезда	$V$	$M_v$	$d(\pi)$ , св. л.
Вега	0.0	0.8	25
Альтаир	0.8	2.3	17
Денеб	1.3	-7.0	1300

- Обратите внимание на огромную разницу расстояний до сверхгиганта Денеба и карликов Веги и Альтаира при небольшом различии их видимых яркостей.

### Упр. 27. Построение трехмерной модели созвездия.

Пространственная модель предполагает знание направлений на ярчайшие звезды созвездия, определяющие его фигуру, и расстояния до них. То и другое вы найдете в упомянутом выше «Справочнике любителя астрономии» П.Г. Куликовского.

- Возьмите из звездной карты рисунок, а лучше найдите или получите фотоснимок выбранного вами созвездия и, увеличив его до размера 30-40 см, наклейте на картонку.

- Проколите картонку в центрах изображений звезд, до которых известны расстояния. Проденьте в эти отверстия концы нитей длиной около метра и приклейте их с обратной стороны картонки.

...Взошли мои алмазные Плеяды.

Семь струн привязывает к ним Сапфо...

А. Тарковский.

Нитей не должно быть слишком много, семи достаточно.

- На нити, идущие от каждой звезды, нужно нанизать по бусине, продев нить в ее отверстие, обернув ее вокруг бусины и вновь продев нить в отверстие, чтобы бусина могла перемещаться вдоль нити, но не соскальзывала с нужного места.

- Привяжите концы нитей к гайке так, чтобы все они были одной длины, около 50 см.

- Выбрав подходящий масштаб, отодвиньте каждую бусину от гайки на расстояние, пропорционально расстоянию до соответствующей звезды.

- Взяв в одну руку гайку, а в другую картонку и натянув нити, приблизьте гайку к глазу и посмотрите сквозь нее. Все бусины должны оказаться на местах звезд.

- Потом посмотрите на свою конструкцию сбоку. Вы “покинули” окрестности Солнца (насколько вы “удалились” от него в вашем масштабе?) и смотрите на него и на звезды созвездия из дальнего космоса.

- Опишите, как изменилась форма созвездия. А также прикиньте, насколько должны измениться видимые яркости звезд.

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПАРАЛЛАКСЫ

Ими мы завершим беглое знакомство со звездами.

Вернемся к **упр. 26**. Сделанные в нем оценки расстояний до Веги и Альтаира вполне корректны, а до Денеба – не совсем. Не учтено межзвездное поглощение света! Для близких карликов оно несущественно, а для более далекого сверхгиганта уже заметно. Речь идет о рассеянии света звезды межзвездной пылью, имеющейся на луче зрения. Потускневшая звезда воспринимается как более удаленная.

Видимая величина  $V$  содержит в себе долю, вызванную межзвездным поглощением,  $A_v$ . В модуле расстояния должна стоять исправленная за поглощение величина  $V_0 = V - A_v$ . Но как найти поправку?

Через покраснение звезды. Синий свет рассеивается, и ослабляется, сильнее, чем зеленый и тем более красный. (Синее небо и красное Солнце на закате, видимые издали красные сигнальные огни автомобилей и синие лампочки у подъездов во время войны, невидимые с самолетов...)

Значит, кроме “желто-зеленой” величины  $V$  нужно измерить “синюю” величину  $B$ , найти видимый цвет,  $B - V$ , и сравнить его с истинным (собственным) цветом звезды,  $(B - V)_0$ . Получив избыток цвета:

$$E = (B - V) - (B - V)_0$$

и, утроив его, мы перейдем от покраснения к поглощению:

$$A_v = 3 \times E.$$

Собственный цвет, как и абсолютная величина, определяется по спектру звезды, поэтому данный способ измерения расстояния вполне резонно назван спектральным параллаксом.

Ниже приведен результат его использования в недавней работе, выполненной в лаборатории астроспектроскопии САО. Звезды расположены у верхней границы созвездия Стрельца, рядом с галактическим экватором. Их спектры получены с помощью спектрографа высокого разрешения (см. выписку из расписания наблюдений на БТА).

Звезда	Sp	V	(B-V)	E	$A_v$	$V_0$	$M_v$	d	d ( $\pi$ )
HD 169990	B8 III/IV	6.20	0.00	0.10	0.3	5.9	-0.5	200 пк	190 пк
HD 169673	B1.2 II	7.35	0.01	0.24	0.7	6.6	-5.0	2000 пк	2000 пк

В последней колонке таблицы - контрольные значения расстояний, найденные методом годичных параллакс. Выходит, спектральные параллаксы не хуже геометрических? Для первой, близкой звезды наличие точного годичного параллакса неудивительно, но вторая звезда в 10 раз дальше. Для нее-то как он был измерен?

С помощью глобального радиоинтерферометра, который дает требуемую точность. Только не по самой звезде, а по мазерам в молекулярном облаке,

из которого она недавно сформировалась и от которого еще не успела удалиться. Вот оно – на рис. 43. Напоминает змею с раскрытой пастью. Красное пламя у верхней “губы” – очаг звездообразования: молодые горячие звезды и возбуждаемая ими туманность Омега.

Взяв таблицу за образец, попрактикуйтесь в вычислении спектральных параллаксов на материале из «Справочника» Куликовского и базы астрономических данных SIMBAD.



*Рис. 43. Газово-пылевое облако в Стрельце и туманность Омега.*

## **АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ТУРИЗМ И СВЕТОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ**

Их объединяет экология: первое - разнообразность экологического туризма, второе - комплексная экологическая проблема.

«Сотни туристов съезжаются в Бельгию. Там зацвел Хальский лес, и люди даже берут отпуска, чтобы успеть полюбоваться...» - это из ТВ-репортажа о цветении дикого гиацинта. «Оцени этот миг, ибо все пропадет через пять торопящихся дней.» – а это Насими о цветении пустыни. Осенью в Новой Англии сводки погоды сообщают и о “лиственном урожае”: где самые красные клены, самые золотые буки. И отели в тех местах поднимают цены.

Это экологический туризм? Наверно, но с сильным привкусом экстремального. Сенека две тысячи лет назад сетовал: «Если бы на Земле было только одно место, откуда видны звезды, то люди толпами стекались бы туда.» А не сходя с места им, мол, лень поднять глаза к небу, они и Солнце-то замечают, только когда оно затмевается.

Смену экстремального туризма экологическим и саму суть последнего находим у Толкина: «Властелин колец», эпизод прибытия героев в Лориен. Они утопали в снегах высоких гор, спускались под землю, бились с врагами, а тут:

«Фродо казалось, что он сделал шаг в окно, распахнутое в давно исчезнувший мир... Все, на что падал взгляд, было как будто создано только что, прямо на глазах; и вместе с тем каждая травинка казалась неизмеримо древней. Цвета были знакомые – золотой, белый, синий, зеленый; но все они были такими свежими, так золотились, белели, синели и зеленели, что Фродо казалось, будто он видит их впервые и только сейчас придумывает им названия...»

Не взглянул в окно – там хорошо, но я - тут,- а именно шагнул в него!

А Сэм находит ключевое слово: «Будто я в н у т р и песни...»

Вот и в “астрономическом” варианте экотуризма, у Фета:

На стоге сена ночью южной  
Лицом ко тверди я лежал,  
И хор светил, живой и дружный,  
Кругом раскинувшись, дрожал...

Чем не “внутри песни”?

Астротуризм существует уже и в экстремальном варианте “космотуризма”, несколько человек слетало на МКС, забронированы билеты на суборбитальные полеты. Но этот вариант - “внеэкологический”. Символический кадр в «Солярисе» Тарковского: полоски бумаги под вентилятором, имитирующие шум дождя... Пусть в наших горах небо похуже, чем в высокогорных пустынях Чили, но ощущение открытого космоса гарантируется, и оно острее, чем у космических туристов. Его-то и передает Фет:

Земля, как смутный сон немая,  
Безвестно уносилась прочь,  
И я, как первый житель рая,  
Один в лицо увидел ночь...

Воздуха как бы и нет, но мы же им дышим, ощущаем его прохладу, запахи, весной и летом цветочные, осенью лиственные. У нас в июле он еще и полон светлячков, они подыгрывают звездам, танцуют, перемигиваются.

Кстати, учебник STAR приводит светимость светлячка ( $10^{-3}$  Вт) – поймать и использовать как “искусственную звезду”?

И конечно, ощущение близости неба: и Венера и галактика Андромеды - на расстоянии вытянутой руки. Кроме Фета оно испытано и передано многими поэтами и писателями, вольными или невольными астротуристами. У Аполлинера «стада пасущихся деревьев оципывают звезды», у Пастернака «с левком Млечный Путь одною лейкой полит», у Радковского «на черных вербах висит Вселенна, как на просушке рыбацья сеть». На дороге к нашему телескопу есть участок, где она прямо упирается в небо, и белые соцветия горной валерьяны по обочинам продолжают звездными облаками Млечного Пути, а темный асфальт – его пылевой прогалиной.

Словом, как у *Заболоцкого*, - «дивная мистерия Вселенной». Но это - из его магаданского стихотворения, дальше-то:

...Шла в театре северных светил,  
Но язык ее проникновенный  
До людей уже не доходил.

Те люди были насильственно отторгнуты не только от своих близких, но и от мироздания. А мы сами, добровольно, отлучили себя от него, опустили перед ним “световой занавес”. Миллиарды рублей тратятся на глупое и злое дело – освещение космоса. Заплатили за то, чтобы было светло под ногами, и зачем-то платим еще столько же, чтобы светить вверх. Вот так мы выглядим со спутника (рис. 44). Легко отождествляются города, поселки, даже такие малые, как Буково, дороги. Воздух, даже самый чистый, рассеивает идущий от них свет в стороны и вниз. Наш БТА пока еще в темной зоне, но зарево на западе, от “светового языка” Адлер – Красная Поляна, смывает с небосвода звезды (рис. 45). Наш профессиональный ущерб смыкается с общечеловеческим. Международный Астрономический союз принял декларацию о праве всех людей видеть Вселенную. Именно



видеть – рассуждать о ее конечности или безграничности можно и с закрытыми глазами.

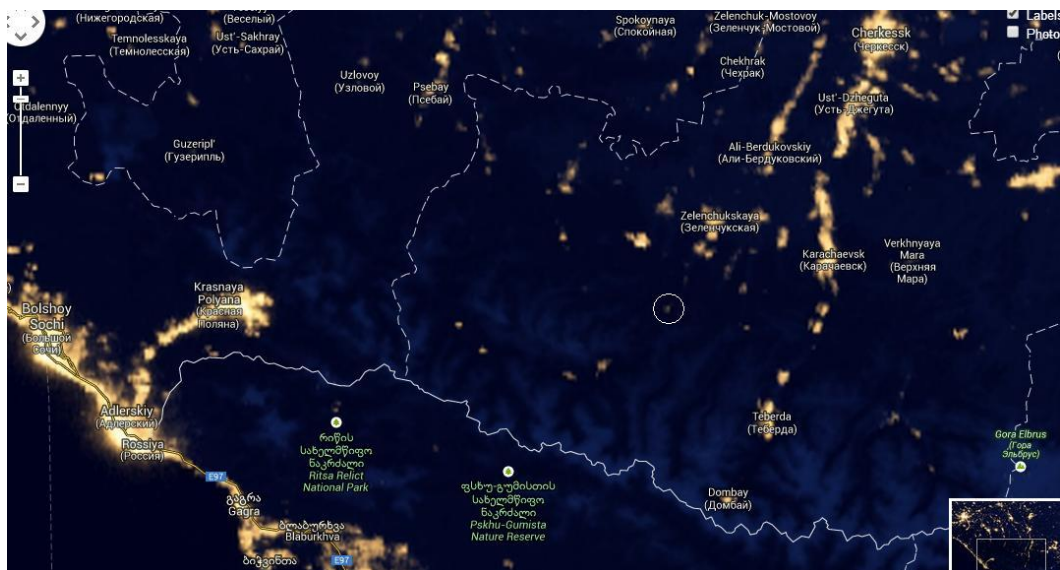


Рис. 44. Ночной вид со спутника на Западный Кавказ.



Рис. 45. Вид от БТА на запад.

Темное небо осознано как ценный ресурс, и правовые и технические средства его сбережения уже найдены и опробованы. В юридической практике появилось положение о «злоупотреблении светом», а на улицах и автострадах «правильные» фонари. Устроены они просто: вертикальный глубокий колпак с отражающей внутренней поверхностью - она позволяет понизить мощность лампы и сэкономить до 40 % электроэнергии. Ни один луч не выходит из-под колпака выше 20 градусов, отсчитанных вниз от горизонтальной плоскости. На рис. 46 эмблема Флагстаффа, «города темного неба» в Аризоне, внедрившего у себя такие фонари. Не удивительно, что прямо на его окраине работают две крупные обсерватории, там же популярный центр астротуризма.



*Рис. 46. Эмблема города Флагстаффа.*

Считается, что чем светлее на улице, тем безопаснее. Но когда слишком светло, вы ослеплены, «голые» фонари заставляют вас, чтобы разглядеть что-то перед собой, заслонять глаза ладонью или козырьком кепки. Заслонки-то должны быть на самих фонарях.

Есть у светового загрязнения и гигиенический аспект. Искусственно продлевать светлую часть суток вредно для здоровья (гормон мелатонин вырабатывается в темноте). Люди заболевают, животные просто гибнут.

Наконец, не умолчим и о психологическом аспекте светового загрязнения. Когда-то оно могло даже казаться благом. «Звездный ужас» *Н. Гумилева* - об аборигенах Африки, которые проводят ночь не «лицом ко тверди», а

«носом в землю». Изучавший их крупнейший психолог прошлого века Карл Юнг также «обнаружил, что они были оптимистами до шести часов вечера. После заката они оказывались уже в мире, где царили зло, страх и опасности». Но и Тютчев, вполне европеец, испытывал подобное чувство и находил ему объяснение:

... И бездна нам обнажена  
С своими страхами и мглами,  
И нет преград меж ей и нами –  
Вот отчего нам ночь страшна!

Написано это в том году, когда было положено начало промерам этой бездны – найдены параллаксы близких звезд. И давно уже понятно, что космическая “бездна” – наша “экологическая ниша”.



