
M.G.J. MINNAERT

practical work

IN

ELEMENTARY
ASTRONOMY



D. REIDEL PUBLISHING COMPANY
DORDRECHT-HOLLAND

М. МИННАРТ

практическая
**АСТРОНО-
МИЯ**

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ
ПО ОБЩЕЙ АСТРОНОМИИ**

перевод с английского
Д. К. КАРИМОВОЙ
Е. Д. ПАВЛОВСКОЙ

под редакцией
П. Г. КУЛИКОВСКОГО

издательство
• МИР •

Москва · 1971

УДК 52(07)

Эта книга представляет собой практикум по общей астрономии. В основу задач, охватывающих почти все разделы астрономии, положены несложные наблюдения при помощи простейших приборов, часть которых можно сделать самостоятельно. Автор знакомит с методами изучения различных небесных объектов: планет и метеоров, звезд и туманностей.

Книга послужит превосходным пособием для преподавателей, студентов, изучающих астрономию, а также для много-тысячной армии любителей астрономии.

*Редакция космических исследований,
астрономии и геофизики*

2-6-2
101-71

Предисловие редактора перевода

Книга видного голландского ученого и педагога М. Миннарта, предлагаемая вниманию читателя, представляет собой практикум по общей астрономии. Иными словами, это введение в ту *практическую* астрономию, которой нельзя научиться из книг и которую можно познать, лишь проводя долгие ночи у телескопа, терпеливо, затаив дыхание, поворачивая винт измерительного прибора или еще и еще раз повторяя уже набивший оскомину расчет, чтобы разыскать вкрадшуюся ошибку. Но именно этот порою нелегкий труд приобщает начинающего студента или любителя к великой науке о небе.

В этой книге профессор Миннарт подвел итоги своих почти 30-летних практических занятий со студентами Утрехтского университета (Голландия) — будущими математиками, физиками, астрономами.

В книге собрано 74 задачи, включающие как наблюдательные, так и лабораторные работы. Они охватывают большинство разделов современной астрономии вплоть до радиоастрономии, и это имеет глубокий смысл: автор подчеркивает, что многие предметы, которые еще сравнительно недавно были «серьезной наукой», теперь оказываются необходимыми уже в первые годы изучения астрономии — наука становится труднее и сложнее!

Описания задач столь конкретны и подробны, что ими могут воспользоваться любители астрономии. Начиная с общего знакомства со звездным небом, не требующего никаких приборов, автор постепенно вводит читателя в технологию «настоящих» научных наблюдений и их математической обработки. В описаниях много ценных советов и полезных предостережений, которых не найдешь в других книгах подобного рода.

В одном из разделов книги подробно описан ряд инструментов и приборов, которые можно изготовить самостоятельно, без сколько-нибудь значительных затрат, а также устройство площадки для наблюдений.

Эти работы не только способствуют лучшему усвоению принципов действия и устройства приборов, но и позволяют использовать книгу как практическое руководство в педагогических институтах и училищах, а также в школах и астрономических кружках, где занятия по астрономии еще очень нуждаются в укреплении «наблюдательной базы».

В предисловии к русскому переводу профессор Миннарт говорит об энтузиазме и духе научной требовательности, которые ему

и его сотрудникам хотелось вложить в иногда сухие и технично описания ряда задач.

Сам Марсель Миннарт был подлинным энтузиастом, стремившимся передать свое восхищение достижениями науки всем, с кем ему приходилось встречаться. Однако, радуясь успехам науки, он не забывал, что в иных руках наука может нести разрушение и смерть. Поэтому он был активным борцом против войны во Вьетнаме и участником многих международных митингов протеста против преступлений американского империализма.

Марсель Гиллес Иозеф Миннарт родился 12 февраля 1893 г. в Брюгге во Фландрии, учился в Генте, где в 1914 г. получил степень доктора биологии за диссертацию, посвященную применению количественных методов в биологии. В дальнейшем интерес к физике, и в особенности к изучению основы всей жизни на Земле — солнечному свету, привел Миннарта к серьезным занятиям астрономией, итогом чего была полученная им в 1925 г. вторая докторская степень, на этот раз за диссертацию по физике Солнца. В конце 20-х годов Миннарт — приват-доцент Утрехтского университета, а с 1936 г. — профессор астрономии и директор Утрехтской обсерватории. Годы 1942—1944 он провел в фашистском концлагере для заложников.

М. Миннарт — автор многочисленных исследований по физике солнечной атмосферы и ряда методов ее изучения (например, общепотребительных теперь способов определения эквивалентных ширин спектральных линий и метода построения кривых роста). В 1940 г. вышел фундаментальный утрехтский «Фотометрический атлас солнечного спектра», составленный под руководством М. Миннарта.

Начиная с 1952 г. Миннарт не раз бывал в СССР, он владел русским языком и всегда стремился полнее познакомиться с нашей страной и советскими людьми. Он живо интересовался историей русского искусства и древним русским зодчеством — не только по книгам, но и во время посещения многих наших городов.

В 1968 г. профессору М. Миннарту была присуждена степень почетного доктора Московского университета. Миннарт был видным деятелем Международного астрономического союза, где много лет возглавлял Комиссию 38 (по научному обмену), оказывая содействие молодым астрономам, в особенности малых и развивающихся стран, в организации стажировки на крупных обсерваториях и участии в международных съездах и совещаниях.

М. Миннарт скончался 26 октября 1970 г. после непродолжительной, но тяжелой болезни.

Перевод этой книги как бы продолжает благородное дело, которому профессор М. Миннарт посвятил свою жизнь, — приобщение все новых и новых энтузиастов к прекрасной науке музыки Урании.

Мы позволили себе некоторое число небольших исправлений и дополнений, а также подстрочных примечаний. К литературным ссылкам автора мы добавили указания на русские переводы и на ряд советских изданий, более доступных нашему читателю; эти добавления отмечены звездочкой. Добавлены также рисунки 59 а — д.

Предисловия, технические указания и часть А переведены Е. Д. Павловской, часть Б переведена Д. К. Каримовой.

П. Г. Куликовский

Предисловие к русскому изданию

Через границы государств ученые всего мира соединяют руки. Мы — астрономы, старые и молодые, мы больше друг для друга, чем коллеги: мы — друзья.

В своем воображении я вижу многочисленных советских студентов, с большим интересом приступающих к изучению астрономии, и отличных преподавателей, которые стараются приобщить их к нашей науке. Буду очень рад, если моя книга принесет им пользу. Эта книга — итог 25-летнего преподавания в Утрехтском университете. Разумеется, она не идеальна, но все же вы, быть может, почувствуете то стремление к научной строгости и даже тот энтузиазм, которые мы пытались передать нашим студентам. Вечера, посвященные астрономическим наблюдениям, познакомят их с незабываемой картиной звездного неба, а ясное понимание выполняемых задач принесет глубокое удовлетворение.

Я хочу искренне поблагодарить всех тех, кто переводил, вносил необходимые поправки и издавал мою книгу на русском языке.

М. Миннарт

30 сентября 1970 г.

К преподавателю

Астрономия — одна из наук о природе. Она опирается на наблюдения, которые и ложатся в основу различных вычислений и теорий. Следовательно, практическая работа должна показать студентам конкретную реальность небесных объектов, о которых говорилось на лекциях. Поэтому желательно, чтобы практические работы проводились, насколько возможно, параллельно с теоретическими курсами.

Практическая работа по общей астрономии может быть организована в очень различных направлениях. Здесь мы главным образом опишем ту программу, которая разрабатывалась в Утрехтском университете в течение почти 25 лет. Она рассчитана на первокурсников — будущих математиков, физиков и астрономов. Поэтому с самого начала, прежде чем попросить их посмотреть на доску, вы должны показать им небо. Они уже изучили тригонометрию, познакомились с элементарными методами вычислений и с физикой, однако астрономическая сторона проблемы всегда должна быть в центре внимания.

Студентов надо разделить на группы примерно по 25 человек, причем большинство задач студенты должны выполнять вдвоем: каждая группа работает в определенный вечер недели. Если все студенты ведут практическую работу одновременно, то легко добиться довольно хорошей синхронности с курсом лекций по общей астрономии. Вводные объяснения можно давать всем студентам сразу. Сравнение результатов позволяет оценить случайные ошибки. Однако надо позаботиться о том, чтобы у студентов оставалось достаточно времени для самостоятельной работы. Специально для этой цели предназначаются те параграфы, номера которых даны в скобках, и ссылки на литературу. Не обязательно выполнять каждое упражнение за один вечер.

Для обеспечения одновременной работы всех студентов каждый прибор должен быть в нескольких экземплярах: по одному для каждой пары студентов. Следовательно, для работы лучше использовать только простые приборы, которые и будут описаны в начале этой книги.

При ясном небе надо проводить наблюдения на площадке для наблюдений. Полученные результаты можно сразу же использовать для дальнейших простых вычислений. Для наблюдения с установленным в башне средним телескопом можно вызывать студентов по двое и, следовательно, прерывать выполнение задачи всего лишь на несколько минут. В пасмурную погоду займитесь изучением фотографий или других материалов, проверкой инструментов или вычисле-

ниями. Эти упражнения не только учебные: специалисты-астрономы также тратят много времени на подобную лабораторную работу.

Для каждого вечера подготавливаются две программы: наблюдательная и лабораторная, выбор делается за час до начала занятий. Каждая задача в этой книге представляет собой описание такой программы. Для выполнения ее требуется примерно три часа.

Как правило, не удается выполнить всю программу, приведенную в этой книге. Задачи следует выбирать в зависимости от погоды, доступных инструментов, склонности преподавателя и числа часов, отведенных для практической работы. Выбор задач зависит также от специализации студентов.

Желательно, чтобы студенты имели возможность работать в библиотеке с книгами и периодическими изданиями, знакомиться с теми изданиями, с которыми им хотелось бы, и выписывать данные непосредственно из оригинальных публикаций. Наша практика показала, что это осуществимо, поскольку число студентов невелико, но даже в этом случае справочные издания были частично испорчены. Если студентов много, то желательно сделать фотокопии значительной части справочных изданий; эти фотокопии должны быть покрыты для сохранности тонкой прозрачной пленкой.

Приступая к этим практическим работам по астрономии, мы опирались на богатый опыт некоторых американских коллег, у которых мы заимствовали основные идеи для ряда более простых задач. Эти задачи необходимы, поскольку в средних школах не всегда преподается астрономия. Хороший преподаватель в состоянии сделать их научными работами почти в любом случае; для этой цели можно использовать ссылки на литературу. В более сложные задачи мы включили непосредственные наблюдения, изучение астрономических негативов и использование простых приборов, насколько это возможно в нашем климате и при нашей оснащенности инструментами.

Мы непрерывно работали над своей программой. Благодаря постоянной помощи нашей мастерской постепенно совершенствовались инструменты и приборы, построенные специально для практических занятий.

Описания приборов можно найти на стр. 15 — 24.

Хотелось бы, чтобы практические работы по общей астрономии были в недалеком будущем введены в программу университетского образования и чтобы наш практический курс в некотором отношении оказался полезным для этой цели. Нам было интересно создавать подобный курс, и мы надеемся, что и наши коллеги найдут удовлетворение в этой творческой работе.