*Рис. 47. Естественный и искусственный космические взрывы.*

Сравните два снимка (рис. 47). Слева космическая туманность «Пузырь», справа тоже пузырь, но земной, – начало взрыва водородной бомбы. При внешнем сходстве различия в размере и возрасте огромны: световые годы и метры, тысячи лет и тысячные доли секунды. Но одинакова их природа, там и тут ядерные реакции, раскаленная плазма, ударные волны. То и другое - взрывы, и оба они космические. Но один воссоздан на Земле – “контрабанда космоса”! Другой невообразимо далеко, за 8 000 св. лет от нас, и бездна разбавляет его чудовищную энергию до безвредной дозы, включенной в среду нашего обитания как ее необходимая составляющая.

Для Тютчева «души болящей исцеленье» - дневной свет. А для Льва Толстого – звезды, «символы свободы». Плененный французами Пьер Безухов «взглянул в небо, в глубь уходящих, играющих звезд. «И все это

мое, и все это во мне, и все это я! – думал Пьер. – И все это они поймали и посадили в балаган, загородили досками!»»

А ведь и нас сегодня поймали и посадили... на диван перед телевизором. Массовый недуг нашего времени – утрата иммунитета к вымыслу, наркотическая зависимость от него. Вопль измученного телезрителя: “научными” передачами РЕН ТВ можно пытаться! Живое небо способно если не вовсе исцелить от этой зависимости, то хотя бы ее ослабить. А световое загрязнение толкает в плен РЕН ТВ, на пытки его «шокирующими гипотезами».

Вот одна из них. За Солнцем, в противоположной точке земной орбиты, прячется планета “Антиземля”. На нашу погибель она населена “антилюдьми”. Прячется, но иногда и показывается: надо же за нами подглядывать. Вот *Д. Кассини* ее и заметил – в 17-м веке.

Образцовый вымысел-наркотик. Миллионам телезрителей не следует отвлекаться и вспоминать, что наши глаза давно не привязаны к Земле. А если кто-то и вспомнит о многочисленных космических аппаратах, ему пояснят, что они не в счет, т.к. «не смотрят по сторонам». На рис. 48 – снимок, сделанный с космического аппарата «Кассини», запущенного в сторону Сатурна и ставшего его искусственным спутником. Камера смотрит как раз туда, куда надо, - в сторону Солнца. Оно закрыто Сатурном и не мешает нам рассмотреть – слева под внешним четким кольцом – светлую точку. Это наша Земля. Противоположная часть ее орбиты в кадре – вот его бы и включить в передачу, чтобы просто дать увидеть “Антиземлю”! Если бы она там была...

«Кассини» 21-го века опровергает Кассини 17-го века. Того, чье имя он носит: знаменитый астроном, первый директор Парижской обсерватории, прославился открытием вовсе не “Антиземли”, а нескольких спутников Сатурна и темного промежутка в его кольцах («Щель Кассини»).

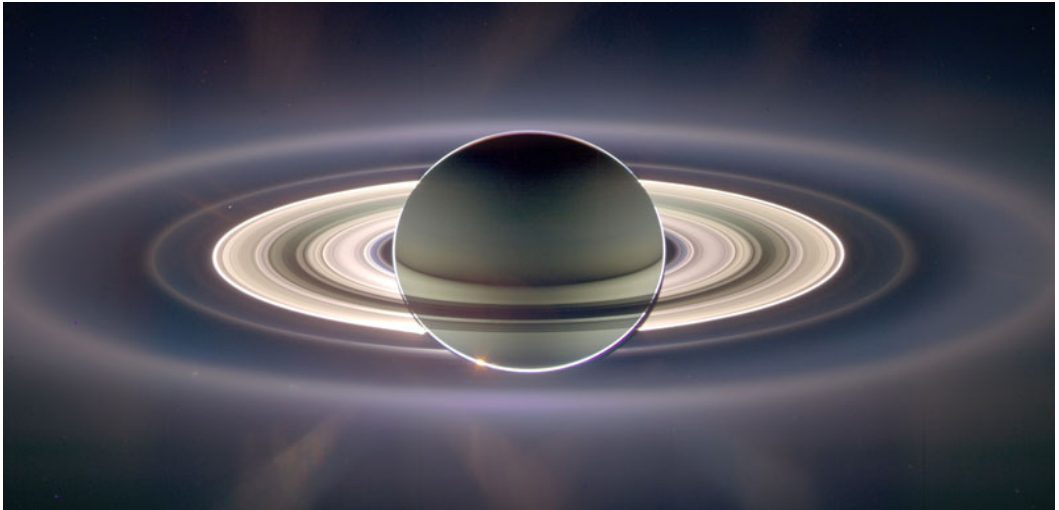


Рис. 48. Затмение Солнца Сатурном.

Нас не только обманывают, но и обкрадывают. Выше уже говорилось о легкой доходчивости космических видов, их «проникновенности». Таков и снимок затмения Солнца Сатурном (рис. 48). Очевидно, он сделан не с Земли, иначе тело планеты было бы таким же светлым, как кольца. В свое время астрономы далеко не сразу поняли, что кольцо не сплошное, а состоит из мелких частиц. А тут это видно именно сразу: будь оно сплошным, выглядело бы темным и не подсвечивало бы с боков планету рассеянным в нем светом Солнца. Самое внешнее кольцо явно иной природы, чем остальные, оно какое-то туманное. Так и есть – это шлейф из мелких водяных льдинок, тянущийся за спутником Сатурна Энцеладом по его орбите. Снимки и кинофильмы, переданные с «Кассини», показывают, как из трещин в ледяном панцире Энцелада бьют гейзеры. Энергия приливов, вызванных массивной планетой, разогревает спутник изнутри, и создает в жидком океане подо льдом условия для существования жизни. Недавно сообщалось, что «Кассини», взял пробу воды из гейзера и обнаружил в ней какую-то органику...

И вместо всего этого – бредовая “Антиземля” !

Сегодня так и тянет переиначить знаменитую строку *Маяковского*: если звезды ГАСЯТ, значит это кому-нибудь нужно. И повторить вслед за астрофотографом *Беном Каналесом*: «То, что мы сделали, больше, чем потеря звезд, мы потеряли себя».

Ну а те, кто все еще ценит непогашенные звезды, создают «парки темного неба» (зайдите на сайт: «dark sky parks»). Это места, обладающие экологическим, живописным, культурным и образовательным ресурсами, где низкое световое загрязнение стабилизировано и по возможности еще

снижается и где посетители в сопровождении гидов с лазерными указками совершают прогулки по небу. Неудивительно, что они возникают в уже существующих природных резерватах и вблизи обсерваторий.

В Букове, увы, световое загрязнение еще снижать и снижать. И горизонты наши высоки: «Кавказа отроги, плечами подпершие небо» (*Г. Табидзе*). Так что мы пока практикуем «астрономические тропы». Как и на экологической тропе – «станции»: первая – увидели звезды, следующая – увидели Млечный Путь, следующая – разглядели галактику Андромеды... Обсерваторию посещает 30-40 тысяч человек в год, но в основном днем, это туризм научно-просветительский: увидеть современный телескоп, пообщаться с наблюдающим на нем профессиональным астрономом.

А астрономический – выйти из башни БТА и, вдохновившись чудесным снимком Евгения Триско, подняться над ней по Млечному Пути. От звездного облака в Стрельце, которое Барнард сравнивал с «вздымающимися над горизонтом облаками летнего полудня, резкими со стороны Солнца и тающими в воздухе с обратной стороны». Для глаза облако белесое, а на снимке желтое: цифровая камера «вытягивает» цвет состарившихся звезд вблизи центра Галактики. Сам он - правее, за пылевой завесой. Вверх - к видимой простым глазом туманности Лагуна! Над ней - вытянутое под углом к галактическому экватору голубое облачко молодых звезд. Еще выше – звездное облако в Щите. От него входим в темную прогалину, своим сходством со струей дыма от костра ясно говорящую: тут не пустое пространство, а межзвездная пыль. И, наконец, с этой струей - правее Альтаира, между Стрелой и Альбирео - вплываем в Летний Треугольник...



EVGENY TRISKO

## ЧАСТЬ III. СПЕКТРЫ

Мы их уже использовали, но в суть их пока не вникали. А ведь именно спектры – основной язык, на котором говорят с нами звезды. И освоение “живого неба”, тем более в «Буковском варианте», естественно дополнить освоением “живых”, натуральных спектров. Тем более, что в учебнике STAR таких нет – только нарисованные от руки, приблизительные. Они напомнили подарок, который давным-давно сделала мне малолетняя дочка, насмотревшись на бумажные ленты у меня на столе: это было еще в докомпьютерную эпоху. Именно сделала, собственноручно. На клочке бумаги был “заборчик”, ломаная линия, проведенная без отрыва шариковой ручкой, и над ним печатными буквами: СПЕКТЫР. Я поблагодарил, но она все же поинтересовалась: «Он тебе пригодится?» Вот – пригодился...

### СТОИЛО ЛИ ИЗОБРЕТАТЬ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ?

А как же без него? Он широко используется в науке и технике, а в астрофизике и вовсе – основной инструмент. То есть, в терминах STAR, с ним физика с химией обрели новые корни, но также астрономические, поскольку тянутся они от спектра Солнца. Спектры обновили их. А астрофизика первоначально так и называлась: «новая астрономия».

Но вот три цитаты.

«Властелин колец» Толкина. Гэндальф рассказывает, как ему открылось предательство Сарумана:

« Я поглядел на него и увидел, что его одежды, показавшиеся мне поначалу белыми, сотканы из нитей всех цветов радуги... Глаз уставал удивляться множеству оттенков.

– Белый мне больше по душе, – сказал я.

– Белый! – фыркнул Саруман. – Белый хорош только в самом начале. Белое полотно можно выкрасить. Белую бумагу можно покрыть письменами. Белый луч преломляется и становится радугой даже в обыкновенной капле воды!

– Но он перестает быть белым, – пожал я плечами. – А кто ломает вещь, чтобы узнать, что она собой представляет, тот сошел с пути Мудрых.»

М.Волошин в поэме «Путями Каина» сопереживает муке этой “вещи” в руках естествоиспытателя:



«...Распялил луч в трехгранности стекла,  
Сквозь трещины распластанного спектра  
(вот и в STAR спектральные линии названы “зарубками”, notches.)  
Туманностей исследовал состав,  
Хвостов комет и бег миров в пространстве...»

Наконец, в «Приметах» Е.Баратынского дана решительная отповедь всему естествознанию:

«Пока человек естества не пытал  
Горнилом, весами и мерой,  
Но детски вещаньям природы внимал,  
Ловил ее знаменья с верой;  
Покуда природу любил он, она  
Любовью ему отвечала...»

Написанное в 1839 г., стихотворение тут же было высмеяно Белинским, но через пару лет объявился и более серьезный оппонент: Л.Фейербах именно естествознание определил как «любовь к Вселенной». А ее действенность тогда же была наглядно продемонстрирована: Струве и Бессель впервые измерили расстояния до звезд. И тут мы возвращаемся к Толкину. Дело в том, что оба их телескопа вышли из мастерских Фраунгофера, а он, хотя и прогонял свет через призму, но делал это, чтобы спасти его белизну, то есть оставался “на стороне Гэндальфа”. Это были одни из первых телескопов-«ахроматов»: в фокусе такого инструмента изображение звезды уже не переливалось (как одеяние Сарумана) всеми цветами радуги, Вега, например, оставалась такой же белой, как и при наблюдении ее простым глазом.

С тех пор мы научились ИЗМЕРЯТЬ также светимости, температуры, химсостав и прочие параметры звезд, – да, изламывая лучи в спектрографах, но НЕ ЛОМАЯ самих звезд...

### **ИЗ ИСТОРИИ СПЕКТРОСКОПА**

Для Сарумана белое – исходное сырье. Но частицы света, фотоны, белыми не бывают, все они цветные. Так что белый свет вовсе не сырье, а конечный продукт. Вот как об этом писал – с восторгом первооткрывателя (и вторя Гэндальфу!) – Ньютон: «Наиболее удивительная и чудесная смесь цветов –

белый цвет. Не существует такого сорта лучей, который в отдельности мог бы вызвать белый цвет: он всегда сложен, и для получения его требуются все цвета в правильных пропорциях».

“Спектроскоп” Ньютона крайне прост, но (забавно!) так же велик, как современные сложные спектрографы. Это была темная комната, в которой луч света, проникший сквозь малое отверстие в ставне, перехватывался стеклянной призмой и заканчивал свой путь от Солнца цветной полоской спектра на стене.

Природа белого цвета раскрылась ему, когда он ввел в пучок еще одну призму (где и как она размещалась, показывает рис. 49): «Я с удивлением наблюдал, как все призматические цвета, сходясь и смешиваясь так же, как в свете, который падает на призму, снова давали совершенно чистый и белый свет».



*Рис. 49. Синтез белого цвета.*

Ньютон стремился увеличить спектральное разрешение: использовал вместо Солнца Венеру, угловой диаметр которой на два порядка меньше солнечного, вместо круглого входного отверстия – вытянутое, вспомогательные линзы. И все же, как пишет автор монографии «Исаак

Ньютоном» С.И. Вавилов, «приходится удивляться, почему темные линии на солнечном спектре обнаружены впервые Волластоном и Фраунгофером в начале 19 в., а не Ньютоном в 17 в.?».

Эти линии по праву зовутся «фраунгоферовыми»: Волластон в 1802 г. лишь обратил на них внимание, а Йозеф Фраунгофер в 1814 г. изготовил первый атлас видимой части солнечного спектра с помощью первого щелевого спектроскопа. Он представлен на рис. 50 и напоминает необычно длинный штрих-код из 570 линий. Все они не что иное, как разведенные призмой изображения одной узкой щели в разных цветах. Относительные положения линий измерены точно, а их интенсивности оценены приблизительно.

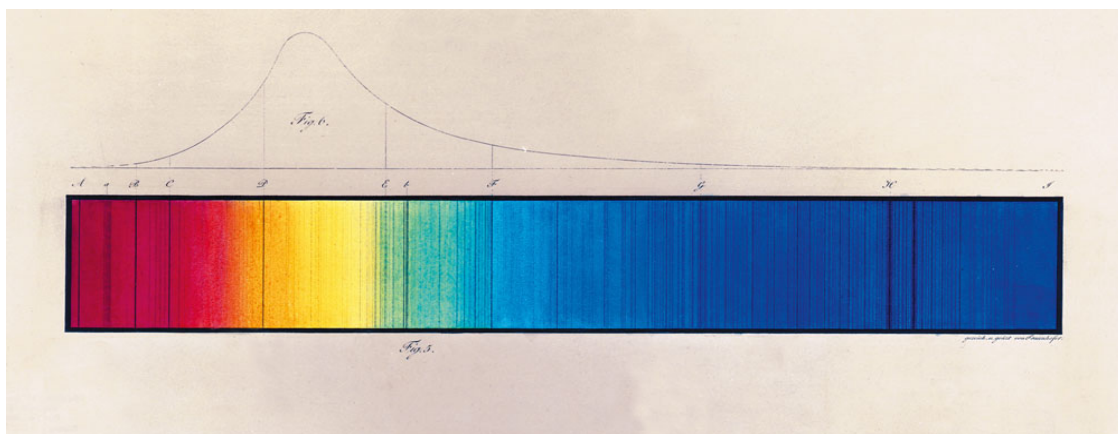


Рис. 50. Зарисовка спектра Солнца, сделанная Фраунгофером (вправо от линии H не помечена линия K).