ЛИТЕРАТУРА

- Дагаев М. М., Лабораторный практикум по курсу общей астрономии, М., 1963.
- Deutsches Pädagogisches Zentralinstitut, Praktische Schüler-beobachtungen für den Astronomie-unterricht, Berlin, 1962.
- Jaschek C., Exercises in General Astrophysics, 1968.
- Shaw R. W., Boothroyd S. L., Manual of Astronomy, Brown Co. Publ., Dubuque, 1958.
-

К студенту

Приступая к изучению астрономии, студент надеется, что теперь он наконец собственными глазами увидит те чудеса, которые сулят звезды, загадочно мерцающие в глубинах ночного неба. Такие надежды оправданы, хотя для этого необходим труд. Наблюдения с телескопом требуют навыков. Фотография является как бы набором символов, смысл которых требуется расшифровать. Во время практических занятий постарайтесь осознать, как великолепна и гармонична Вселенная, которую мы пытаемся исследовать. Специалист-астроном испытывает то же чувство изумления и благоговения. Астроном редко говорит о своих чувствах, но они вдохновляют его во время работы.

На примере задач, выбранных нами для практических занятий, мы хотели, не вдаваясь в технические детали, а сосредоточивая внимание только на принципах, продемонстрировать методы исследования Вселенной и дать студентам некоторое представление о работе специалиста-астронома. Не обучение техническому мастерству является нашей главной задачей, студенты должны освоить на практике стиль и методы научно-исследовательской работы.

Мы будем применять очень простые самодельные приборы. Это неизбежно, поскольку многие приборы нужны для серьезной научной работы; но в этом есть и преимущество, так как это позволяет глубже вникнуть в сущность метода. Всегда стремитесь достичь наибольшей возможной точности с данным прибором, даже если прибор весьма примитивен.

Во время практической работы вам будут постоянно нужны следующие принадлежности: циркуль, большой транспортир, логарифмическая линейка, нелинованный блокнот, тетрадь, листы миллиметровой бумаги (предпочтительно красного цвета).

Студенты работают по двое. Обычно один из них наблюдает, в то время как другой ведет записи; после каждого ряда наблюдений они меняются ролями. Все записи делаются аккуратно и методично в блокноте и впоследствии ни в коем случае не исправляются. Затем каждый студент пишет в своей тетради небольшой отчет, содержащий все наблюдения, большей частью в *табличной форме*. (Примеры записи наблюдений приведены в книге, но можно располагать результаты любым другим способом.) Составление хорошего научного отчета требует определенного мастерства и опыта, который вы должны были уже приобрести. Пишите свой отчет так, чтобы и через три месяца вы могли легко его прочесть и понять!

Не все студенты работают одинаково быстро. Поэтому материал задач расположен таким образом, что первые пункты являются наибо-

лее существенными, а последующие, номера которых взяты в скобки, могут быть выбраны в качестве интересного дополнения теми студентами, которые уже кончили основную программу. Любая инициатива, несомненно, будет приветствоваться.

Графики и вычисления выполняются каждым студентом независимо, результаты сравниваются на каждом этапе, что является хорошей проверкой. Опытные вычислители часто поступают так же. Пишите отчет сразу после наблюдений, пока выполненная работа еще свежа в памяти.

Каждый студент выполняет зарисовки наблюдаемых объектов на листе из блокнота, а затем приклеивает его в тетрадь (приклеивайте только за верхние уголки). Не надо обладать художественными способностями, чтобы делать такие зарисовки; они помогают вам лучше осознать то, что вы видите, и выразить ваше понимание при помощи простых набросков.

Это уже не просто учеба, а небольшое самостоятельное научное исследование. Вы выполняете ту или иную работу для того, чтобы лучше понять явления. Руководитель практических занятий не оценивает качество вашей работы, он старается только объяснить и направить ее. Пользуйтесь книгами и записями лекций, наводите справки в библиотеке обсерватории, помогайте друг другу и обсуждайте неясные вопросы. Однако разговоры, не относящиеся к работе, только мешают.

Примечание. Астрономические наблюдения и работа в лаборатории обозначаются буквами Н и Л соответственно после номера пункта. В скобках даны номера пунктов, которые являются дополнительными к основной задаче.

ЛИТЕРАТУРА

- Allen C. W., *Astrophysical Quantities*, 2nd ed., London, 1963. (Русский перевод 1-го изд.: К. У. Аллен, *Астрофизические величины*, ИЛ, М., 1960.)
- Brandt J. C., Hodge P. W., *Solar System Astrophysics*, McGraw-Hill, New York, 1964. (Русский перевод: Дж. Брандт, П. Ходж, *Астрофизика солнечной системы*, изд-во «Мир», М., 1967.)
- Chauvenet W., *A Manual of Spherical and Practical Astronomy* (несколько изданий; переиздано в Dover Publication, 1960).
- Danjon A., *Astronomie générale*, Paris, 1952—1953.
- Danjon A., Couder A., *Lunettes et télescope*, Paris, 1935.
- Kuiper G. P., Middlehurst B., *The Solar System*, vol. II—V, Chicago, 1953—1963. (Русский перевод III-го тома: *Планеты и спутники*, ИЛ, М., 1963.)
- Kuiper G. P., Middlehurst B., *Stars and Stellar Systems*, vol. I—VIII. (Русский перевод I-го тома: *Телескопы*, ред. Дж. Койпер, Б. Миддлхерст, ИЛ, М., 1963; II-го тома: *Методы астрономии*, ред.

- В. А. Хилтнер, изд-во «Мир», М., 1967; VI-го тома: Звездные атмосферы, ред. Дж. Л. Гринстейн, ИЛ, М., 1963.)
- U n s ö l d A., Physik der Sternatmosphären, Berlin, 1955. (Русский перевод 1-го изд.: А. У н з о л ь д, Физика звездных атмосфер, ИЛ, М., 1949.)
- L a n d o l t - B ö r n s t e i n, Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology, New Series, Group VI, vol. 1. Astronomie und Astrophysik, 1965, Springer, Berlin — Heidelberg — New York, 711 стр.

Для любителей астрономии

- R o t h G. D., Handbuch für Sternfreunde, Berlin, 1960.
- S i d g w i c k J. B., Amateur Astronomer's Handbook, London, 1956.
- S i d g w i c k J. B., Observational Astronomy for Amateurs, 2 nd ed., London, 1957.
- Несколько копий следующих изданий:
Norton's Star Atlas, London, несколько изданий;
Астрономический Ежегодник СССР за разные годы.
- * В о р о н ц о в - В е л ь я м и н о в Б. А., Сборник задач и упражнений по астрономии, Физматгиз, 5-е изд., М., 1963.
 - * Б а к у л и н П. И., К о н о н о в и ч Э. В., М о р о з В. И., Курс общей астрономии, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1970.
 - * S t r u v e O., L y n d s B., P i l l a n s H., Elementary Astronomy, New York, 1959. (Русский перевод: О. Струве, Б. Линдс, Э. Пилланс, Элементарная астрономия, 2-е изд., изд-во «Наука» М., 1967.)
 - * Постоянная часть астрономического календаря, 5-е изд., изд-во «Наука», М., 1962.
 - * З а г р е б и н Д. В., Введение в астрометрию. (Основные вопросы сферической астрономии), изд-во «Наука», М., 1966.
 - * П я с к о в с к и й Д. В., Сферическая астрономия, изд-во Киевского университета, Киев, 1964.

Технические замечания

Для практической работы необходимы:

- а) площадка для наблюдений,
- б) установленный в башне астрономический телескоп,
- в) лаборатория — комната, где выполняется часть работы.

Удобно, если они находятся в непосредственной близости друг от друга.

а. Подходящую площадку для учебных наблюдений найти нелегко. Желательно, чтобы горизонт был открыт, особенно на юге. Было бы неплохо, если бы площадка для наблюдений была окружена невысокой стеной или деревьями (на некотором расстоянии) для защиты от ветра и уличного освещения.

На площадке должны быть невысокие столбы по одному для каждой пары студентов (рис. 1). Столбы должны быть пронумерованы. На каждый из них можно ставить в фиксированном положении небольшой самодельный телескоп. Телескопы тоже должны быть пронумерованы. Столбы внутри полые и открываются. Внутри них смонтированы не боящиеся атмосферных воздействий розетки переменного тока напряжением 24 в. Для выполнения задач, в которых делаются зарисовки, надо предусмотреть легкие металлические стулья.

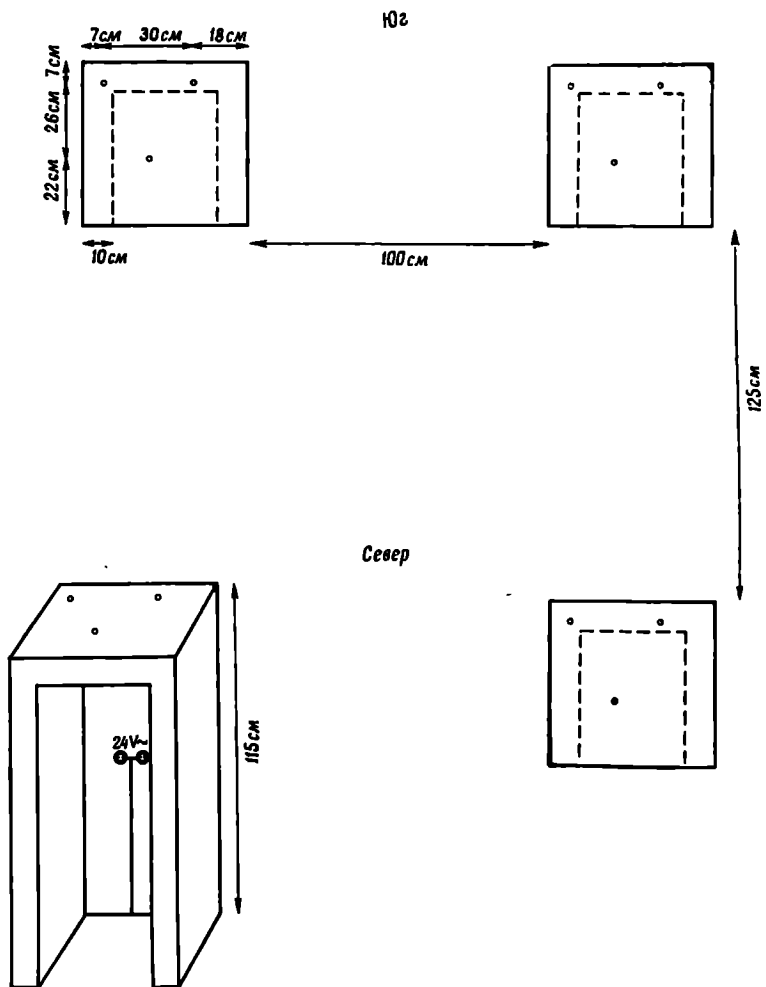
б. Сконструированы небольшие штативы, на которых можно крепить камеры для фотографирования неба. При помощи синхронного электромотора эти камеры могут поворачиваться со скоростью суточного вращения Земли. У нас пока нет опыта работы с этими установками.

У нас имеется рефрактор с объективом 25 см и фокусным расстоянием 3,50 м. Он жестко скреплен с часовым механизмом; кварцевые часы, идущие по звездному времени, вмонтированы в него так, что склонение и прямое восхождение можно отсчитывать прямо по разделенным кругам. Технику работы с разделенными кругами и перевода часовых углов в прямое восхождение студенты осваивают во время работы на небольших учебных телескопах.

В лаборатории должны быть длинные столы, на которых можно разложить атласы и т. д. Необходимы книги и различные таблицы — не только элементарные учебники, но и некоторые специальные справочные издания, а также, если возможно, несколько комплектов основных астрономических журналов.

в. На столах надо поставить розетки 24 в для фотометров или других приборов и 220 в для освещения.

Недалеко от площадки для наблюдения нужно установить астрономические часы, показывающие всемирное время, и часы, идущие по местному звездному времени.



Р и с. 1. Расположение столбов на площадке для наблюдений.

НЕКОТОРЫЕ УЧЕБНЫЕ ПРИБОРЫ, СОЗДАННЫЕ В МАСТЕРСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

1. *Учебный телескоп* (рис. 2 и 3). Объектив — небольшая ахроматическая линза диаметром 40 мм, $f = 500$ мм. Телескоп смонтирован на экваториальной установке. Наклон полярной оси регулируется одним из винтов штатива, а установка по азимуту осуществляется при помощи шарнира, соединяющего главную вертикальную ось с полярной; потом телескоп закрепляется таким образом, чтобы установка не была сбита. Телескоп имеет два разделенных круга со светлыми делениями на темном фоне; круг склонения разделен на градусы, а деления часового круга равны 6^m .

Окуляр типа Рамсдена, $f = 25$ мм. Для некоторых наблюдений полезен более сильный окуляр ($f = 9$ мм).

В фокальной плоскости помещена неподвижная диафрагма диаметром 15 мм и крест нитей, имеющий две взаимно перпендикулярные нити; одна из них ориентирована вдоль параллели, а другая по кругу склонений. (Крест нитей легко повредить, поэтому будьте осторожны.) Очень полезно иметь противоросник. На трубе укреплен небольшой уровень. Конечно, ось склонения должна быть строго перпендикулярна полярной оси и оси трубы, так как в дальнейшем невозможно исправить ошибки, возникающие при несоблюдении этих условий. Нуль-пункты разделенных кругов легко устанавливаются и закрепляются обычными винтами.

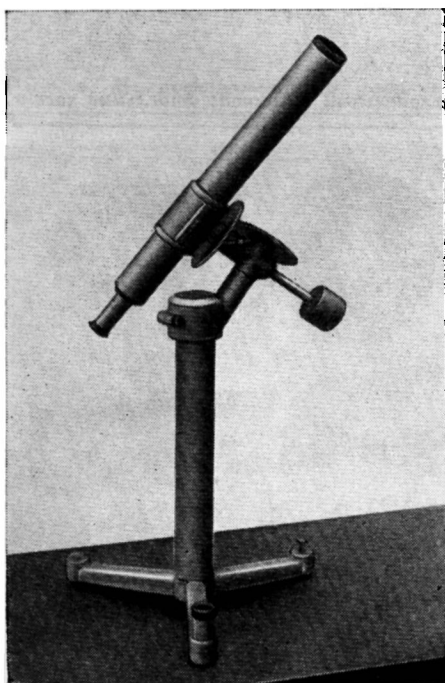


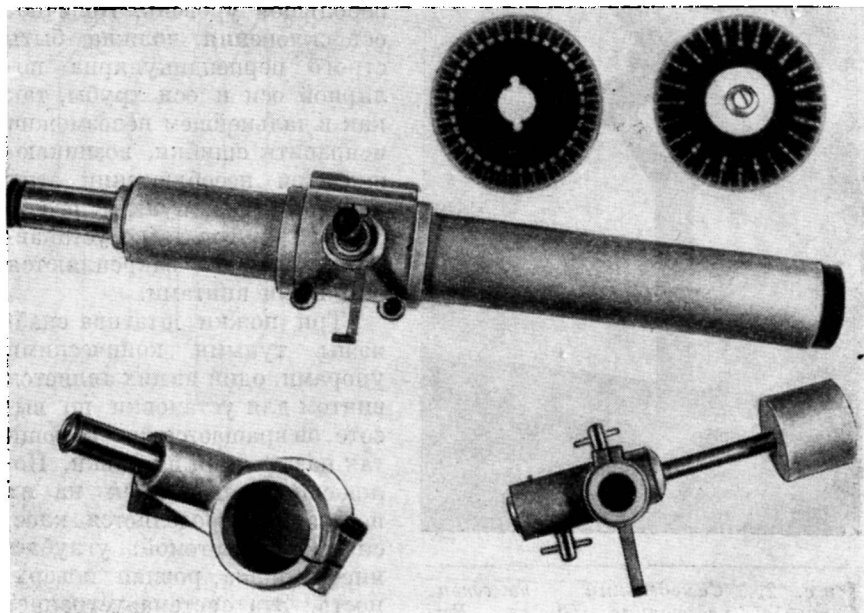
Рис. 2. Самодельный телескоп. Фокусное расстояние 50 см. Высота вертикальной колонны 45 см.

Три ножки штатива снабжены тупыми коническими упорами, один из них является винтом для установки по высоте, он вращается при помощи так называемой шпильки. Положение трех ножек на их подставке определяется классической системой: углубление, канавка, ровная поверхность. Эта система устраняет возможность передвижения.

Положение уровня надо тщательно отрегулировать. В первом приближении выполнена ориентировка полярной оси и установка нуля-пункта разделенных кругов, в задаче А9 делается проверка правильности установки.

2. *Микрофотометр* (рис. 4) используется в задачах А31, Б3, Б5, Б18. Изображение небольшой лампы накаливания напряжением 12 или 24 в создается системой трех обычных очковых стекол на маленьком отверстии предметного столика прибора. Лучи света сквозь это отверстие попадают на фотоэлемент, ток которого регистрируется микроамперметром, смонтированным на основании прибора. Небольшим смещением самой нижней линзы можно добиться максимальной концентрации света на отверстии. Стрелка микроамперметра в этом случае отклоняется почти на всю шкалу: так устанавливается чувствительность прибора. (Использование современных солнечных батарей позволяет значительно уменьшить яркость лампы накаливания, а это дает заметное преимущество. Еще одна возможность заключается в применении сульфиднокадмиевого фотосопротивления. Источник электрического тока подает

Р и с. 3. Самодельный телескоп; отдельные части.



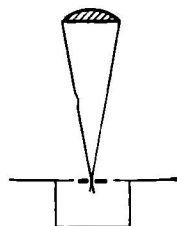
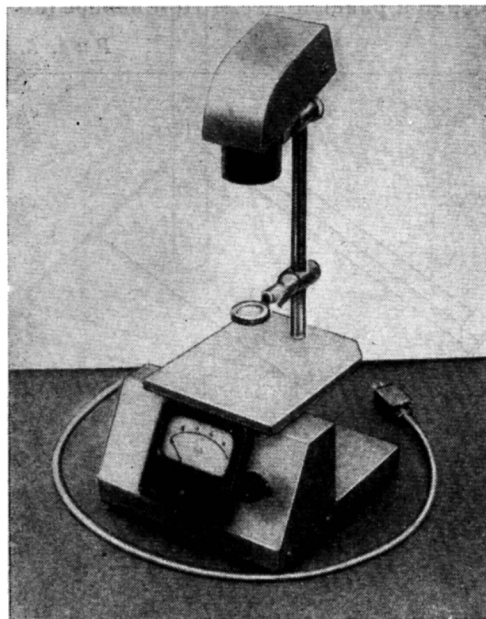
напряжение на лампу и на фотосопротивление.) Чтобы избежать колебаний напряжения, все студенты должны одновременно включать или выключать свои фотометры. Хорошо, если имеются выпрямитель и стабилизатор тока (стабилизация до 1%) для каждого прибора.

Исследуемая фотографическая пластинка кладется на предметный столик микрофотометра эмульсией вниз. Чтобы избежать царапин, надо положить на столик листы гладкой бумаги, оставляя свободной лишь середину. Края металлической пластинки должны быть гладкими и закругленными.

3. После наблюдений невооруженным глазом часто следуют наблюдения с биноклем, а затем — с учебным телескопом. Многие объекты благодаря более широкому полю зрения выглядят в бинокль эффектнее, чем в телескоп. Однако необходимо, чтобы бинокль был почти неподвижным, этого можно достичь, прислонившись к стене или дверному косяку.

4. *Секстант* (см. задачи A13, A15, A20). Это самый точный наш прибор для измерения углов, не требующий неподвижной подставки. Однако горизонт редко бывает открыт, что препятствует из-

Р и с. 4. Микрофотометр для работы студентов.



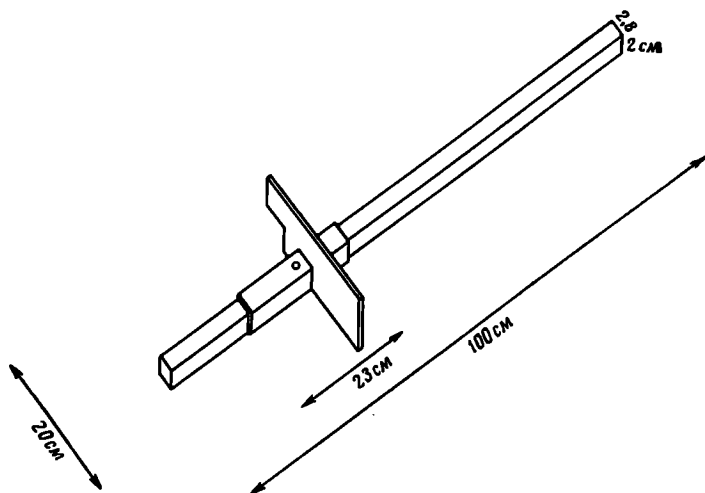
мерениям высоты. Кроме того, неопытные студенты часто испытывают некоторые трудности в получении правильного вида поля зрения.

5. Угломерный прибор «желез Якоба» (см. задачу А20, рис. 5). Это старинный инструмент, применявшийся для элементарных наблюдений, особенно для определения лунной орбиты. В нижней части прибора находятся две шкалы, из которых одна соответствует длинной, а другая короткой стороне креста (рис. 5). После того как сделана правильная установка, винт слегка закрепляется и производится отсчет. При установке шкалы надо принять во внимание расстояние между глазом и концом стержня. Деления шкалы соответствуют 1° , легко оцениваются их десятые доли. Шкала защищена стеклянной крышкой.

6. Высотомер (рис. 6, используется в задачах А7, А14). Вертикальная железная труба А высотой 63 см и диаметром 4,3 см вставлена в треугольную бетонную подставку. Внутри нее помещена труба В несколько меньшего диаметра (3,3 см), которая скользит вверх и вниз и закрепляется при помощи винта Q. Около верхнего конца трубы В имеется винт, служащий осью деревянной доски для измерений.

Эта доска размерами 48×24 см имеет два визира М и N; легкий груз, подвешенный в точке А, и шкалу BD, разделенную на сантиметры и миллиметры. Для упрощения вычислений расстояние между точкой А и шкалой BD берется равным 20 см. При измерении

Р и с. 5.