К середине 19 в. спектроскоп принял окончательный вид, сохранившийся до наших дней. Рис. 51 показывает, каким он вышел из рук Г.Кирхгофа в 1859 г., а хорошее пояснение к нему находим в книжке Матвея Бронштейна «Солнечное вещество».

«Деревянная коробка из-под сигар, стеклянная призма и старая подзорная труба – вот из чего был сделан первый спектроскоп.

Трубу Кирхгоф распилит пополам и вставил обе половинки в смежные стенки сигарной коробки под углом одна к другой. Одну трубку он расположил так, чтобы она глядела стеклом в коробку, а пустым отверстием наружу. Это отверстие он прикрыл картонным кружком с узкой щелью...»

(Эта трубка – коллиматор: щель помещена в фокусе линзы, чтобы сделать падающие на призму лучи параллельными.)

«Через щель должны были проникать в коробку лучи. Там, внутри коробки, их встречала призма, которую Кирхгоф укрепил на вращающейся оси.

Пройдя сквозь призму, пучок лучей сворачивал в сторону и устремлялся в другую трубку широким разноцветным веером. Приложив глаз к этой трубке и медленно поворачивая призму вокруг оси, можно было рассмотреть весь спектр лучей, попавших в щель спектроскопа».

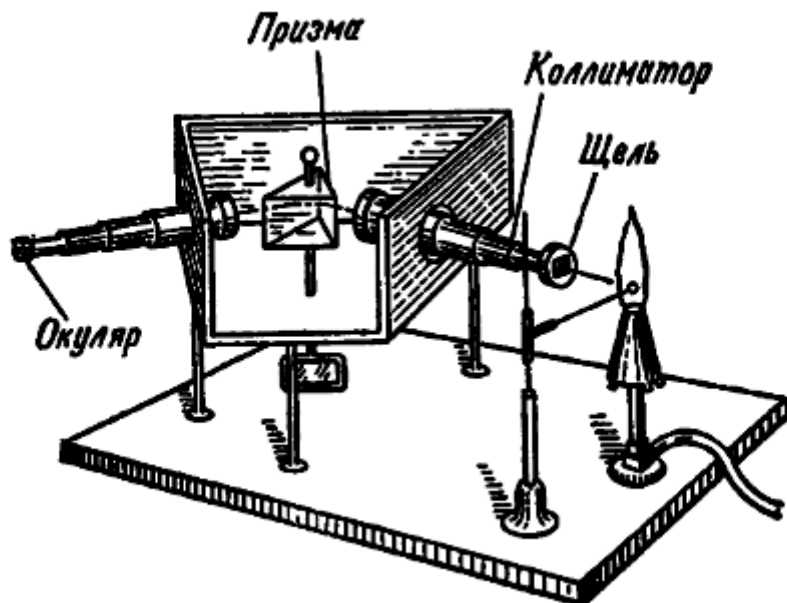
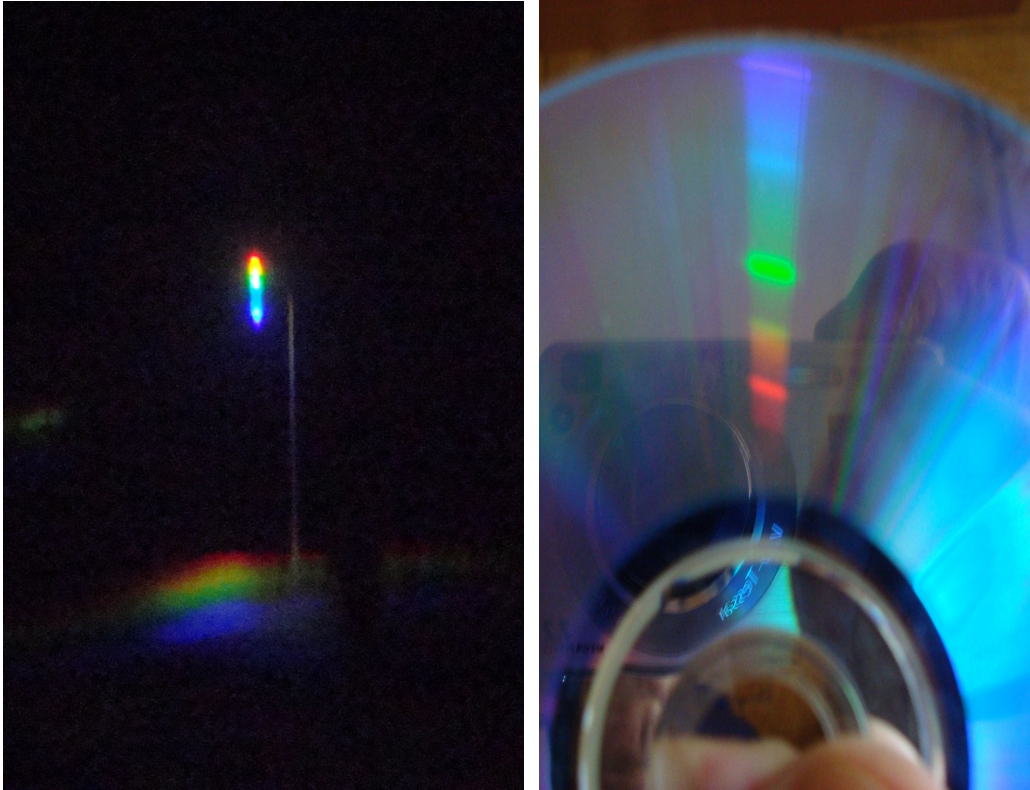


Рис. 51. Спектроскоп Кирхгофа и Бунзена.

### САМОДЕЛЬНЫЙ СПЕКТРОСКОП

Запрашиваю в интернете: «Спектроскоп своими руками», и с удивлением обнаруживаю, как много сегодня последователей Кирхгофа, любителей спектроскопии, использующих, как и он, подручные материалы. Идя в ногу с профессиональной спектроскопией, они отказались от призмы в пользу дифракционной решетки. Конечно, решетки, работающие в спектрографах БТА, им недоступны, любители удовлетворяются компакт-дисками.

Диск не только доступнее призмы, он дает более высокое спектральное разрешение. Сравните два спектра на рис. 52: слева снимок сквозь призму светодиодного фонаря, справа – отражения от компакт-диска трубки флуоресцентной лампы.



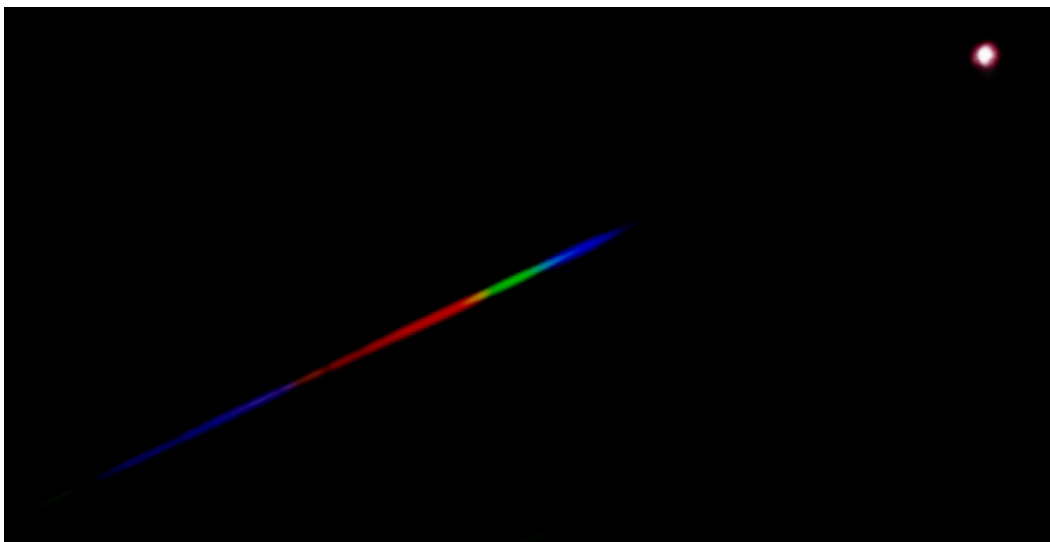
*Рис. 52. Фонарь сквозь призму (слева) и компакт-диск как дифракционная решетка.*

Последний снимок поясняет, как диск может служить спектроскопом даже без щели и линз. Достаточно поймать в него, как в зеркало, источник света (нулевой порядок) и, медленно наклоняя, увидеть 1-й, а затем и 2-й порядки его спектра. Важно только по возможности уменьшить угловой размер светящего тела (и тем самым повысить спектральное разрешение), – частично перекрыть его, наблюдать его отражение в маленьком зеркале, или просто удалиться от него, а в случае Солнца и других слишком ярких источников использовать их отражения от выпуклых гладких поверхностей.

У любителей в ходу также и прозрачные решетки. Цифровая камера с такой решеткой на объективе – это уже не спектроскоп, а спектрограф. Камера к тому же позволяет увидеть то, что глазу недоступно, – благодаря более высокой чувствительности и более широкому спектральному диапазону ее матрицы ПЗС.

На рис. 53 взятый из интернета пример любительской спектрограммы. Влево вниз от яркой звезды вытянулся 1-й порядок ее спектра (синий конец на 350 нм, красный – на 690 нм). Низкое спектральное разрешение не дает

рассмотреть ни одной звездной линии поглощения. Единственная заметная “трещина” (или “зарубка”) на 678 нм – голова полосы атмосферного кислорода (линия В в атласе Фраунгофера, рис. 50). Сразу за ней красная часть 1-го порядка перекрывается с синей частью 2-го порядка. Дело в том, что в отличие от призмы дифракционная решетка “реагирует” не на длину волны, а на произведение длины волны на спектральный порядок,  $\lambda \times n$ . В нашем случае: 710 нм = 2 x 355 нм.



*Рис. 53. Снимок звезды сквозь прозрачную дифракционную решетку.*

Самодельный спектроскоп (вслед за самодельным телескопом) предусмотрен и программой STAR. Его устройство поясняет рис. 54. Это коробка из черного картона – миниатюрная темная комнатка. В круглое окошко вставлены линза и прозрачная решетка. Заглянув в него, можно увидеть щель в белом свете (0-м порядке) и растянутую в спектр 1-го порядка на фоне шкалы, оцифрованной в длинах волн (нм) и энергиях фотонов (eV). Темная пластиковая лента с прозрачными щелью и шкалой врезана по дуге в дно и крышку коробки. В стенках вырезаны окошки для освещения щели и подсветки шкалы. Ученик приводит спектроскоп в положение, показанное на рис. 54 (свет падает сквозь щель на решетку, полоска спектра проектируется на шкалу), рассматривает спектр и воспроизводит его на бумажной копии шкалы. На рис. 55 приведен образец – зарисовка спектра флуоресцентной лампы.

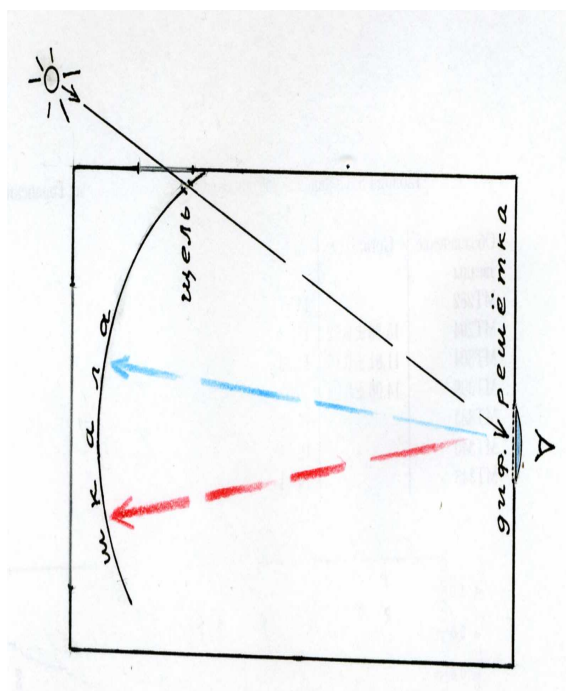


Рис. 54. Схема спектрографа STAR, вид сверху.

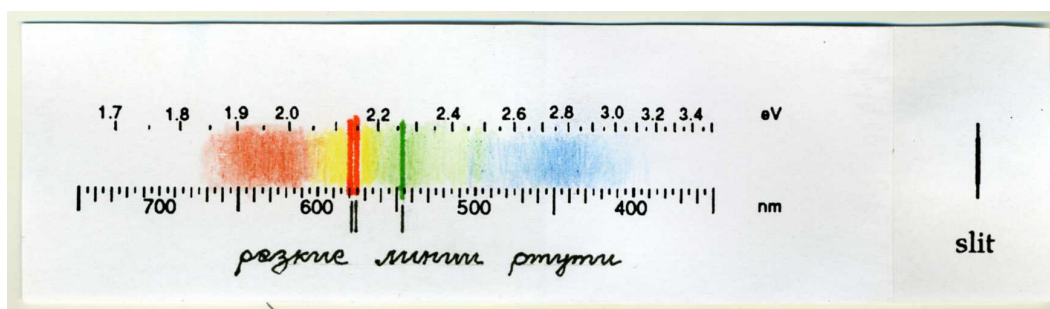


Рис. 55. Зарисовка спектра флуоресцентной лампы, видимого в спектрокоп.

## СПЕКТРАЛЬНОЕ РАЗРЕШЕНИЕ

Угловое разрешение мы обсуждали в ч. II, находили его предел для нашего глаза по минимальному расстоянию между сходящимися полосками «измерителя зоркости» (рис. 25). Теперь обратимся к разрешению спектральному. Это характеристика спектрографа или спектрографа, а предел разрешения – то минимальное расстояние (по шкале длин волн,  $\Delta\lambda$ ) между двумя соседними линиями, которые он позволяет различить

отдельно. Важное пояснение: имеются в виду линии настолько узкие, чтобы их можно было считать просто изображениями щели.

Предел разрешения спектрографа STAR можно оценить с помощью бытовой флуоресцентной лампы. Кроме широких цветных полос в ее спектре есть узкие линии ртути (рис. 55), на глаз они не шире щели. Две из них, желтые, отчетливо разделенные линии, раздвинуты на 2 нм. Полагая, что сблизившись вдвое, они бы еще не слились, примем:  $\Delta\lambda \sim 1$  нм.

Упр. 28. Попрактикуемся еще в оценке пределов спектрального разрешения по спектру Солнца.

Чтобы его увидеть с помощью спектрографа STAR, рекомендуется навести щель, – конечно, не на само Солнце, а на яркий участок неба. Подойдет и освещенная Солнцем белая стена. Но, в отличие от линий излучения в спектрах ламп “дневного света” или фонарей, линии поглощения в солнечном спектре разглядеть нелегко. Поневоле вспомнишь еще одно значение латинского spectrum – «призрак». На ярком фоне непрерывного спектра едва заметны как раз те детали, которые Фраунгофер пометил буквами (рис. 50).

Сравним то, что позволяет увидеть дифракционный спектрограф STAR, с тем, что увидел Фраунгофер с помощью призменного спектрографа. Но сначала внимательно рассмотрим сделанную им зарисовку (рис. 50). Нам будет полезна табличка отождествлений и длин волн (округленных до ангстремов) помеченных деталей.

---

B	O <sub>2</sub>	6869 Å
C	H $\alpha$	6563 Å
D	Na I	5890 и 5896 ÅÅ
E	Fe I	5270: Å
b	Mg I	5167, 5173 и 5184 ÅÅ
F	H $\beta$	4861 Å
G	Fe I и др., слившиеся в полосу	4308: Å
H	Ca II	3968 Å
K	Ca II	3964 Å

---



Можно построить «дисперсионную кривую» – зависимость положения детали от длины волны. Но и непосредственно видно, что «дисперсия» (рассеяние, разведение) в красной части спектра меньше, чем в синей: синие лучи не только преломляются, но и разводятся призмой сильнее. Расстояние на рисунке между В и С ненамного больше, чем между Н и К, но сравните, по табличке, насколько отличаются их длины волн! Между компонентами дублета Na I 6 А, и они сливаются (как и в спектре STAR!) в деталь D, а слабые линии между Н и К, отстоящие друг от друга на 5 А, отчетливо разделены. Предел разрешения в спектре Фраунгофера снижается от красного конца к синему в 6 раз, а в спектре STAR остается постоянным. Поэтому триплет Mg I (маленькая b между E и F) на рис. 50 уже разрешен, а в спектре STAR выглядит как одиночная линия.

И “на десерт” – солнечный спектр высокого разрешения (рис. 56). Он разбит на участки, которые размещены один под другим, как строчки на этой странице. Сориентироваться в нем поможет цвет. Вверху, на красной полоске, – линия H $\alpha$ , ниже, на желтой полоске, – пара линий Na I, на зеленой – тройка линий Mg I. Длина волны резко нарастает снизу вверх и медленно вдоль полосок слева направо. Полоски – это спектральные порядки, в которых работает основная решетка спектрографа. Они необычно высоки: тот, в котором триплет Mg I, – 96-й, ниже его 97-й порядок и т.д. Разводит их по вертикали вспомогательная решетка, работающая в 1-м порядке.

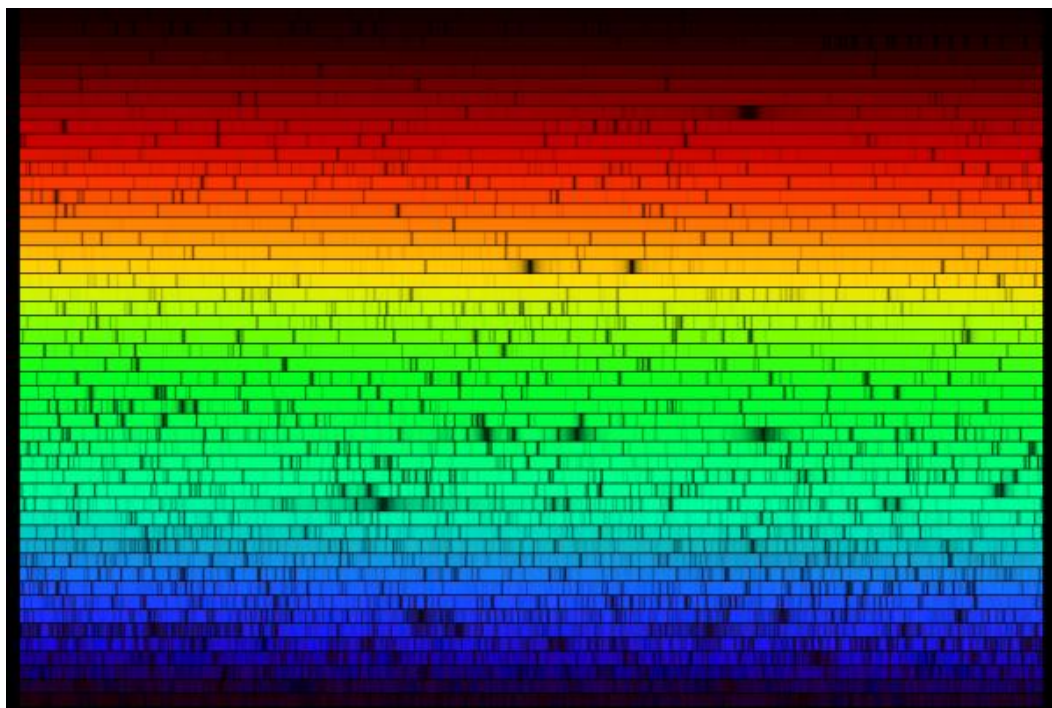


Рис. 56. Солнечный спектр при высоком разрешении.

Поскольку предел разрешения обратно пропорционален порядку, здесь он может быть в 100 раз ниже, чем в спектре STAR. Проверьте это с помощью рис. 57, на котором фрагмент 96-го порядка представлен графически как зависимость интенсивности от длины волны. Кроме двух сильных линий магния, в него попадают узкие линии железа, титана, хрома и никеля.

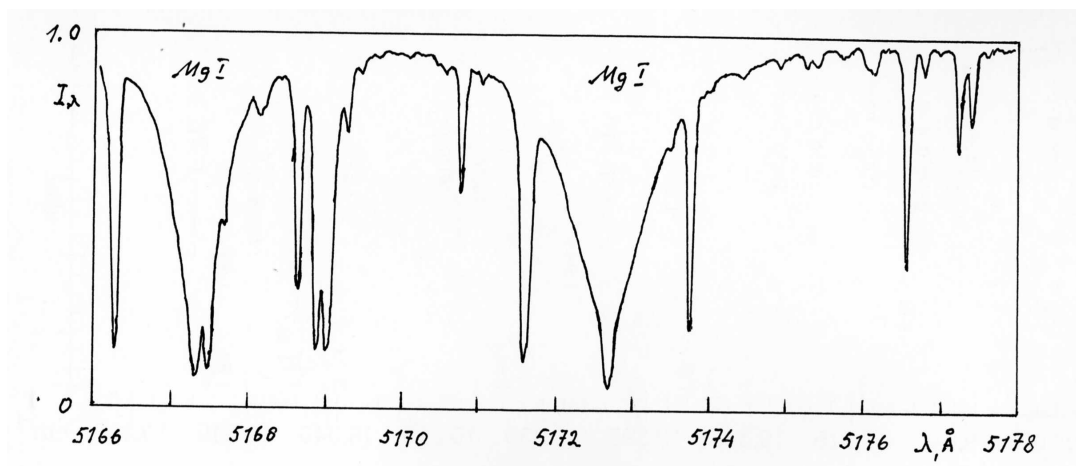


Рис. 57. Участок спектра Солнца в районе зеленых линий магния.

## ЦВЕТНЫЕ ЛАМПЫ, ЗВЕЗДЫ И ТУМАННОСТИ

“Спектральный” раздел программы STAR почти полностью повторяет оптические опыты Ньютона. Только вместо призмы используют прозрачную дифракционную решетку, и разноцветные лучи сводят зеркальцами. У Ньютона читаем: «...Сложная смесь лучей кажется белой, когда ингредиенты находятся в правильной пропорции; если, однако, имеет преимущество один цвет, то свет склоняется в сторону соответствующей окраски, как, например, в синем пламени серы, желтом пламени свечи и в различных окрасках неподвижных звезд». В STAR единственное упражнение все же посвящено фраунгоферовым линиям, но все остальные – непрерывным спектрам: описанию и измерению цветов.

Придуман даже специальный прибор – “колорометр”. Рис. 58 поясняет его устройство и процедуру измерения. Заметно сходство “колорометра” со знакомым нам “нулевым” фотометром (рис. 40), только вместо двух в нем десяток парафиновых блоков и освещаются они не с боков, а с торцов. На цепочку торцов проектируется полоска спектра лампы накаливания из “спектропроектора”. Это обычный диапроектор, оснащенный прозрачной дифракционной решеткой на объективе. Штрихи решетки вертикальны, как и нить накаливания лампы. Высота изображения нити подогнана под высоту парафиновых блоков.



Схема измерения – на рис. 59. На столе две светящиеся лампочки по 100 Вт каждая. По соединяющей их прямой длиной 100 см перемещается “нулевой” фотометр, одна из сторон которого перекрыта светофильтром. Используются синее стекло СС8 и красное стекло КС13 с известными спектральными кривыми пропускания. Чтобы уравнять освещенности половинок фотометра, пришлось его придвинуть к левой лампочке – с синим фильтром на 28 см, с красным фильтром на 45 см.

Из соотношений:

$$X / 28^2 = 100 / 72^2 \quad \text{и} \quad X / 45^2 = 100 / 55^2$$

следует, что синий фильтр пропускает около 15% видимого излучения лампочки, а красный – около 67%.

Проконтролируем результат по рис. 60. На нем представлена “правильная” (полученная с помощью фотоэлектрического светоприемника с учетом его спектральной чувствительности) кривая распределение энергии в спектре лампы накаливания и полосы пропускания стекол СС8 ( $\lambda < 500$  нм) и КС13 ( $\lambda > 620$  нм). Налицо качественное сходство. Его можно еще улучшить, приняв во внимание, что в условиях опыта синий цвет воспринимался глазом хуже, чем красный, а область спектра вправо от вершины кривой, инфракрасная, вообще недоступна глазу.

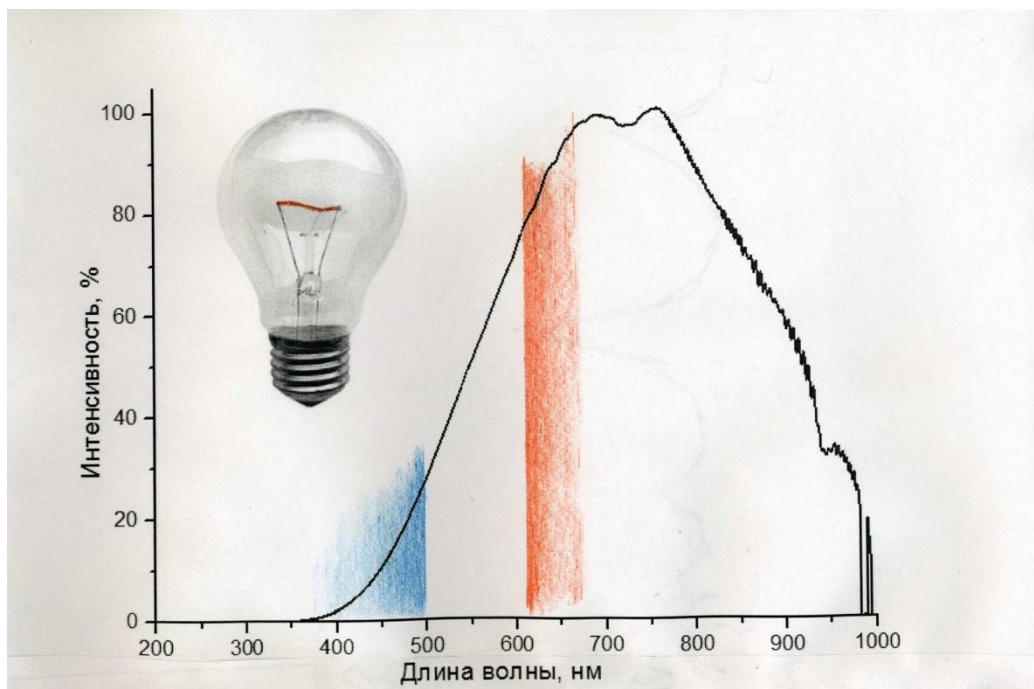


Рис. 60. Распределение энергии в спектре лампы и области пропускания светофильтров.

Говоря словами Ньютона, свет лампы накаливания «склоняется к красному». Вспомните, как в упр. 24 мы с удивлением обнаружили, что лампа краснее Солнца! Так и есть, по цвету она ближе к красным звездам. Таким, например, как красные сверхгиганты скопления NGC 884 (Жи Персея). Это видно непосредственно на цветном снимке скопления (рис. 61) и по кривой распределения энергии (рис. 62).