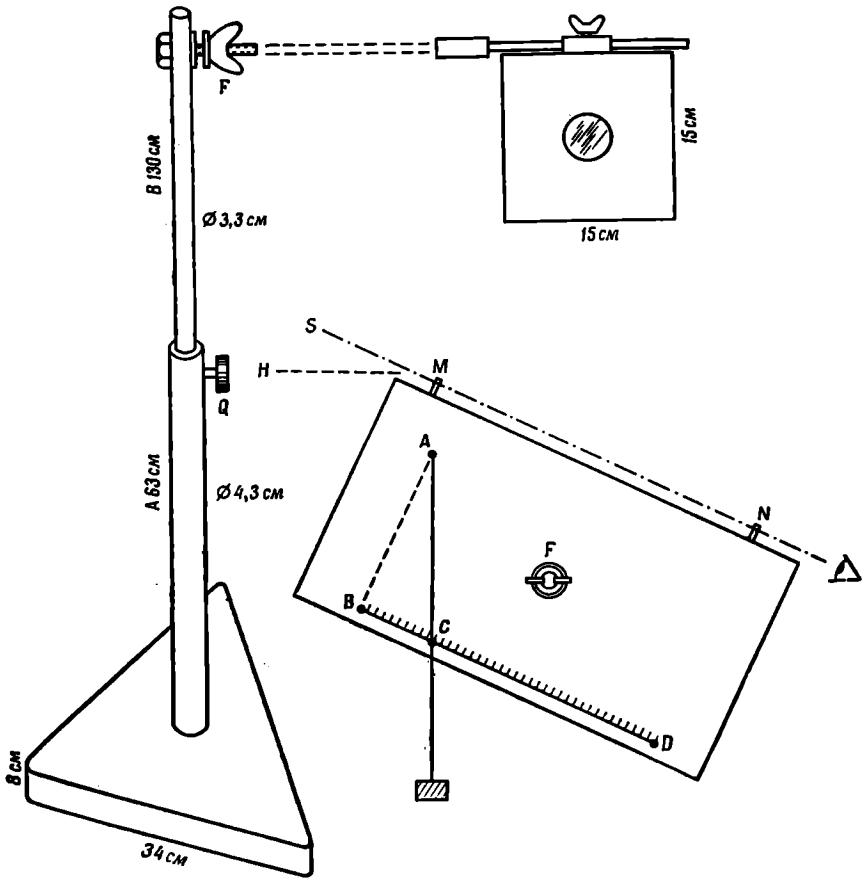


Рис. 6.

поворачиваем доску так, чтобы объект был виден в визирные приспособления *M* и *N*, затем закрепляем винт *F* и отсчитываем положение точки *C* пересечения вертикальной нити со шкалой*. Когда прибор не используется, груз помещается между двумя пружинами. К верхнему концу подвижной трубы *B* можно привинтить легко передвигаемый линзодержатель, используемый в задаче Б1.

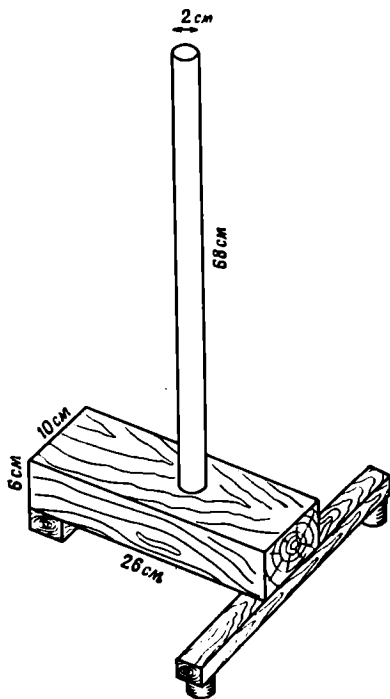
Для задачи Б2 труба *B* убирается и заменяется шарнирной головкой, несущей пиргелиометр.

7. Легкие деревянные подставки с вертикальной железной трубкой используются для крепления экрана или диафрагм (рис. 7).

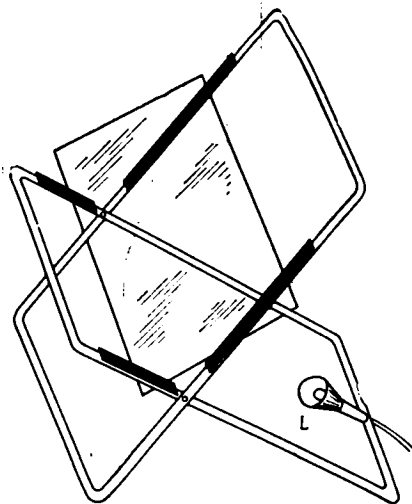
8. Станок, или подставка (рис. 8), сделан из алюминиевых полосок или труб, частично покрытых пластиком. На этот станок мож-

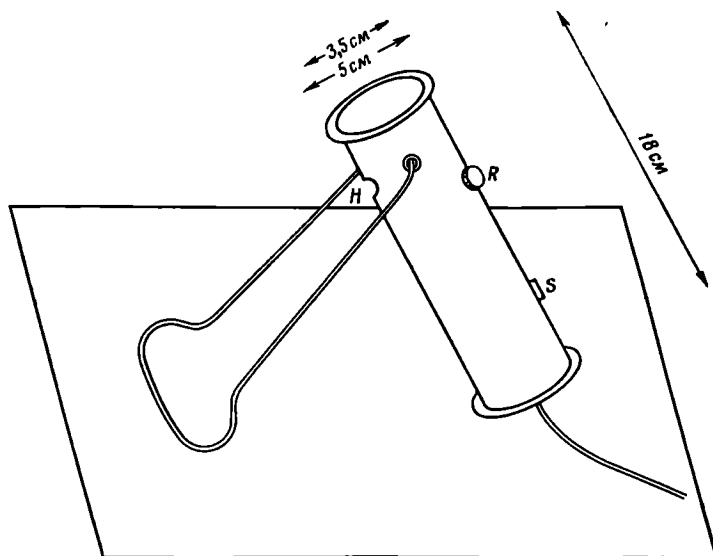
* Можно на шкале нанести сразу углы возвышения над горизонтом. —
Прим. ред.

Р и с. 7.



Р и с. 8.





Р и с. 9.

но поместить пластинку матового стекла, которая будет служить ярким фоном для спектрограмм и других фотографических пластинок, причем наклон матового стекла можно менять. Снизу матовое стекло освещается лампой накаливания, укрепленной на самой подставке либо отдельно от нее.

9. *Лампа.* Для освещения блокнотов, разделенных кругов инструментов или креста нитей были сконструированы специальные лампы (рис. 9). Они имеют выключатель S ; яркость их можно регулировать при помощи реостата R . Свет проходит через отверстие H ; можно получать белый или красный свет. Воспользовавшись простой подставкой, можно поместить лампу в наклонное положение для слабого освещения, например, звездного атласа. Оба конца цилиндра защищены резиновыми кольцами.

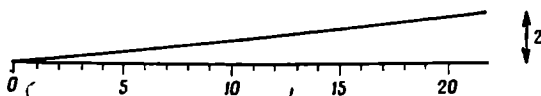
Пока на площадке не было электрической проводки на 24 в, мы использовали карманные фонарики, но при этом приходилось все время заботиться о батарейках и об уменьшении яркости (вставляя слабую лампочку или загораживая световой пучок бумагой).

10. *Шаблон* для изображения звезд разного блеска (см. задачи А1, А2). Полоска меди размерами 4×1 см и толщиной 0,12 мм, в которой просверлены отверстия диаметрами 2,2; 1,5; 1,2; 0,9; 0,5 мм.

11. *Микрошкалка* для измерения диаметров фотографических изображений звезд представляет собой репродукцию на стекле рис. 10

с таким увеличением, чтобы деление шкалы было равно точно 1 мм.

12. *Лупа.* Плоско-выпуклая линза вмонтирована в простое латунное кольцо с небольшой рукояткой. Лупу надо подносить выпуклой стороной близко к глазу.



Р и с. 10.

А. ПЛАНЕТНАЯ СИСТЕМА

ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ, ИНСТРУМЕНТЫ

А1. ЗВЕЗДЫ ВОКРУГ СЕВЕРНОГО ПОЛЮСА

Задача. Познакомиться с некоторыми созвездиями, окружающими Северный полюс мира. Составить карту этой области неба по приведенным в каталоге координатам звезд.

Подобно тому как положение места на Земле определяется его широтой и долготой, положение звезды определяется ее *склонением* δ и *прямым восхождением* α . Помните, что прямое восхождение отсчитывается вдоль небесного экватора от точки весеннего равноденствия всегда в направлении запад—юг—восток; 360° окружности соответствуют 24^h прямого восхождения.

Выполнение задачи. 1Н. (Если ясно.) Выйдя на площадку для наблюдений, найдите созвездие Большой Медведицы и Полярную звезду. Преподаватель показывает их при помощи луча яркого фонарика; студенты, находясь рядом, могут легко отождествить те звезды, на которые он указывает. Начиная с Полярной звезды посмотрите последовательно на созвездия Кассиопея, Персея, Возничего, Большой Медведицы, Малой Медведицы, Волопаса, Лебеда. Обратите внимание на яркие звезды: Капеллу (α Возничего), Арктур (α Волопаса), Денеб (α Лебеда).

Чаще применяйте «метод прямых линий» (рис. 11), позволяющий находить относительные положения звезд. На карте звездного неба найдите те созвездия, которые вы наблюдали, сравните с их видом на небе. Проведите мысленно на небе линию небесного экватора (рис. 12). Где запад, юг, восток, север? В каком направлении отсчитывается прямое восхождение?

Теперь продолжим работу в лаборатории.

2Л. Возьмите лист бумаги и нанесите на нем координатную сетку полярной области неба в масштабе $2 \text{ см} = 10^\circ$, проставьте цифры $80^\circ, 70^\circ, 60^\circ, 50^\circ, 40^\circ, 30^\circ$ около соответствующих параллелей.

3Л. Положите лист бумаги так, чтобы длинная сторона его была вертикальной. Пусть радиус, направленный вверх, соответствует $\alpha = 0^h$. Около других радиусов (представляющих собой небесные меридианы, или круги склонения) проставьте значения прямых восхождений. Наименьший интервал между кругами склонения, вероятно, можно сделать равным 20^m *. Следите, чтобы круги склонения были оцифрованы вдоль экватора в правильном направлении. Не забудьте, что карта представляет собой вид не-

* Нет необходимости все круги склонения доводить до полюса; достаточно четырех ($0, 6, 12, 18^h$). — *Прим. ред.*

бесной сферы и з н у т р и. Пусть преподаватель проверит правильность оцифровки α на координатной сетке (иначе дальнейшая работа будет бесполезной).