*Рис. 61. Двойное звездное скопление в Персее.*

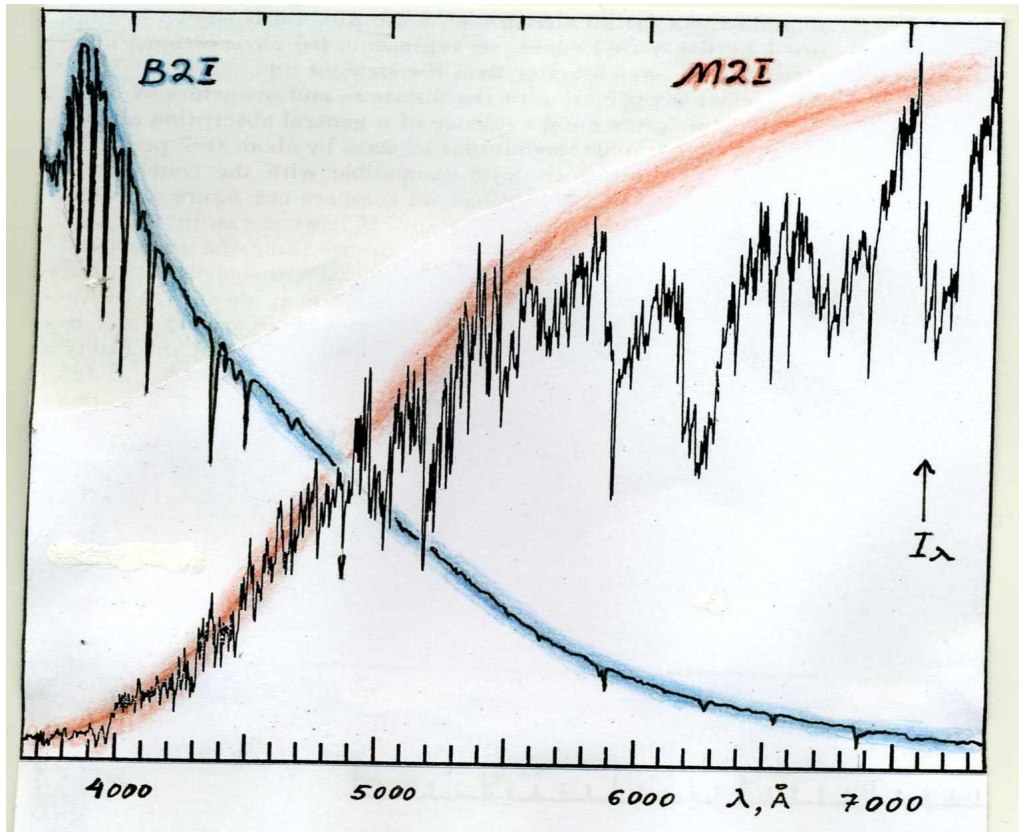


Рис. 62. Распределение энергии в спектрах голубой и красной звезд-сверхгигантов.

Такая кривая приведена на рис. 62 также и для одного из голубых сверхгигантов, которых в скоплении гораздо больше, чем красных. Налицо пик в синей части спектра, однако на снимке звезды выглядят скорее белыми, чем голубыми. Виновата межзвездная пыль, она лучше рассеивает синие лучи и тем «склоняет свет к красному», и ее много на долгом пути света от скопления (длиной 7 тысяч св. лет вблизи плоскости Галактики, к которой концентрируется пыль). Звезды Ориона на рис. 18 выглядят синее: они раз в 10 ближе, а от плоскости Галактики дальше.

Сами же пылевые туманности, если по соседству с ними есть яркие звезды, выглядят синими – как на цветном снимке Ориона (рис. 18). Поскольку спектр звезд непрерывный, таким же должен быть и спектр пылевых туманностей, только «склоненным к синему».

Не так просто обстоит дело с цветом газовых туманностей. Они самосветящиеся, их нагретый разреженный газ светит в отдельных линиях (как в газосветных лампах). В видимой области спектра самые яркие из них: красная линия водорода  $H\alpha$  ( $\lambda = 656$  нм) и пара линий кислорода в синезеленой области спектра (средняя  $\lambda \sim 500$  нм). На рис. 18 Петля Барнарда, туманность Ориона и ряд других красные: видимо, матрица фотокамеры

“красночувствительная”. В. Лассель полтора года лет назад с помощью телескопа впервые распознал цвет туманности Ориона, она показалась ему «горохово-зеленой» (pea-green). Мне довелось полюбоваться ею в наш телескоп БТА при фотографировании ее спектра – цвет был отчетливо голубой. Дело, может быть, в том, что у Ласселя был телескоп с бронзовым зеркалом, а зеркало БТА покрыто алюминием. То есть по цвету газовая туманность может приблизиться к красной или к голубой звезде. Только вот зеленых звезд не бывает...

### **Упр. 30.** “Проходимец” натрий.

Так его обозвали первые спектроскописты. Натрий был их мукой: пара его желто-оранжевых линий “проникала” чуть ли не в каждый спектр. Достаточно было просто приблизить ладонь к горелке Бунзена – ее пламя оставалось бесцветным, но нескольких молекул соли, попавших в него с потом, хватало, чтобы натрий “отметился” в спектре.

Вводный вопрос: можно ли, выделив часть спектра Солнца с темными линиями натрия, получить тот же цвет, что дает пара его ярких линий?

Вместо горелки Бунзена нам сойдет горелка газовой плиты, «городской василек» у А. Вознесенского.

– Бросьте в нее крупинку белой соли, и над ней вспыхнет яркое оранжевое облако.

– Убедитесь, что и без вашего вмешательства время от времени отдельные “лепестки” вспыхивают оранжевым: ничтожные частицы соли “носятся в воздухе” кухни.

– Растворите немного соли в стакане воды и, обмакнув в нее острый (и чистый!) кончик ножа или длинного гвоздя, введите его в один из “лепестков”. Он вновь окрасится в оранжевый цвет. Разбавляйте раствор чистой водой и следите, ослабевает ли при этом оранжевое свечение.

– Убедитесь в том, что свечение сосредоточено в паре близких линий (в видимой части спектра натрия есть еще несколько линий, но они намного слабее). Щелевой спектроскоп STAR подходит для этого лучше, но можно обойтись и компакт-диском.

– Чтобы проверить свой ответ на вводный вопрос, посмотрите в окно сквозь оранжевое стекло или даже сквозь белую бумагу, выкрашенную с одной стороны оранжевым фломастером. Спектральный интервал расширился, но сильно ли изменился цвет?

Полтора века назад Бунзен, оснащенный натрием, попробовал расширить “цветовую диагностику” на другие элементы, но вскоре был

обескуражен: некоторые заведомо разные вещества окрашивают пламя в столь близкие цвета, что глаз их не различает. Помогая глазу цветными стеклами и растворами, он немного продвинулся вперед, но вновь оказался в тупике, из которого вывел только спектроскоп Кирхгофа. С тех пор химикам нет нужды в одноцветных сигналах, которые подаются из огня исследуемые вещества. Многоцветные наборы спектральных линий сложнее, но надежнее.

Астрономы, исследуя газовые туманности, тоже не пользуются цветами, а при изучении звезд не могут без них обойтись: у каждой свой «показатель цвета» (CI, color index), величина межзвездного покраснения – избыток цвета (CE, color excess). Но основную информацию извлекают все-таки из спектральных линий. Чтобы отстраниться от цвета, будем в дальнейшем использовать черно-белыми графиками зависимостей от длины волны остаточной интенсивности (выраженной в долях интенсивности непрерывного спектра).

Каждая линия характеризуется прежде всего положением в спектре, то есть длиной волны,  $\lambda$ , и интенсивностью. Поэтому и мы начнем с положения. Пара линий натрия и соседняя с ними линия гелия по цвету неразличимы. Но первые образуются как в звездных атмосферах, так и в холодном межзвездном газе, а последняя – только в горячем газе звезд и светлых туманностей.

### **Упр. 31.** Натрий или гелий?

В отчете о спектральном наблюдении солнечного затмения 18 августа 1868 г. Жансен пишет: «Все мое внимание было направлено на линию C (т.е.  $\text{H}\alpha$ ), яркую в протуберанце, точно на продолжении темной линии C солнечного спектра». Можно ли сказать то же о замеченной им яркой желтой линии? Не могла ли она быть приписана натрию?

Рис. 63, поможет нам представить то, что увидел Жансен в свой спектроскоп.



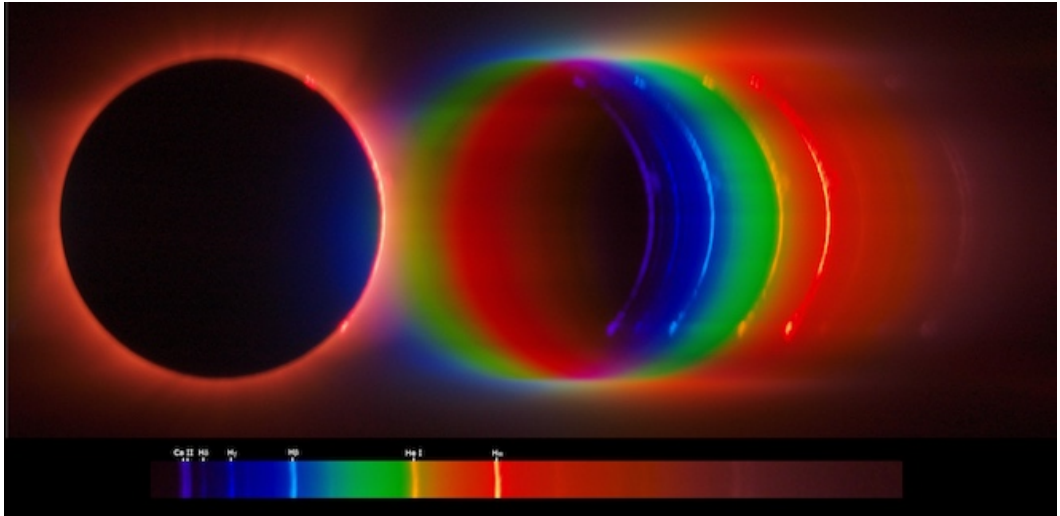


Рис. 63. Спектр хромосферы Солнца.

– Дополните таблицу из упр. 28 еще одной строкой:

He I      5876 Å,

– постройте дисперсионную кривую и

– оцените по ней предел спектрального разрешения.

Позволяет ли он отличить линию гелия от линий натрия?

– Найдите в солнечном спектре (на рис. 56) положение линии гелия (левее линий натрия).

Отмечено ли оно сильной линией поглощения?

Как видно из рис. 63 и дисперсионной кривой к нему, в спектре хромосферы линий нейтрального натрия нет: слишком жарко, он ионизован. В 1895 г., когда гелий уже был получен на Земле, Рамзай специально подкладывал в разрядную трубку натрия, чтобы продемонстрировать несовпадение его ярких линий с яркой линией гелия.

## ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ

Линия остается на своей «лабораторной» длине волны только до тех пор, пока источник света неподвижен относительно наблюдателя. При их взаимном сближении или удалении она смещается, соответственно в синюю или красную сторону. Величина сдвига определяется по формуле Доплера, которой мы уже пользовались. Напомним только, что величина  $V_r$  в ней – лучевая скорость, проекция пространственной скорости на луч

зрения. Рассмотрим применение эффекта Доплера к знакомым нам объектам.

### Кольца Сатурна.

Снимок в контровом свете (рис. 48) прямо показывает, что они “раскрошены” на мелкие частицы, скорее всего льдинки. Но чтобы его получить, надо было отправить к Сатурну космический аппарат. А веком раньше Джеймс Килер получил – с Земли – «спектроскопическое доказательство метеорного устройства колец Сатурна». Оно приведено на рис. 64.

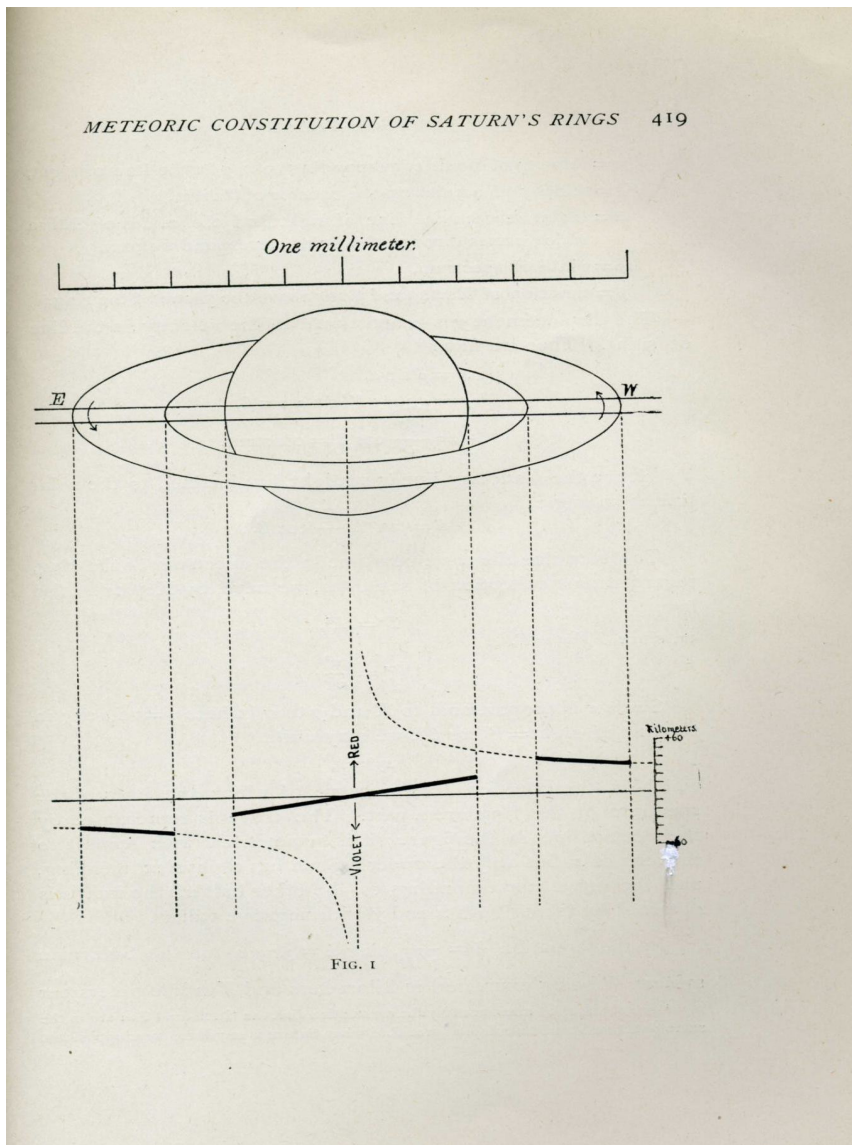


Рис. 64. Рисунок из статьи Д. Килера.

Верхний фрагмент показывает, какие части изображения, построенного телескопом, попадают в щель спектрографа. Продолжите ее мысленно влево и вправо (за буквы E и W),— эти два участка щели освещались Луной. Она, как и Сатурн с его кольцами, светит отраженным светом Солнца, что обеспечивает удобный спектр сравнения. Относительно его прямых линий наклон линий в спектре Сатурна и колец был виден непосредственно на спектрограмме, а измеренный и выраженный в километрах в секунду приведен внизу рисунка.

Внимательно сопоставьте нижний фрагмент рисунка с верхним. Убедитесь, что перед вами свидетельство осевого вращения самой планеты и движения вокруг нее частиц колец по индивидуальным круговым орбитам. Наблюдаемое убывание скорости в кольце с удалением от центра Сатурна точно следует предсказанному законами небесной механики.

Можно согласиться с автором, что его результат «красиво иллюстрирует плодотворность принципа Доплера и ценность спектроскопа для измерения движения небесных тел».

#### **41-я Дракона.**

Вернувшись к упр. 16, вспомним, что это двойная звезда, компоненты которой не расходятся на небе больше, чем на 0."12. Установить это удалось лишь недавно, с появлением тонкого метода спекл-интерферометрии. Выявить движения по лучу зрения было проще – по спектру пары. Именно по единому спектру обоих компонентов, которые со дна воздушного океана неразличимы.

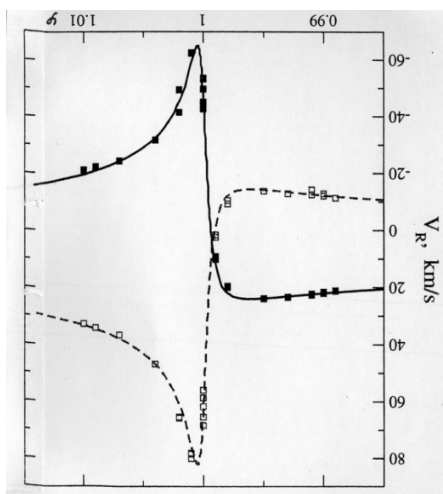
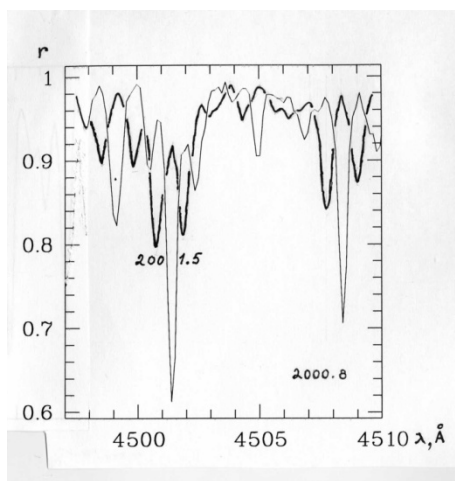


Рис. 65. Слева: участок спектра 41-й Дракона. В 2000 г. линии одиночные, в 2001 г. раздвоенные. Справа: кривые лучевых скоростей компонентов пары 41 Дракона.

Малый участок этого спектра представлен на рис. 65 слева. В сентябре 2000 г. звезды двигались поперек луча зрения – линии в их спектрах совмещены. В июне 2001 г. они раздвинуты: одна из звезд движется к нам, другая от нас, и линии смещены в синюю и красную стороны соответственно. Интенсивности (глубины) линий компонентов близки, значит, близки и яркости звезд. Впрочем, это было видно еще из рис. 26. Поэтому не удивительно, что хорошо прорисованы обе кривые на правом фрагменте рис. 65. Это зависимости лучевой скорости от фазы орбитального движения. Период обращения звезд около 3.4 года, так что показан лишь интервал времени немногим больший месяца, когда они набирают максимальные скорости, летя навстречу друг другу к общему центру масс. На других участках очень вытянутых орбит звезды движутся намного медленнее.

Каким фазам кривых лучевых скоростей могут соответствовать показанные спектры?

Как нужно повернуть к лучу зрения плоскость и общую ось орбит, чтобы получить правый фрагмент рис. 65?

## Гравитационная линза.

Вернемся к рис. 37: оранжевое пятнышко в голубом кольце диаметром около  $10''$ . Галактики, удаленные на миллиарды световых лет. Света мало, даже с БТА его хватает только на спектры низкого разрешения (рис. 66). Они довольно невзрачны, но наклоны кривых соответствуют цветам, и наиболее сильные линии проступают из шумов. В спектре центрального пятна это дублет ионизованного кальция (лабораторные длины волн: 3934 и 3968 АА), в спектре кольца – линия трижды ионизованного углерода (1549 А). Большие красные смещения линий очевидны. По закону Хаббла отношение смещения к исходной длине волны ( $z = \Delta\lambda / \lambda_0$ ) тем больше, чем дальше галактика.

Оцените  $z$  по обоим спектрам и убедитесь, что оранжевая галактика ближе голубой.

Обратите внимание: простая формула Доплера ( $z = Vr/c$ ) в данном примере перестает работать. Ей можно пользоваться, пока  $z$  не превышает 0.1. Для ближней галактики она заметно завышает лучевую скорость, а для дальней приводит к абсурду: ее скорость больше скорости света!

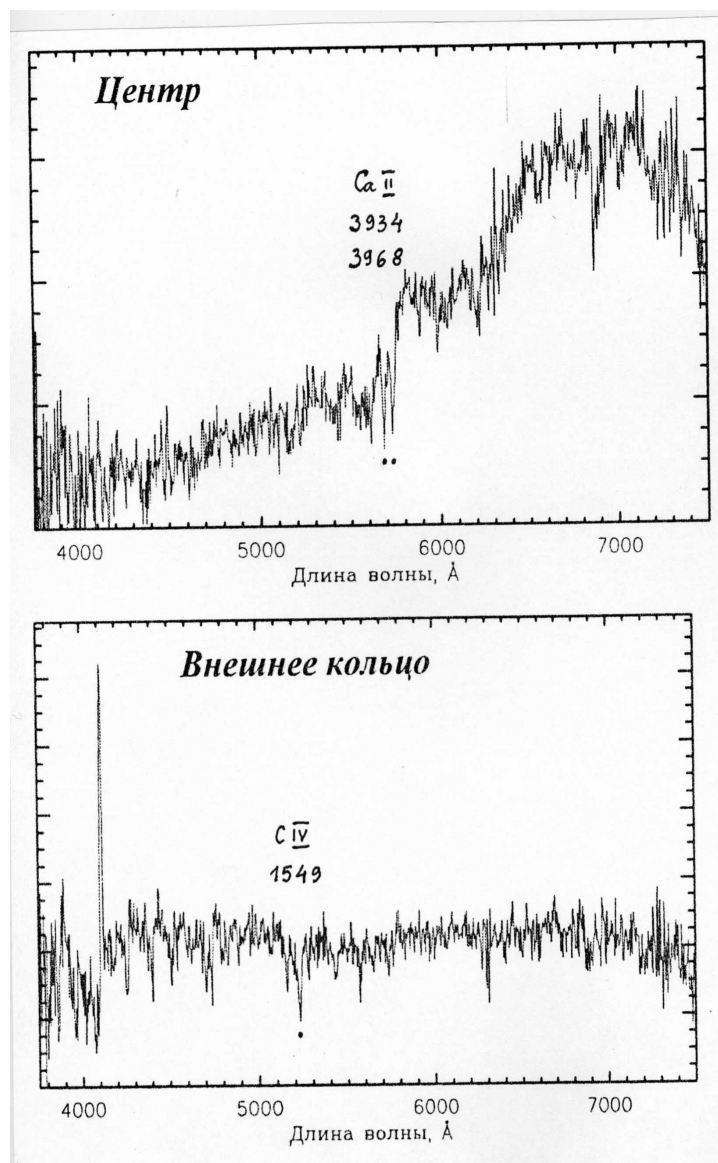


Рис. 66. Спектры центра и кольца гравитационной линзы (рис. 37).

### ИЗ ИСТОРИИ СПЕКТРАЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

В 1859 г. После опытов с горелкой Кирхгоф впустил в лабораторию солнечный луч. «Раньше, чем он попадал в щель, я пропустил его через сильное пламя с поваренной солью. Когда солнечный свет был достаточно ослаблен, то на месте двух темных линий D появились две светлые; но когда интенсивность солнечного спектра превысила известную границу, темные линии выступили гораздо отчетливее, чем без пламени поваренной соли.» Стало ясно, что «темные линии солнечного спектра возникают

вследствие присутствия в раскаленной атмосфере Солнца тех веществ, которые в спектре пламени дают на тех же местах светлые линии.»

Чтобы распространить этот вывод на звезды, потребовалось вынести спектроскоп из лаборатории и совместить его щель с фокусом телескопа. Это сделали сразу несколько астрономов, но пионером классификации звездных спектров стал Анджело Секки. С 1862 по 1867 г.г. он описал спектры 4000 звезд. Большинство из них до него никто не видел. Да и он бы не увидел, если бы не нашел способ повысить светосилу своего инструмента. Света, собранного 24-сантиметровым объективом его телескопа, хватало, чтобы увидеть в спектроскоп спектры немногих ярких звезд. Спектры остальных звезд Секки рассматривал непосредственно в окуляр телескопа – с призмой перед его объективом! Поскольку лучи, идущие от звезды, и так уже параллельны, без коллиматора можно было обойтись, а большое фокусное расстояние телескопа (4.3 м) компенсировалось малым преломляющим углом призмы (всего 12°).

Трогательная сцена прощания престарелого Секки со своим телескопом нарисована Арсением Тарковским:

... От мерцовского экваториала

Он старых рук не властен оторвать;

Урания не станет, как бывало,

В пустынной этой башне пировать...

Секки свел все виденные им спектры к пяти четко различимым типам, причем 90% он отнес к первым двум. Ими мы и ограничимся. Телескоп позволял хорошо различать цвета звезд, они дополняют определения спектральных типов.

### **Спектральные типы по Секки:**

I. Белые звезды, подобные Сириусу, Веге. В спектрах 4 воспринимаемые глазом темные линии водорода, от H $\alpha$  до H $\delta$ .

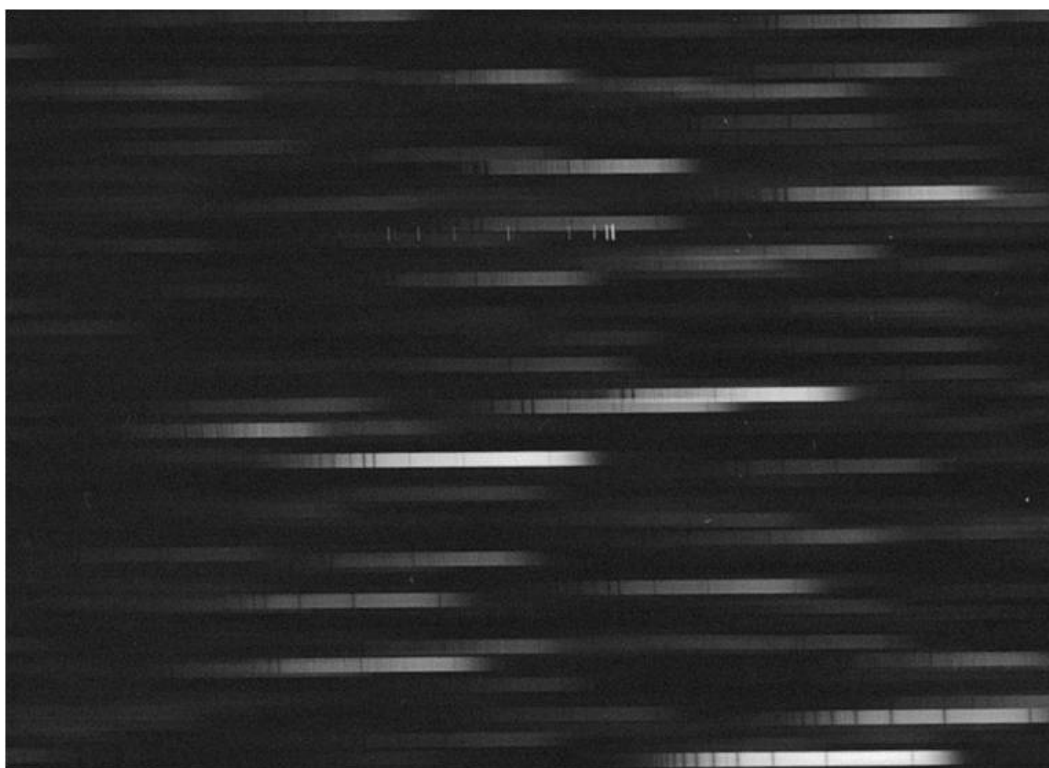
II. Желтые звезды (Солнце, Капелла, Арктур) с многочисленными темными линиями металлов в спектрах.

Разработка более детальной классификации была начата двадцать лет спустя сотрудниками Гарвардской обсерватории под руководством ее директора Э. Пикеринга.

В обсерватории имелся телескоп, почти такой же, как у Секки (28 см:3.8 м), но он поначалу не использовался. Фотография уже пришла в астрономию, и Пикеринг приобрел две салонных фотокамеры. Их оснастили призмами с

углом преломления  $13^\circ$ , снабдили экваториальными монтировками и, чтобы охватить фотографированием все небо, одну оставили в Гарварде, а другую отправили в Перу. Диаметр объектива каждой из камер, 20 см, немногим меньше, чем у телескопа, но фокусное расстояние меньше почти в 4 раза – 114 см, а хорошее поле зрения намного больше – 5 градусов. За одну экспозицию можно было получить спектры сотни звезд.

В те же годы на западном побережье США Э. Барнард также применил портретную камеру для фотографирования неба (ч. II. В летнем треугольнике). Он получал снимки Млечного Пути и описывал их в одиночку. А в Гарварде был запущен конвейер с разделением труда. Пикеринг считал, что астроному нечего делать ночью у телескопа: работа не творческая, с ней справится лаборант, а он, хорошо выспавшись, утром найдет на своем рабочем столе только что проявленную пластинку и на свежую голову углубится в ее исследование.



*Рис. 67. Спектры звезд, полученные с объективной призмой.*

Как такая пластинка выглядела, показывает рис. 67. Точнее, это позитивный отпечаток с нее: линии поглощения темные. Астрономы-то работают с оригинальными негативами. Вместо звезд – полоски их спектров. Дисперсию призмы направляют по склонению (полоски растянуты в длину с севера на юг), чтобы иметь возможность расширять спектры поперек дисперсии небольшим расстройством часового механизма. Чем шире



спектры, тем лучше различимы в них линии, но, к сожалению, тем сильнее они перекрываются.

Использованная фотоэмульсия чувствительна только к синей части спектра. У нижней границы снимка – два спектра типа I по Секки. Цепочки линий водорода в них справа обрывается на H $\beta$ , зато слева дотягиваются до невидимой глазом ультрафиолетовой линии H11 ( $\lambda = 3771 \text{ \AA}$ ). В центре снимка выделяется спектр, который Секки отнес бы к типу II. Большая его часть передержана и кажется лишенной линий, а на синем краю резко выделяется пара линий Ca II. Есть на снимке (выше центра) и представитель типа V, к которому Секки отнес очень немногие объекты со светлыми линиями в спектрах. Длины волн двух самых ярких линий (вправо от H $\beta$ ): 4959 и 5007 \AA. Открытые в спектре планетарной туманности, они поначалу были приписаны неизвестному на Земле элементу «небулию». Давно уже выяснено, что принадлежат они дважды ионизованному кислороду, но название «небулярные» за ними сохранено.