4Л. Нам нужны координаты следующих звезд:

$\alpha - \beta - \gamma - \delta - \epsilon - \zeta - \eta$ в созвездии Большой Медведицы (UMa),

$\alpha - \delta - \epsilon - \zeta - \eta - \gamma - \beta$ в созвездии Малой Медведицы (UMi), (α UMi — Полярная звезда),

$\beta - \alpha - \gamma - \delta - \epsilon$ в созвездии Кассиопеи (Cas). Эти координаты получим следующим образом:

а) найдите звезду в звездном атласе, определите ее приближенные координаты (точность $\Delta\delta = 1^\circ$, $\Delta\alpha = 10^m$) и выпишите в виде таблицы, форма которой приведена на стр. 27;

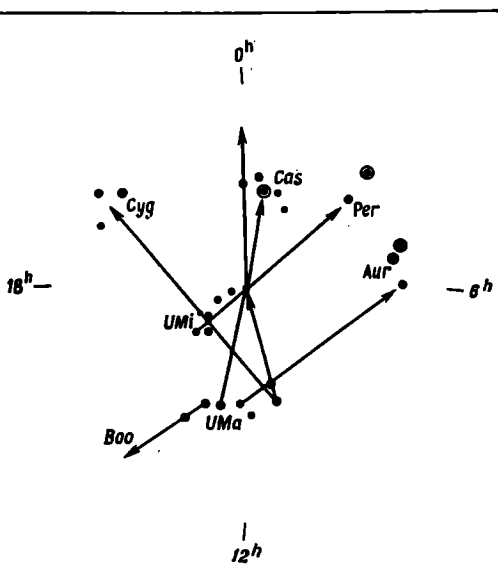
б) найдите звезду в *Астрономическом Ежегоднике* в таблице «Средние места звезд», где звезды расположены в порядке возрастания α , и выпишите координаты звезды с более высокой точностью ($\Delta\delta = 1'$, $\Delta\alpha = 1^m$).

Таков обычный метод!

Отметьте при этом блеск каждой звезды, выражаемый ее звездной величиной m . Для звезд созвездий Малой Медведицы и Кассиопеи см. табл. I на стр. 28.

5Л. Нанесите звезды на координатную сетку (п. 3Л), обозначив каждую звезду точкой, размер которой приблизительно соответствует ее блеску. Не забудьте, что я р к и е звезды имеют м е н ь ш и е звездные величины. Тонкая латунная полоска с отверстиями возрастающих размеров может служить шаблоном (стр. 23). Поставьте на карте греческие буквы (по Байеру, 1603 г.) и соедините точки слабой линией в последовательности, указанной в п. 4Л; эти линии помогут запомнить вид созвездий.

6Л. Проходит ли линия, соединяющая изображения звезд α и β UMa, точно через Полярную звезду? Оцените величину отклонения.



Р и с. 11

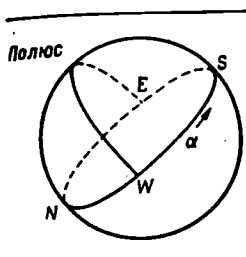


Рис. 12.

Как далеко от истинного полюса расположена Полярная звезда?

Оцените в градусах расстояние между α и β UMa.

Как найти на небе круг склонения, для которого $\alpha = 0^\circ$? Когда этот нулевой круг склонения совпадает с меридианом наблюдателя, звездное время равно 0^h . Представьте себе, как поворачивается в течение суток круг склонения, на котором $\alpha = 0^h$. Оцените звездное время в данный момент.

7Л. Найдите в звездном атласе семь созвездий, которые уже были изучены. Они соответствуют приблизительно следующим прямым восхождениям:

0^h Cas (Кассиопея)	Per (Персей)
3	Aug (Возничий)
6	
12 UMa (Большая Медведица)	
15 UMi (Малая Медведица)	
15	Boo (Волопас)
20	Cyg (Лебедь)

Запомнив эти числа, легко представить себе расположение всех созвездий на небе.

8Н. Вернитесь на площадку для наблюдений. Отыщите вновь эти семь созвездий. Сравните свой рисунок с видом неба, наметьте на рисунке положение горизонта, поставьте число и час.

Посмотрите на ζ UMa. Можете ли вы различить Мицар и Алькор? Посмотрите в бинокль и в телескоп. Нарисуйте то, что увидите. Для экономии времени в табл. I приводятся координаты некоторых указанных звезд.

Составление таблицы

Название звезды	Приближенные координаты		Точные координаты		Блеск, m
	α	δ	α 1950.0	δ 1950.0	
α UMa	$11^h 0^m$	$+62^\circ$	$11^h 01^m$	$+62^\circ 01'$	1,9

ЛИТЕРАТУРА

Shapley H., Howarth H. E., A Source Book in Astronomy, McGraw-Hill, New York, 1929. (Цитата из «Уранометрии» Байера, стр. 21.)
 • Reу H. A., The Stars. A New Way to See Them, Boston, 1967. (Рус-

ский перевод: Рей Г., Звезды. Новые очертания старых созвездий, изд-во «Мир», М., 1969, стр. 168.)

- * Дагаев М. М., Наблюдения звездного неба, изд-во «Наука», М., 1969.
- * Зигель Ф. Ю., Сокровища звездного неба. Путеводитель по созвездиям, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1968, стр. 24.
- * Ullegrich K., Nachts am Fernrohr, Berlin, 1963. (Русский перевод: Уллерих К., Ночи у телескопа, изд-во «Мир», М., 1965.)

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: координатную сетку полярной области неба, шаблон.

Для каждой пары студентов: звездный атлас, Астрономический Ежегодник СССР (можно использовать ежегодник прежних лет), небольшой карманный фонарик (затемненный).

Несколько пар биноклей, яркий карманный фонарик, телескоп.

Таблица I

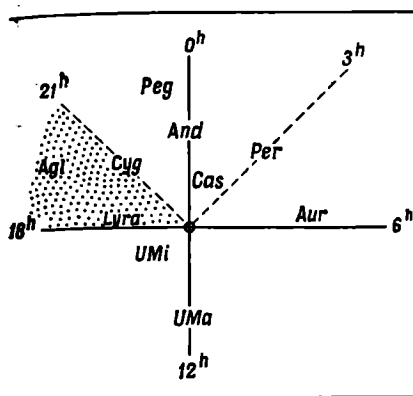
Название звезды	α 1950.0	δ 1950.0	m
UMi			
α	1 ^h 49 ^m	+89°02'	2 ^m ,0
β	14 51	+74 22	2,2
γ	15 21	+72 00	3,1
δ	17 48	+86 37	4,4
ϵ	16 51	+82 07	4,4
ζ	15 46	+77 57	4,3
η	16 19	+75 52	5,0
Cas			
α	0 38	+56 16	2,5
β	0 06	+58 52	2,4
γ	0 54	+60 27	2,2
δ	1 23	+59 59	2,8
ϵ	1 51	+63 25	3,4

А2. НЕКОТОРЫЕ ОСЕННИЕ СОЗВЕЗДИЯ

Задача. Знакомство с несколькими созвездиями, которые видны осенним вечером. Использование звездных карт.

Выполнение задачи 1Н. С площадки для наблюдений найдем Полярную звезду и определим положение небесного экватора. Изучим теперь некоторые новые созвездия, привязываясь к тем, с которыми мы уже знакомы.

Мы предлагаем для детального изучения два сектора (рис. 13):



Р и с. 13.

от $\alpha = 18^h$ до $\alpha = 21^h$
 Лебедь, Лира, Орел,
 от $\alpha = 21^h$ до $\alpha = 3^h$ Пегас,
 Андромеда, Персей.

Каждый сектор должен быть охвачен целиком, так же как в курсе географии отдельно изучают Африку, Азию, Америку. Затем сделайте привязку к соседним звездам. Сравните со своей слабо освещенной картой звездного неба.

2Л. Приготовьте лист миллиметровой бумаги с координатами

α от 18^h через $24^h = 0^h$ до 4^h ,
 δ от 0° до 60°

в масштабе $1,5 \text{ см} = 1^h$ прямого восхождения и $1 \text{ см} = 10^\circ$ склонения. Одинаков ли масштаб по обеим осям?

Разметьте шкалы. Проверьте, чтобы направление отсчета α было правильным!

3Л. Нанесите на координатную сетку приведенные ниже звезды в соответствии с их звездной величиной, соедините их линиями.

Лебедь (Cyg) $\alpha - \gamma - \beta, \delta - \gamma - \epsilon$	α Cyg — Денеб
Лира (Lyr) $\alpha - \beta - \gamma$	α Lyr — Вега
Орел (Aql) $\beta - \alpha - \gamma$	α Aql — Альтаир
Пегас (Peg) (α And) $-\beta - \alpha - \gamma - (\alpha$ And)	
Андромеда (And) $\alpha - \beta - \gamma - (\alpha$ Peg)	
Персей (Per) $\gamma - \alpha - \delta$	

Для экономии времени в табл. I приводятся координаты звезд первых трех созвездий.

Найдите координаты звезд в созвездиях Пегас, Андромеда, Персей сначала в звездном атласе, а затем в Астрономическом Ежегоднике.

4Л. Знаменитая спиральная галактика в созвездии Андромеды имеет координаты $\alpha = 0^h38^m, \delta = +40^\circ50'$. Отметьте эту точку на своих картах. Нанесите также приближенное положение очень важной точки — точки *весеннего равноденствия*. Найдите в атласе созвездие Рыб, в котором сейчас находится точка весеннего равноденствия. Прямое восхождение отсчитывается от круга склонения, проходящего через эту точку. Это тот самый круг, который, как мы заметили в предыдущей задаче, прошел через β Cas.

5Н. Сравните вид звездного неба со своим рисунком и с атласом. Заметьте, как должна быть повернута карта атласа, когда вы смотрите на север и когда — на юг. Отождествите созвездия,

Таблица I

	α	δ	m
Лебедь			
α (Денеб)	20 ^h 40 ^m	+45°,1	1 ^m ,3
γ	20 21	40,1	2,2
β	19 29	27,9	1,6
δ	19 44	45,0	3,0
ϵ	20 45	33,8	2,4
Лиры			
α (Вега)	18 36	+38,7	0,1
β	18 49	33,3	3-4
γ	18 58	32,6	3,3
Орел			
β	19 54	+6,3	3,9
α (Альтаир)	19 49	8,8	0,9
γ	19 45	10,5	2,8

которые были выбраны. Найдите туманность Андромеды, посмотрите на нее в бинокль.

6Л. Возьмите звездный атлас и посмотрите, как следует разделить поверхность сферы, чтобы изобразить ее на плоскости без больших искажений. Запишите названия нескольких звездных атласов, старых или современных, с которыми студенты имеют дело или видят на выставках.

(7Л.) Астрономы часто пользуются звездными картами. Бывают также случаи, когда надо нанести координаты, например

Таблица II

Дата	α	δ
1961 г.		
Сентябрь 6	1 ^h 59 ^m	+58°54'
28	23 36	+47 58
Октябрь 13	22 58	+38 30
28	22 44	+31 13
Ноябрь 7	22 42	+27 40
Декабрь 17	22 59	+20 39
27	23 14	+19 49

при появлении кометы и если известна ее эфемерида. В качестве примера в табл. II приведены координаты кометы Вилсона — Хаббарда 1961 d, которые вы можете нанести на свои карты.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: лист миллиметровой бумаги, шаблон.

Для каждой пары студентов: звездный атлас, Астрономический Ежегодник (можно за прошлые годы), карманный фонарик (затемненный) или лампу (рис. 9).