Небулярная линия – это растянутое по вертикали изображение слабой звезды. Значит, по ее ширине можно оценить площадь изображения звезды, чтобы сравнить ее с площадью полоски спектра и узнать, насколько прямой снимок “глубже” снимка, полученного сквозь призму.

### **Развитие Гарвардской классификации**

Ее первая версия была разработана бригадой женщин-астрономов и тут же применена ими для создания Дрэперовского каталога, DC (см. таблицу). Гарвардские спектральные обзоры посвящены памяти Генри Дрэпера: он первым добился успеха в фотографировании спектров звезд, кроме того работа финансировалась из фонда его имени и даже выполнялась частично на его инструментах.

Эту версию можно считать развернутым вариантом классификации Секки: первый его тип разделен на 4 класса, второй – на 7. Всего классов 16, они обозначены заглавными буквами латинского алфавита (1-я и 2-я колонки таблицы). Сохранен и “ботанический” подход Секки: крестоцветные – 4 лепестка, розоцветные – 5 лепестков, но не 4.2 или 4.7! Классы не связаны в одномерную последовательность.

Определение класса A практически то же, что у типа I – в спектре только линии водорода.

В классе B они дополнены более слабыми линиями, которые несколько лет оставались «орионовыми» (т.е. характерными для голубых звезд Ориона), до тех пор, пока не выяснилось, что большинство из них принадлежит гелию.

Именно об этих линиях шла речь в упоминавшейся книжке «Солнечное вещество» М. Бронштейна: «они не были замечены астрономами потому, что в спектре солнечных выступов они горят недостаточно ярко». Да нет же, были замечены! Только не солнечниками, а звездниками, как линии поглощения.

---

Секки	DC	А. Мори	А. Кэннон
1868 г.	1890 г.	1897 г.	1901 г.
4000 зв.	10 351 зв.	681 зв.	1122 зв.

---

I	A	I	O9
	B	II	B0
	C	III	B2
	D	IV	B3
II	E	V	B5
	F	VI	B8
	G	VII	A0
	...	VIII	A2
	Q	IX	A3
		...	...

---

Пойдем дальше. Класс D отведен для спектров типа I с эмиссиями – понятно, это нынешние Ae и Be. Но класс C – снова те же A и B, но с раздвоенными линиями. Неужели спектрально двойные звезды, такие, как 41-я Дракона? Или наблюдательный брак, следствие разделения труда?. Решено оставить до выяснения при более высоком разрешении. А пока из 16 классов DC работают всего 6.

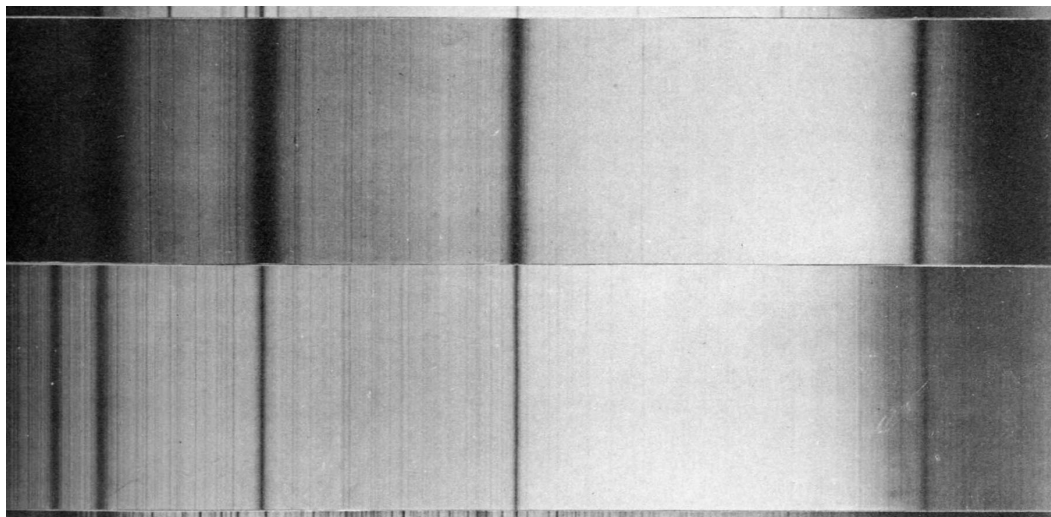
Переход от визуальных наблюдений к фотографическим был, конечно, полезен. Раньше приходилось сравнивать персональные впечатления, теперь достаточно предъявить спектрограмму. Но рабочий диапазон длин волн сократился, и пока не была разработана фотографическая

фотометрия, глазомерные оценки глубин и ширин линий и даже сама их различимость зависели от плотности почернения спектрограммы.

Стало очевидным, что надо сделать шаг назад: ограничиться яркими звездами, но повысить спектральное разрешение. И от коллективного творчества перейти к индивидуальному. Успех Гарвардской классификации определили выдающиеся работы Антонио Мори и Энни Кэннон.

От короткофокусных камер вернулись к телескопам с 4-метровыми фокусами и перед их объективами стали устанавливать до 4-х призм. В результате предел разрешения снизился в 10-15 раз. На пластинке теперь помещался только один спектр, но зато его длина достигала 10 см. Для сравнения: спектры на пластинках DC были длиной 6 мм – меньше ширины новых спектров.

Разрешение бесщелевых спектров сильно зависит от состояния атмосферы и фокусировки телескопа, но судя по опубликованным копиям (рис. 68), наиболее удачные из них не хуже тех, что мы получали через сто лет, в конце фотографической эпохи!



*Рис. 68. Гарвардские спектры карлика (вверху) и сверхгиганта от дублета Ca II до H $\beta$ .*

Высокое разрешение подтвердило, что звездные спектры так же богаты линиями, как и солнечный. Но когда вместо нескольких линий надо иметь дело с сотнями, их необходимо хотя бы не путать. Задача точного определения их положений в спектрах решалась совмещением спектрограмм исследуемой и стандартной звезд, сложенных эмульсией к //эмульсии. Более серьезная проблема – идентификация линий. У А. Мори не вызывают сомнения только линии водорода, кальция и металлов группы железа. Лишь к концу ее работы часть «орионовых» линий была уверенно

приписана гелию, а еще позднее, уже к концу работы А. Кэннон, другая их часть отождествлена с линиями ионов углерода, азота и кремния.

Обратите внимание на смысловую переключку Гарвардской классификации и гарвардской же программы STAR. Земная лаборатория была бессильна помочь. Наоборот, звездная “лаборатория” стала ее продолжением в область высоких температур и низких давлений. Что это, если не «астрономические корни» атомной физики?

Теперь основное внимание уделяется не наличию тех или иных линий, а их относительным интенсивностям. Вспомните “нулевой” фотометр: зафиксировать равенство интенсивностей легче, чем оценить на глаз их отношение. В распоряжении А. Мори были спектры 681 звезды северного неба. Вслед за ней А. Кэннон исследовала спектры 1 122 звезд южного неба. Их хватило, чтобы выстроить последовательность с едва ощутимыми изменениями от спектра к спектру. «Непрерывное перетекание» спектральных признаков даже вызывало затруднения в разбиении последовательности на звенья. Мори обозначила их римскими цифрами, Кэннон использовала буквенно-цифровые обозначения, но, как видно из таблицы, между ними существует строгое соответствие, проверенное по общим звездам их выборки.

Вариант А. Кэннон прижился лучше и используется до сих пор. Вот как она обосновывает нарушение алфавитного порядка в классификационной цепочке: «Постепенный спад интенсивности орионовых линий сопровождается постепенным усилением водородных и зарождением солнечных линий, так что в спектрах классов В8 и В9 солнечные и орионовы линии смешиваются. Поэтому необходимо букву В поставить перед буквой А... Найдены также немногие спектры орионика типа, явно предшествующие классу В. Поэтому буква О, которой они обозначены в Дрэперовом каталоге, перемещена в данной классификации с последнего места на первое».

Позднее – для массовой классификации – пришлось снова отступить к более низкому разрешению, сохранив, конечно, выработанные критерии. В каталоге HD около 400 000 звезд. Он знаменит своей однородностью, которая обеспечена тем, что единственный автор всех его 10 томов – А. Кэннон.

Высокое спектральное разрешение позволило различать линии не только по глубине, но и по ширине. И А. Мори дополнила свои группы подразделениями, помечая их малыми буквами a, b и c. Вот их отличительные признаки:

a – все одиночные линии, кроме водородных и кальциевых, – узкие.

b – все линии относительно широки.

с – линии водорода более слабые и вместе с тем более узкие и четкие, чем в других подразделениях.

В подразделении b уширение линий вызвано осевым вращением звезд: мы не можем, как в случае Сатурна, получить отдельно спектры приближающегося и удаляющегося “боков” звезды. Разнообразие скоростей вращения и наклонов осей к лучам зрения делает актуальным промежуточный вариант ab.

Подразделение с намного ценнее. Введя его, А. Мори впервые сделала классификацию двумерной: спектральный класс – температура, подразделение с – светимость. В него вошли немногие сверхгиганты, почти без промаха выделенные из основной массы звезд главной последовательности. Сравните спектры на рис. 68. Верхний принадлежит звезде-карлику Сириусу, VIIa по Мори (A1 V по современной двумерной классификации), нижний – звезде-сверхгиганту Канопусу, XIc (A9 II). Оба спектра, кстати, получены в высокогорной пустыне, что и обеспечило их высокое разрешение.

Еще лучше показывает эффект светимости рис. 69. В спектральном подклассе V3 светимости сверхгиганта и карлика различаются в 100 раз, в подклассе A0 различие еще в 6 раз больше.

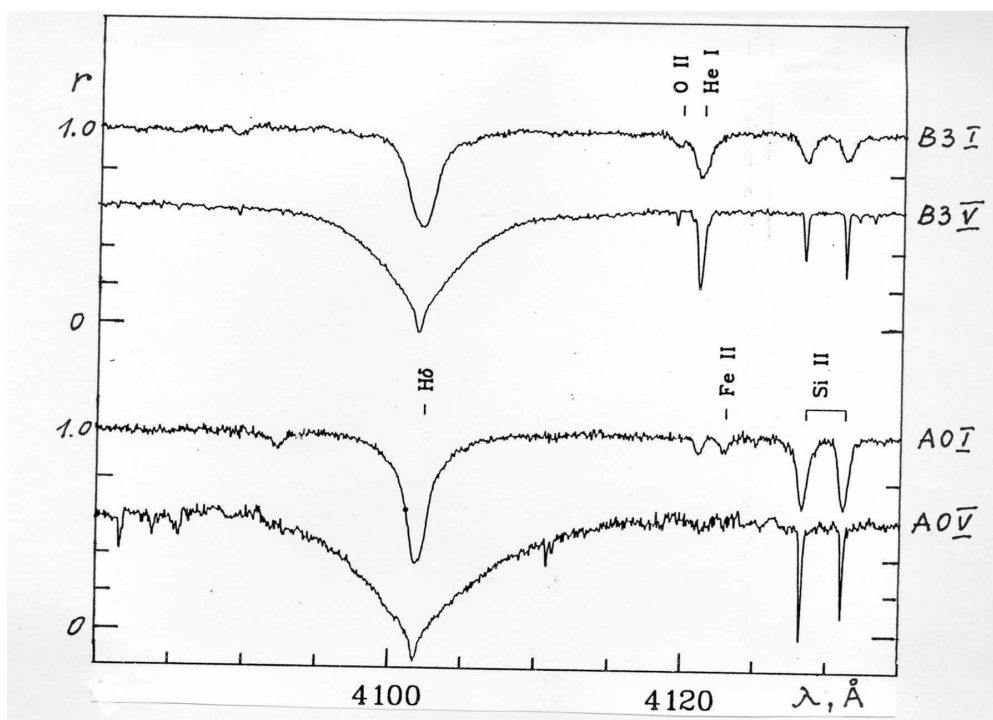


Рис. 69. Пары спектров сверхгиганта и карлика одного спектрального класса.

Как светимость звезды влияет на профиль линии? Через плотность тех слоев атмосферы, в которых линия образуется. Электрон в атоме забирает порцию энергии из светового потока, идущего из глубин звезды. За счет этого он поднимается с нижнего энергетического уровня в электрическом поле ядра на более высокий. Эти уровни строго определены в идеально изолированном атоме. Но в реальной обстановке звездной атмосферы окружающие атом электроны и ионы своими электрическими полями несколько смещают их. Наблюдаемая линия поглощения – продукт не одного, а очень многих атомов – сумма сдвигов дает уширение. Ясно, что воздействие межатомного электрического поля больше в более плотной атмосфере карлика, и больше именно на водород, который своим единственным протоном в ядре минимально сопротивляется этому воздействию.

Однако атомы более тяжелых элементов также показывают эффект светимости, только обратный: их линии уширяются и усиливаются от карликов к сверхгигантам. Рис. 69 демонстрирует это на примере линий кремния. Дело в том, что луч зрения пронизывает многочисленные клочки газа, движущиеся с разными лучевыми скоростями. А диапазон скоростей в протяженных и нестабильных атмосферах сверхгигантов больше, чем в атмосферах карликов.

Массовая двумерная классификация развернулась после того, как в 1943 г. в Йеркской обсерватории была разработана система МК (Моргана и Кинана). Она была воспринята астрономами как «улучшенный вариант классификации Мори». Главное улучшение коснулось последовательности с: вместо двух было введено семь классов светимости.

В последние годы под руководством Нэнси Хоук создается Мичиганский спектральный обзор: классы МК для всех звезд каталога HD. Реализуется он традиционным способом, по снимкам с объективной призмой, но в улучшенном варианте (на рис. 67 представлен один из них). Телескоп с отверстием 60 см и фокусом 2.1 м, призма с преломляющим углом  $5^\circ$  и астроклимат Чили и Аризоны обеспечили предел разрешения 2 А.

Для закрепления всего сказанного нужно поупражняться в спектральной классификации. Если желательно заодно совершить экскурсию в прошлое, надо обратиться к фотографиям спектров, таким, как на рис. 67 и 68. Но лучше использовать их современное представление – графики  $I(\lambda)$ , зависимости остаточной интенсивности от длины волны. Мне представляется, что они соотносятся со снимками спектров, как художественный текст с его экранизацией. С ними «уютно», как с книжкой: воображение свободно, моделирование облегчено.

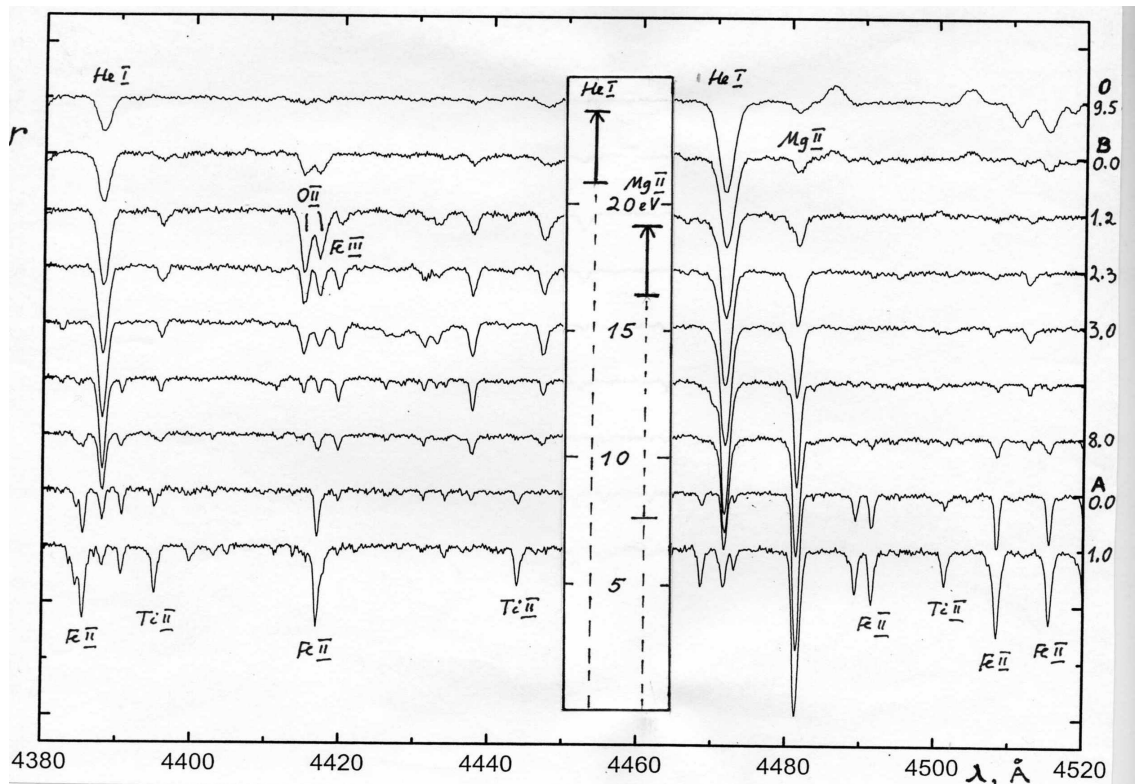


Рис. 70. Участок спектров сверхгигантов от O 9.5 до A 1.0, их спектральные классы – у правой рамки. На врезке – шкала энергий ионизации и возбуждения для линий поглощения He I 4471 и Mg II 4481.

**Упр. 32.** Рис. 70 предоставляет нам один и тот же фрагмент из полученных в САО спектров 9-ти голубых и белых сверхгигантов. Для 8-ми из них спектральные классы указаны справа за рамкой рисунка, один остается неизвестным. Как узнать и его?

Сначала “прочтем текст”, заключенный в рамке. Светимости всех звезд близки друг к другу, а температуры их фотосфер уменьшаются от  $30\,000^\circ$  для спектрального класса O9.5 до  $10\,000^\circ$  для класса A1. Линии поглощения по-разному реагируют на температуру. Например, линия He I 4388 Å от середины рисунка вниз (т.е. с понижением температуры) ослабевает, а линии Fe II 4508 и 4515 Å усиливаются. Не вдаваясь в причину этого, по каждой из них можно оценить неизвестный спектральный класс. Если использовать отношение интенсивностей линий с противоположной реакцией на температуру, оценка станет точнее.

При глазомерной, качественной, классификации удобно сравнивать линии, расположенные в спектре близко друг к другу. Одна из таких пар на рис. 70: He I 4471 Å и Mg II 4481 Å. Слева от нее на вертикальной врезке отмечены

нижние и верхние уровни энергии, между которыми совершаются переходы электронов, вызывающие данные линии. Сами переходы показаны жирными отрезками с направленными вверх стрелками. То, что эти отрезки примерно одной длины, естественно: иначе линии не были бы близкими соседками. Глубина (интенсивность) линии поглощения зависит от числа атомов с электронами, находящимися на нижнем уровне “в ожидании” фотона нужной длины волны. Спектроскописты говорят о «заселенности нижнего уровня». Чтобы достичь исходного уровня, атом магния должен быть сначала ионизован, т.е. потерять один электрон. Для этого нужна энергия 7.6 eV (этот уровень отмечен горизонтальной черточкой). Затем, чтобы в ионе магния забросить электрон на нижний уровень, нужно еще 8.8 eV. Итак, полная энергия ионизации и возбуждения линии Mg II 4481 составляет 16.4 eV. В атоме нейтрального гелия на одно возбуждение требуется гораздо больше, 20.9 eV. Теперь понятно, почему линии гелия “предпочитают” более горячие звезды.

- Оцените спектральный класс по этой паре качественно (на глаз).
- Повторите оценку количественно. Для этого постройте зависимость отношения глубин линий от спектрального класса.
- Найдите спектральный класс по другим линиям, присутствующим на рисунке, и сравните результаты.

Попробуйте, например, пару линий: O II 4415 и Fe III 4420. Уже их слабость по сравнению с линиями первой пары говорит о том, что они формируются глубже в атмосфере. Это подтверждают и суммарные энергии ионизации и возбуждения: 36.9 eV и 32.2 eV соответственно. Между ними есть линия, непригодная для классификации. Ведет себя странно: сверху вниз сначала ослабевает, потом снова усиливается. Это пример «бленды», наложения двух линий с очень близкими длинами волн: сверху преобладает вклад линии O II 4416.98, снизу – Fe II 4416.82.

## СПЕКТРЫ СВЕТОВОГО ЭХА

Напоследок – два недавних фантастически интересных результата.

- “Искусственный спутник далекой звезды”.

В конце прошлого века мне довелось участвовать в спектральном мониторинге звезды IRC+10420, озадачившей астрофизиков тем, что всего за пару десятков лет ее спектральный класс постепенно изменился от M до A. Это звезда-гипергигант, мощность ее излучения превышает солнечную в полмиллиона раз. Звездный ветер так плотен, что порождает пыль, которая окутывает звезду.



В конце ч. II упоминался искусственный спутник Сатурна, космический аппарат «Кассини». Он только что закончил свое многолетнее кружение вокруг планеты. Можно помечтать о таком же аппарате, облетающем IRC+10420, но до нее 15 тысяч световых лет. И все же к ней удалось “приблизиться” и рассмотреть ее с разных сторон. Роль искусственного спутника звезды выполнила ее пылевая оболочка. Световое эхо – отдельно от разных ее участков – было принято космическим телескопом им. Хаббла. Он обеспечил пространственное разрешение. И собранного им света хватило на то, чтобы развернуть его в спектры, и по ним уточнить модель звездного ветра IRC+10420, вчерне построенную по нашим наземным спектрам.

### – “Машина времени”.

Знаменитая Эта Киля ( $\eta$  Car) еще ярче: светимость – несколько миллионов солнечных. Масса – полсотни солнечных. Ветер переменный, когда переходит в “ураган”, за 10 лет “облегчает” звезду на целую массу Солнца. Последний такой эпизод был в середине 19 в., тогда  $\eta$  Car соперничала по блеску с Сириусом. Неудивительно, что ее приняли за сверхновую. Увы, случилось это чуть раньше изобретения спектроскопа.

Пыли вокруг  $\eta$  Car достаточно, но световое эхо, удаляясь, ослабевало. А на Земле – “вдогонку за ним” – наращивалась мощь наблюдательных средств. И вот наконец его “догнали”, и даже с помощью наземного телескопа. Сама звезда очень горячая, спектрального класса O. Но вернувшись на “машине времени” в 1843-й год, мы увидели ее более холодной: светимость в максимуме блеска – 30 миллионов солнечных, а температура, как у Солнца. Дело в том, что эхо показало нам не саму звезду, а надутую ветром плотную оболочку. Мы называем такие ветровые оболочки «ложными фотосферами».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сейчас начало 2018 г., астрономии позволено вернуться в школу. И, естественно, идут дебаты: как ее встретить, куда пристроить? Хотя наиболее восприимчивы к ней семиклассники, но в основном по-старому, по-простому – в выпускной класс на один час в неделю.

С ней вернулось и старое противоречие: астрономия – единственная школьная наука, которая провозглашена как наблюдательная, причем объекты ее доступны любому, – не только профессиональному наблюдателю. Но наблюдения программой не предусмотрены.

Характерное соображение: «Если найдется увлеченный учитель и школа создаст условия, при которых он захочет рассказывать, – ученик будет с удовольствием слушать». Создание условий для наблюдений не обсуждается, разве что планетарии (оживили бы сферическую астрономию). Вспомнилась «Комната сказок» во Дворце пионеров: бабушка рассказывает, дети сидят вокруг и слушают. Но там и для глаз была пища: стены расписаны палехскими мастерами...

Но ученик уже имеет личный наблюдательный опыт. Его-то зачем терять? Сюда притягиваются два воспоминания.

У дочки наших сотрудников, дошкольницы, есть чудесная книжка с картинками – “про космос”. Мы стоим у большого дерева и сквозь его крону и облака хорошо видим Солнце. Она бойко перечисляет планеты: Меркурий, Венера... И я предлагаю:

– Солнце – вон оно, а Меркурий где?

Сейчас, думаю, мы посадим его рядом с Солнцем, потом выберем ветку для Венеры. Но она отклоняет эту детскую игру. Что, мол, за глупости?

– Да в космосе же они!

“В космосе” для нее – что в сказке. Где-то там, в воображении, а вовсе не тут, перед глазами.

Другой собеседник – юноша, уже окончивший школу. И Венера перед нами не воображаемая, а вполне натуральная.

– Вы хотите сказать, что вот это – планета Венера? Не может быть!

– Ну да, это она. Почему нет?

– Потому что планеты не светят!

Застрявшему в памяти обрывку больше доверия, чем собственным глазам. Наверно, это не первая в его жизни планета. Выходит, школьная астрономия отменила его многолетний опыт? Могут возразить: плохой ученик, недослушал: да, не светят сами, но солнечный свет отражают. И Венера – “неудачная” планета, действительно, будто сама светит, особенно днем при Солнце.

Все-таки личные визуальные впечатления ученика лучше не игнорировать, а использовать. Задание: пронаблюдать к следующему уроку вряд ли сработает. А если просто сообщить: по утрам видно то-то, по вечерам то-то? Наверняка попросят уточнить, когда и где именно.

Вот сейчас, например, перед рассветом над южным горизонтом Марс рядом с Антаресом: Марс и “Антимарс”, одной яркости и одного цвета. Через день-два планета заметно отойдет от звезды. На ходу бросить взгляд, щелкнуть мобильником, чтобы потом спокойно рассмотреть снимок. И своими глазами увидеть старт эстафеты: Тихо Браге – Кеплер – Ньютон, выводящей в науку и в школьную программу.

И кроме прямых наблюдений есть еще их продукты: снимки неба, отдельных объектов, спектры и т.п. Важно, чтобы они были подлинными. Для астрономических олимпиад мы не раз предоставляли материалы, полученные в реальных исследованиях. Почему бы не использовать их на уроках? Вместо школьного планетария полезнее (и гораздо дешевле!) хорошо зашторить класс и проектировать картинки на всю стену. Ночные пейзажи, вроде рис. 45 или заключительного снимка ч. II, позволят совершать прогулки по звездному небу, не выходя из класса. Снимки отдельных объектов, такие, как на рис. 18, 23 и 24, может прокомментировать и учитель, но лучше спросить ученика: “Что мы видим на этой картинке?” И, помня американский опыт, предложить что-нибудь измерить...

Аргумент за выпускной класс: главное в астрономии – астрофизика, а ей нужны “физические корни”. STAR наоборот! Но программа могла бы поработать и в “прямом варианте”. Предложенные выше упражнения наиболее уместны в 6 – 8 классах, но некоторые из них могут быть полезны и в 10-м – 11-м... Живое Солнце заглядывает в класс, а мы выписываем на доске радиусы Солнца и земной орбиты. Почему бы прямо на уроке, пусть и единственном в неделю, за несколько минут не получить эти цифры из собственных наблюдений? Понадобится “нулевой фотометр” или хотя бы линза. Удобна линза в 2 диоптрии (подойдут чьи-то очки!): солнечный кружок точно впишется в клетку тетради. На построение орбит Меркурия и Венеры по элонгациям нужно больше времени – пусть займутся этим дома.

Много сетований на “устаревший” учебник: ах, дети выйдут из школы, не услышав о гравитационных волнах, о черных дырах. О них-то они услышали еще до школьной астрономии. Возможно, в той книжке с картинками они уже присутствуют. Но скорее всего, где-то “подслушали”.

### **Открыты формы жизни на квазаре**

(Подслушано в субботу на базаре).

Перекося в сторону теории толкает учеников в лапы “просветителей” типа И.Прокопенко с РЕН-ТВ: у них тоже ничего нет, кроме теорий да гипотез. Уж Земля-то – ближе некуда, а туда же: ТЕОРИЯ плоской Земли! Гуляйте по ней, езьте, летайте, но только “теоретически”. А на наблюдения – табу.

Иначе быстро заметите, что она не плоская, а “Антиземли” и вовсе нету, и что вас надувают.

Наивные теории нынешних школьников если не вскормлены, то уж наверняка подкормлены “шокирующими гипотезами” из телевизора и интернета. Поэтому повторю, перенацелив на них, приведенное выше высказывание Б. Грегори: «Ученик не спешит от них отказываться только потому, что так велел учитель... Ни хорошие отметки, ни вся школьная премудрость не вытеснят предрассудков, пока мир школы не пересечется с реальным миром». Астрономия, как никакой другой школьный предмет, сопротивляется отрыву от мира, в котором мы живем: небо – для всех и бесплатно. Слушать, конечно, нужно (критически!), но нужно и смотреть.

Астрономия вернулась, осталось вернуть наблюдения.