Несколько биноклей, несколько планисфер, яркий карманный фонарик, несколько звездных атласов, старых и новых.

ЛИТЕРАТУРА

Bečvář, Katalog, Prague, 1951.

Bečvář, Atlas Coeli, 1956.

De Callatay V., Atlas du Ciel, Brussels, 1955.

Schlesinger F., Jenkins L. F., Catalogue of Bright Stars, New Haven, ed. D. Hoffeit, 1964.

Schurig R., Götz P., Himmelsatlas, Mannheim (несколько изданий).

Von Brunsart H., Kleine Lebensbeschreibung der Sternbilder, Stuttgart, 1963.

* Михайлов А. А., Звездный атлас, содержащий для обеих полушарий все звезды до 8,25 величины, М., 1957.

* Марленский А. Д., Звездный атлас, 2-е изд., изд-во «Просвещение», М., 1970. (Оба полушария неба, звезды до 5^m,75, 2 стр. + 15 карт.)

А3. СФЕРИЧЕСКИЕ ТРЕУГОЛЬНИКИ

Цель задачи. Сформулировать любую астрономическую задачу при помощи формул сферической тригонометрии. Познакомиться с некоторыми простейшими формулами.

Для выполнения каждой, даже небольшой задачи следует сделать грубый набросок небесной сферы. Каждый студент выполняет вычисления самостоятельно, а затем результаты сравниваются. Логарифмы используются редко; вычисления легко проводятся при помощи современных вычислительных машин. Мы будем использовать логарифмические линейки, пренебрегая при вычислениях долями градуса.

Выполнение задачи (Л.) 1. Вычислите угловое расстояние между звездами Денеб и Вега. Их координаты были приведены в задаче А2. Повторите вычисления при помощи логарифмов, преобразовав для этого формулу.

2. Чтобы установить, могут ли межзвездные облака, находящиеся вблизи галактической плоскости, ослабить свет звезды, надо определить ее галактическую широту. Определите галактическую широту звезды Антарес в созвездии Скорпиона. Полюс Млечного Пути имеет координаты эпохи 1950.0

$$\alpha = 12^{\text{h}} 49^{\text{m}}, \delta = +27^{\circ} 24'.$$

3. В каком направлении движется в данный момент Земля в своем обращении вокруг Солнца? Для ответа на этот вопрос найдите в *Астрономическом Ежегоднике* координаты Солнца λ_0, β_0 . Нанесите на координатную сетку эклиптику, определите сначала λ и β , а затем α и δ требуемой точки на сфере. Посмотрите в звездном атласе, где расположена эта точка. Действительно ли она находится на эклиптике? Наклон эклиптики к экватору $\epsilon = 23^\circ 27'$.

4. Вычислите азимут и высоту Сириуса для момента $9^h 00^m 00^s$ звездного времени на вашей обсерватории.

5. Под каким углом к горизонту восходит Солнце? Покажите, что этот угол равен параллактическому углу, и вычислите его для места наблюдения. Как он меняется в течение года?

6. Проведите вычисления в одной из задач с точностью до минуты дуги.

7. Выполните некоторые из этих задач при помощи астролябии.

Пример схемы вычисления для решения задачи 1

Денеб	Вега
$a = \dots$	$a' = \dots$
$\delta = \dots$	$\delta' = \dots$
$90 - \delta = b = \dots$	$90 - \delta' = c = \dots$
$\cos b = \dots$	$\cos c = \dots$
$\sin b = \dots$	$\sin c = \dots$
$a - a' = A = \dots$	
$\cos A = \dots$	
$\cos b \cos c = \dots$	
$\sin b \sin c \cos A = \dots$	
<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>	
$\cos a = \dots$	
$a = \dots$	

ЛИТЕРАТУРА

- Becker Fr., *Grundriss der sphärischen und praktischen Astronomie*, Berlin, 1934.
- Becker L., *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 91, 226 (1930). Чертежи воспроизведены в увеличенном масштабе, точность $1'$.
- Kohlshütter E., *Messkarte zur Auflösung sphärischer Dreiecke*, Reimer, Berlin.
- Smart W. M., *Textbook on Spherical Astronomy*, ch. I, 1962.
- * Куликов К. А., *Курс сферической астрономии*, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1969.
- * Пясковский Д. В., *Сферическая астрономия*, изд. Киевского университета, Киев, 1964.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: логарифмическую линейку, таблицы тригонометрических функций.

Для каждой пары студентов: звездный атлас, Астрономический Ежегодник. Несколько астролябий.

А4. СОЛНЕЧНЫЕ ЧАСЫ

Солнечные часы имеют стержень, как правило, параллельный оси вращения Земли*, его тень падает на плоскость, где нанесены часовые линии. Простейшие солнечные часы—это горизонтальные часы, сооруженные на горизонтальной подставке, и вертикальные часы, прикрепленные к вертикальной стене, обращенной к югу.

Задача (Л). Начертить часовые линии в каждом из этих случаев.

Выполнение задачи. 1. Изучите сначала *горизонтальные солнечные часы* при помощи глобуса либо при помощи изображения небесной сферы.

а. Пусть наклон оси глобуса соответствует широте места наблюдения. Эта ось представляет собой стержень солнечных часов.

б. Рассмотрим круг склонения, на котором расположено солнце, движущееся по небесной сфере с постоянной угловой скоростью (т. е. мы рассматриваем здесь *среднее солнце*). В плоскости этого круга склонения будет падать тень стержня.

в. Следовательно, часовая линия будет направлена к точке пересечения этого круга склонения с горизонтом.

2. Пусть выбранный на вращающемся глобусе круг склонения в начале каждого часа имеет часовой угол t . Найдите приблизительно азимут тени A для каждого часа.

3. Азимуты можно получить проще и точнее, если использовать сферический треугольник (рис. 14). Широта φ определяет высоту полюса, среднее солнечное время t (будем отсчитывать его от полудня) известно; заметим, что наш сферический треугольник прямоугольный. Найдите формулу для вычисления A по φ и t . Вычислите значения A для начала каждого часа в интервале между 0 и 6^h. Положение тени в любой другой час легко определяется по этим данным. Сравните со своими первыми грубыми оценками.

(4.) Повторите вычисления для вертикальных солнечных часов.

(5.) Между положениями истинного и среднего солнца существует небольшое различие Δt , называемое *уравнением времени*, которое может достигать самое большее 16^m. Какая разность ΔA в азимуте часовых линий будет соответствовать этому наибольшему различию во времени?

* Иногда «циферблат» солнечных часов разбивается вокруг вертикально стоящего *энома*, сделанного в виде обелиска. — *Прим. ред.*

(6.) Начертите на листе толстой фанеры, где уже пропилен разрез, часовые линии; в прорезь вставьте кусок картона нужной высоты и приклейте его к фанере (рис. 15). Эту небольшую модель можно теперь испытать.

Это удобный случай определить направление север — юг по расположению тени.

При выполнении п. 5Н задачи АБ вы еще познакомитесь с тем, как найти момент полудня в том месте, где вы находитесь. Изготовьте солнечные часы и установите их. Познакомьтесь с несколькими древними и современными солнечными часами, посмотрите книги, содержащие их описание и фотографии.

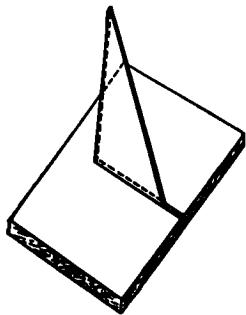


Рис. 15.

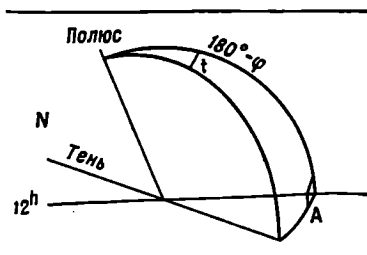


Рис. 14.

Пример схемы вычисления

t	0h	1h	2h
	0°	30°	60°

A (по оценке) =

$$\lg \operatorname{tg} t =$$

$$\sin (180^\circ - \varphi) =$$

$$\lg \operatorname{tg} A =$$

$$A \text{ (вычисленное)} =$$

ЛИТЕРАТУРА

Mayall R. N., Mayall M. L., Sun Dials, Boston, 1938.

Cousins F. W., Sundials, London, 1969.

Rohr R. J., Sundials, History, Theory and Practice, Toronto, 1970.

* Майстров Л. Е. (ред.), Альбом научных инструментов, изд-во «Наука», М., 1968.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: трехзначные таблицы тригонометрических функций и их логарифмов.

Желательно для каждой пары студентов: кусок фанеры с прорезью, кусок картона, ножницы.

Несколько глобусов.

Набор солнечных часов, книг о них и их фотографий.

А5. СУТОЧНОЕ ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ

Все звезды в течение суток описывают вокруг полюса мира окружности длиной $2d \cos \delta$. Следовательно, за час звезда проходит $360^\circ \cos \delta / 24 = 15^\circ \cos \delta$, а за минуту $15' \cos \delta$.

Астрономы используют иногда это весьма регулярное движение для определения угловых расстояний. Однако звезды движутся по параллелям, тогда как нас интересует расстояние по большому кругу. Но различие пренебрежимо мало, пока угловые расстояния невелики.

Задача. Определить, сколько времени требуется звездам с различными склонениями, чтобы пересечь поле зрения телескопа. Затем по этим данным найти размер поля зрения в угловых единицах.

Выполнение задачи. 1Н. Суточное движение звезд настолько велико, что его можно наблюдать непосредственно, особенно у звезд, близких к экватору. Повернувшись лицом к югу, займите такое положение, чтобы довольно яркая звезда была видна очень близко к стене или столбу. Не двигайтесь некоторое время. Очень скоро вы увидите, что звезда либо приближается к выбранному предмету, либо удаляется от него.

2Л. Запишите номер вашего телескопа, посмотрите, как он движется, закрепляется, фокусируется. Закрепляя телескоп, никогда не применяйте силу! Закрепляйте осторожно. Сначала закрепите слегка* на случай, если понадобится исправить положение трубы.

3Н. Вынесите телескоп на площадку для наблюдений и поставьте так, чтобы ось была направлена на север; наведите инструмент на яркую звезду. Труба и объект, который вы наблюдаете, всегда должны находиться по разные стороны колонны.

а. Посмотрите вдоль трубы, чуть выше и немного сбоку от нее; звезда должна оказаться теперь где-то в поле зрения. Слегка закрепите телескоп, чтобы его положение можно было подправить.

б. Отфокусируйте телескоп. Пусть ваш товарищ освещает объектив сбоку, чтобы был виден крест нитей.

4Н. Слегка сдвигая телескоп, поместите звезду на пересечении нитей. Когда вам это удастся, скажите «есть», закрепите и больше не трогайте телескоп. Ваш товарищ по своим часам должен заметить этот момент (t_1) с точностью до секунды.

Вследствие суточного вращения Земли звезда будет перемещаться в поле зрения телескопа. Следите за движением звезды в окуляр и, когда она достигнет края поля зрения, скажите «стоп», а ваш товарищ пусть вновь заметит момент (t_2).

* После исправления надо закрепить винты крепче, но всегда соблюдая осторожность. — *Прим. ред.*

5Н. Интервал времени $t_2 - t_1$ обратно пропорционален скорости движения. отождествите звезду с картой и запишите ее название. Это очень важно, иначе ваши наблюдения будут бесполезны! Запишите также приближенное значение склонения.

6Н. Повторите эту процедуру для звезд с различными склонениями и каждый раз определяйте время прохождения t . Постарайтесь пронаблюдать по крайней мере одну звезду с δ меньше 30° , одну — с δ между 50 и 60° и еще одну — с δ больше 60° .

7Л. Нанесите на график $1/t$ в функции $\cos \delta$. Прямая линия, проведенная через эти точки, должна пройти через начало координат. Почему?

8Л. Каковы угловые размеры поля зрения телескопа? Изменяются ли они, если поставить диафрагму? Какой элемент в конструкции телескопа ограничивает поле зрения?

Теперь вы можете приближенно оценить угловое расстояние между двумя звездами, если они одновременно видны в поле зрения.

9Л. Возьмите одну из карт, составленных вами в задачах А1 или А2, и нанесите на нее круг диаметром, равным диаметру поля зрения телескопа. В том же масштабе нарисуйте кружки, соответствующие размерам Солнца или Луны.

10Л. Обычно используются часы, показывающие поясное* время. Допустимо ли это? Если нет, то какое время надо использовать? Оцените ошибку, которая при этом возникает.

ЛИТЕРАТУРА

Д а н ю н А., *Astronomie générale*, Paris, 1952—1953, p. 42—43.

* Б а к у л и н П. И., К о н о н о в и ч Э. В., М о р о з В. И., Курс общей астрономии, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1970, гл. I.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: телескоп, звездный атлас, часы с секундной стрелкой или секундомер.

Для каждого студента: миллиметровую бумагу.

А6. ПЕРЕХОД ОТ ОДНОЙ СИСТЕМЫ СЧЕТА ВРЕМЕНИ К ДРУГОЙ

Рассмотрим:

звездное время, отсчитываемое от момента верхней кульминации точки весеннего равноденствия (звездный полдень); обозначения GST и LST соответствуют гринвичскому и местному звездному времени**;

* См. примечание на стр. 37. — *Прим. ред.*

** У нас используются обозначения \hat{S} и \hat{z} соответственно. Их мы и будем употреблять в дальнейшем. — *Прим. ред.*

всемирное время UT, отсчитываемое от момента нижней кульминации среднего солнца (солнечная полночь) на меридиане Гринвича;

поясное время, используемое в повседневной жизни, отличается от всемирного на целое число часов в зависимости от принятого в данной стране деления на часовые пояса*.

Для простоты будем пренебрегать малым различием между эфемеридным и всемирным временем. Упражнения по переводу времени из одной системы в другую требуют тщательной подготовки, так как расположение соответствующих таблиц в *Астрономическом Ежегоднике СССР* неоднократно изменялось за последние годы. Таблицы теперь так удобно составлены, что перевод одного времени в другое очень прост.

Переход от единиц времени к единицам дуги (П. Г. Куликовск и й, Справочник любителя астрономии, изд-во «Наука», 1971, табл. 82, 83, 89—92).

1Л. Запишите раз и навсегда долготу своей обсерватории в угловых единицах (западная долгота положительна), она часто будет нужна. Выразите эту долготу сначала в единицах времени (со всей точностью), а затем вновь в угловой мере и посмотрите, получится ли то же число, которое было вначале.

Задачи для долготы Гринвича

2Л. Переведите интервал звездного времени в интервал всемирного (*Астрономический Ежегодник СССР*, табл. IIb, IIIb).

3Л. Преобразуйте всемирное время в звездное (*Астрономический Ежегодник СССР*, табл. «Звездное время» и табл. IIa, IIIa).

В заданный день

0^h UT соответствует... S,

t^h (UT) = t (S) + Δt (S),

t^h (UT) соответствует... S.

t (UT) и t (S) — промежуток времени в UT и S.

Другой метод использует данные о кульминации точки весеннего равноденствия.

Задачи для других долгот

Решение таких задач проводится при помощи данных о звездном времени в Гринвиче, которые приводятся в *Астрономическом Ежегоднике СССР*.

* В СССР круглый год используется декретное время, которое на 1 час больше поясного. В некоторых странах часы переводятся на час вперед лишь на летнее время. — *Прим. ред.*

4Л. Для места наблюдения с западной долготой L найдите местное звездное время в $20^h 00^m 00^s$ всемирного времени:

$$UT \rightarrow S \rightarrow s.$$

Для перевода поясного времени места наблюдения во всемирное время надо прибавить к нему целое число часов N , равное номеру часового пояса, приблизительно соответствующее западной долготе места наблюдения, выраженной в часах. (Для места, расположенного в востоку от Гринвича, следует вычесть номер пояса. — *Перев.*)

5Н. По тени отвеса в истинный полдень определите направление север — юг. Этот быстрый метод используется часто там, где инструмент должен быть ориентирован приблизительно, например в экспедиции. При этом легко достигается точность в $0^\circ,5$.

В Астрономическом Ежегоднике найдите таблицу «Солнце». В столбце «Верхняя кульминация» приводятся моменты a кульминации в Гринвиче по эфемеридному времени, которое, как сказано выше, в большинстве задач можно считать равным всемирному времени. Полдень в данном месте наблюдения с долготой L наступит в момент $a + L$ по всемирному времени. Интерполируя a между двумя последовательными кульминациями в Гринвиче, найдите величину a для указанного момента. Момент всемирного времени $a + L$ соответствует моменту $a + L - N$ поясного времени. Вычислите разность $L - N$ раз и навсегда. Выясните, нужно ли интерполировать величину a в пределах требуемой точности. Если нет, то к чему эта операция приводит.

Теперь самостоятельно определите направление север — юг на спортивной площадке или в саду при помощи отвеса.

ЛИТЕРАТУРА

- * Астрономический Ежегодник СССР, изд. ИТА, Л., изд-во «Наука», М.
- * Астрономический календарь, изд-во «Наука», М.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: Астрономический Ежегодник, желательно 1965, 1966 или более поздних лет.

Демонстрации. Многие радиостанции каждый час передают сигнал «шесть точек» с интервалом в 1 сек; последняя точка совпадает с началом часа. Поправка часов, показывающих всемирное время, определяется с точностью $0^\circ,1$. Найдите такое место, где можно одновременно слышать часы, идущие по всемирному и по местному звездному времени. Прислушайтесь к моментам наилучшего совпадения секунд. Обратите внимание на меньшую продолжительность секунд звездного времени и постепенно возрастающую разность фаз.

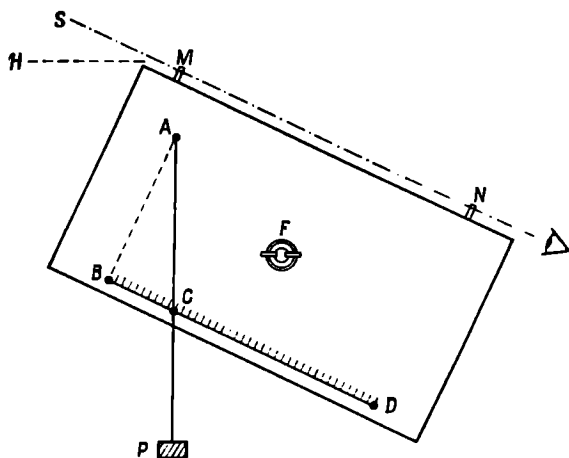
А7. ПРОСТЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ С ВЫСОТОМЕРОМ

Инструмент. В экспедиции для измерения высоты звезды используются теодолит, переносный пассажный инструмент или секстант (на корабле). Мы воспользуемся простейшим приспособлением для определения высоты светила: прямоугольной доской, прикрепленной к тяжелой подставке, которая надлежащим образом ориентирована. Доска поворачивается вокруг винта F , и ее длинная сторона указывает на звезду. При наведении используются визирь N и M (рис. 16; см. также рис. 6); затем доска осторожно закрепляется гайкой в виде ласточкина хвоста. Нить отвеса P будет служить нам вертикалью. Угол SMN равен углу BAC . Высота звезды определяется по тангенсу угла BAC , равному BC/AB . Для простоты возьмем $AB = 20$ см. Сравнив с наблюдениями, выполненными с теодолитом, можно установить миллиметровую шкалу BCD * так, чтобы отвес проходил через точку B , когда визирная линия NM горизонтальна. Сравните полученные высоты с измеренными при помощи рефрактора (А11); точность наведения без телескопа значительно ниже, однако отсчет углов лучше. Каждое измерение высоты должно быть повторено несколько раз. Вспомните Тихо Браге, который достигал точности в $1'$! Остерегайтесь ветра!

Предварительные измерения. Проведите несколько грубых оценок высоты безо всякого инструмента.

* Шкалу BD можно проградуировать в углах высоты h . — *Прим. ред.*

Р и с. 16.



а. Вытяните руку и разожмите пальцы, расстояние между концами большого пальца и мизинца приблизительно 20° .

б. Посмотрите на большой палец вытянутой руки. Его толщина соответствует примерно 2° .

в. Попробуйте определить положение зенита и заметьте расположенные там звезды; теперь повернитесь на 180° и снова посмотрите в зенит. Вы будете удивлены, заметив разницу в своих оценках положения зенита.

Задача 1. Измерить высоту полюса мира по Полярной звезде. Это эквивалентно определению широты места.

Выполнение задачи. 1Н. Измерьте высоту Полярной звезды; в первом приближении это уже высота полюса мира. Для уточнения отметьте по своим часам время наблюдения (точность 5^m).

2Л. Сравните свои наручные часы с часами в лаборатории и приблизительно определите местное звездное время момента наблюдения.

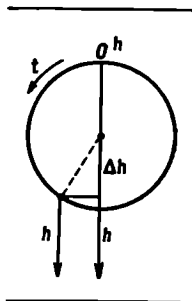
3Л. Заметим, что звезда α UMi удалена от полюса на $52'$ и описывает вокруг него за 24^h звездного времени окружность такого радиуса. Пусть t — часовой угол Полярной звезды, тогда $\varphi = h - 52' \cos t = h + \Delta h$ (рис. 17). Величина Δh дается в Астрономическом Ежегоднике СССР как функция местного звездного времени. Прибавив поправку Δh к наблюдаемой величине h , получим более точное значение высоты полюса мира. Сравните свой результат с результатами других студентов.

4Л. Наблюдение Полярной звезды является также простым способом определения направления на север. Как надо изменить формулу в этом случае?

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: высотомер, часы, Астрономический Ежегодник СССР (можно использовать копии, снятые с Астрономических Ежегодников СССР за предыдущие годы); часы, показывающие местное звездное время.

Задача 2. В экспедиции, если невозможен прием радиосигналов точного времени, часто полезно самим вести определение времени. Для этого надо измерить высоту восходящей или заходящей звезды, найти ее часовой угол и, следовательно, звездное время ($s = \alpha - t$). Можно показать, что эти измерения наиболее точны, если звезда находится в первом вертикале (соединяющем точки востока и запада).

5Л. Поставьте свои часы по часам, показывающим местное звездное время (с точностью $0^m,1$). Определите поправку часов и всякий раз вводите ее.



Р и с. 17

6Н. Найдите подходящую звезду, по возможности на западе или на востоке и невысоко над горизонтом. Несколько раз определите ее высоту при помощи высотомера. В моменты, когда высотомер приведен на звезду, ваш товарищ должен заметить по своим часам время (точность 0^м,1). Поразительно, как быстро меняется высота звезды; изменение заметно уже через 1—2^м.

7Л. Нанесите отсчеты высотомера h против времени t , проведите гладкую среднюю кривую и выберите одну из точек для дальнейших вычислений.

8Л. Из сферического треугольника полюс — зенит — звезда определите местное звездное время и сравните его с показанием своих часов, учитывая, что часы отстают на 10° каждый час по сравнению с часами, идущими по местному звездному времени.

ЛИТЕРАТУРА

Cha uvenet W., A Manual of Spherical and Practical Astronomy, Philadelphia, Vol. I, ch. 5.

N i j l a n d A. A., Astron. Nachr., 160, 257 (1903).

* Б л а ж к о С. Н., Курс практической астрономии, 3-е изд., Гостехиздат, М., 1951.

А8 (Л). ЭКСЦЕНТРИСИТЕТ РАЗДЕЛЕННОГО КРУГА

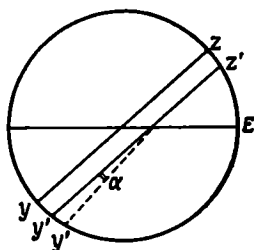
Исследуем лимбы всех видов разделенных кругов — основных частей переносных инструментов. Наиболее удобны для этого старые инструменты, так как ошибки в них больше.

Разделенный круг — самая ценная часть астрономического инструмента, и с ним надо обращаться весьма бережно. Обычно круг посеребрен, и, чтобы он не окислялся, не следует трогать его пальцами.

1. Изучите сначала, как устроен круг инструмента. Обычно он имеет два верньера на одной алидаде. Что вращается — круг или алидада? Закрепите алидаду и попробуйте, как работает

Р и с. 18.

Р и с. 19.



0	1	2	3
1	1	1	1

корректирующий винт. Хорошо ли фокусируются микроскопы или лупы? Шкала должна быть хорошо освещена; избегайте бокового асимметричного освещения, при нем деления видны очень четко, но слегка смещены; используйте для освещения настольную лампу или карманный фонарик.

2. Определите цену деления и освоитесь с оцифровкой. Сделайте набросок шкалы делений на протяжении нескольких градусов. Верньеры будут исследованы ниже.

Задача. Центр алидады никогда не совпадает точно с центром разделенного круга, поэтому вместо отсчета z на алидаде будет ошибочный отсчет z' (рис. 18). При этом $z - z' = e \sin(z - E)$, где e — эксцентриситет, равный расстоянию между центром круга и центром алидады, E — положение, при котором z' становится равным z . Ошибка изменяется от $+e$ до $-e$; обычно она мала. Определим e и E .

Выполнение задачи. 3. Совместите как можно точнее нулевое деление одного верньера с нулевым делением шкалы; если установка правильна, то положения ближайшего правого и левого делений верньера должны быть симметричны. Ваш товарищ должен точно отсчитать противоположный верньер, т. е. определить число делений верньера n налево или направо от нуля до полного совпадения (рис. 19), иногда это совпадение может прийти на промежуток между штрихами, что надо определить с точностью до половины деления. (Цена деления будет получена дальше.)

4. Повторите эти наблюдения при положениях круга 30, 60, 90, ..., 360; 30, 60°. Не старайтесь сразу подметить систематическое изменение отсчетов, просто снимайте отсчеты. Повторяя некоторые отсчеты, можно оценить достигнутую точность. Часть отсчетов целесообразно сделать с интервалом в один градус, это дает представление о точности нанесения штрихов.

5. Отложите значения n в функции z . График будет лучше, если после отсчета при 360° повторить отсчеты при 30 и 60°. Несмотря на разброс точек вследствие неизбежных небольших ошибок отсчетов и неточности нанесения штрихов шкалы, обычно можно выявить синусоиду.

6. Если два нулевых отсчета верньера различаются не на 180°, а на $180^\circ + \alpha$, то вся синусоида расположится выше или ниже горизонтальной оси, причем $\bar{n} = \alpha$. Вычислите α (в тех же единицах, что и n) и проведите соответствующую горизонтальную ось синусоиды. Проведите теперь по наблюдаемым точкам синусоиду, принимая во внимание расстояние между максимумом и минимумом, между точками пересечения с осью и т. д. Амплитуда синусоиды соответствует очень малому углу e/r , где r — радиус алидады. По нулевым значениям отсчитываем E .

7. Изучим теперь более подробно верньер. Совместите его нулевое деление с одним из делений круга. Положения следующих

штрихов верньера и разделенного круга будут различаться тем сильнее, чем дальше они находятся от совпадающих штрихов. Посмотрите, через сколько делений штрихи вновь совпадут. Это даст различие между ценой деления верньера и круга. Теперь станет понятно, что значат числа на шкале верньера. Нарисуйте часть обеих шкал (рис. 19). Поместив верньер в произвольное положение, можно сначала грубо произвести отсчет, а затем уточнить его при помощи верньера.

8. Значения α и e/r можно выразить теперь в угловых единицах, а затем в радианах; αr и e определяются в долях миллиметра.

(9.) Более точно параметры синусоиды определяются методом наименьших квадратов. Находим

$$\overline{n \cos z} = -e \sin E,$$

$$\overline{n \sin z} = +e \cos E.$$

Эти уравнения легко решить.

ЛИТЕРАТУРА

Chauvenet W., A Manual of Spherical and Practical Astronomy, Philadelphia, vol. II, ch. 2.

• Блажко С. Н., Курс практической астрономии, изд. 3-е, М.—Л., 1951.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: разделенный круг, предпочтительно от старого инструмента, два верньера с лупами, настольную лампу и карманный фонарик, лист миллиметровой бумаги.

А9. УСТАНОВКА ТЕЛЕСКОПА

Задача. Проверить ориентировку самодельного телескопа с экваториальной монтировкой. Перед началом работы на телескопе необходимо его правильно установить, чтобы координаты звезд можно было непосредственно отсчитывать по разделенным кругам. Полярная ось инструмента должна быть направлена точно на полюс.

Выполнение задачи. 1Л. Познакомьтесь с телескопом сначала в лаборатории. В дальнейшем мы будем употреблять понятия *вертикальная колонна* и *(полярная) ось*. Допустим, что телескоп установлен, полярная ось направлена к Северному полюсу мира. Посмотрите, как движется труба по склонению и часовому углу, как разделены круги? Чему равна цена каждого деления? Направьте телескоп на δ 90, 30, 0°. Затем устанавливайте его в различных часовых углах и отсчитывайте деления на часовом круге. Деления не имеют знаков плюс или минус, поэтому, чтобы

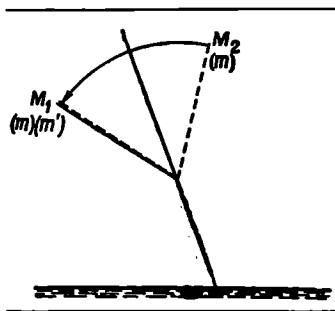
избежать ошибки в знаке, сначала приближенно определите угол, а затем точно отсчитайте деления.

2Н. Телескоп теперь находится на площадке для наблюдений. Одну ножку треноги поставьте в углубление, другую в канавку, а третья остается на ровной поверхности. Проверьте сначала, равен ли отсчет круга склонений 90° , когда труба телескопа параллельна оси. Для этого направьте телескоп на яркую звезду M_1 вблизи меридиана и отсчитайте ее положение t на круге склонения. Закрепленный по склонению телескоп поверните на 180° по часовому углу; если первоначально он был справа от колонны, то теперь будет слева от нее. Теперь телескоп направлен в точку неба M_2 , симметричную звезде M_1 относительно полярной оси. Отсчет не изменился. Изменив только склонение, вновь наведите телескоп на звезду и запишите отсчет t' . Среднее из двух отсчетов t и t' соответствует точному направлению оси. Равно ли это среднее 90° ? Если нет, то определите поправку Δ , которую надо ввести во все отсчеты круга склонения. На делении круга, равном $90^\circ + \Delta$, поместите, если это необходимо, небольшой указатель, соответствующий положению, когда телескоп параллелен оси.

3Н. Теперь проверим, как телескоп ориентирован. В первом приближении положение телескопа можно определить либо по тени отвеса в полдень, либо по Полярной звезде ночью. Мы уже провели довольно точную установку телескопа. Посмотрим теперь, насколько она правильна. Это легко выполнить даже без разделенных кругов: вследствие суточного вращения звезда движется по параллели; следовательно, она должна оставаться в центре поля зрения телескопа, закрепленного по склонению и движущегося по часовому углу вокруг полярной оси. Для проверки естественно выбрать звезды, расположенные не слишком близко к полюсу мира. Наблюдения звезд на юге дают возможность проверить азимут полярной оси, а на востоке или западе ее высоту.

Слегка сдвиньте телескоп, подложив металлическую пластинку под одну из его ножек (под ножку на ровной поверхности), определите отклонение и оцените чувствительность метода.

4Н. Если инструмент имеет круг склонения, то можно применить более быстрый метод, преимущество которого в том, что он не требует измерения времени. Пронаблюдайте несколько хорошо отождествляемых звезд при различных часовых углах, при этом каждый раз точно отсчитывайте склонение и приближенно часовой угол.



Р и с. 20.

5Л. Полученные склонения сравните со склонениями, данными в *Астрономическом Ежегоднике*, найдите разность этих величин и отложите ее против часового угла. В общем случае вы получите синусоиду. Этот простой график сразу дает полную информацию о положении оси телескопа. Действительно, ордината оси синусоиды соответствует ошибке нуль-пункта круга склонения. Часовые углы, где разность $\delta_{\text{набл}} - \delta_{\text{ист}}$ экстремальна, указывают направление отклонения оси телескопа от истинного полюса, а величина этого отклонения определяется амплитудой синусоиды.

6Н. Если ориентировка телескопа достаточно точно проверена, подложите металлическую пластинку под одну из ножек и повторите все измерения, чтобы вновь оценить чувствительность метода.

Составление таблицы

Название звезды	Часовой угол	$\delta_{\text{набл}}$	$\delta_{\text{ист}}$	$\Delta \delta$
...
...
...

(7.) Надо проверить также и нуль-пункт делений часового угла. Это будет сделано в следующей работе (А10, п. 6).

ЛИТЕРАТУРА

Sidgwick J. B., *Amateur Astronomer's Handbook*, London, 1954, ch. 16.
 * Б л а ж к о С. Н., *Курс практической астрономии*, 3-е изд., Гостехиздат, 1951.
 * К у л и к о в с к и й П. Г., *Справочник любителя астрономии*, 4-е изд., изд-во «Наука», М., 1971, стр. 299 — 302.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: миллиметровую бумагу.

Для каждой пары студентов: небольшой телескоп на экваториальной установке, металлическую пластинку толщиной 3 мм, *Астрономический Ежегодник*, звездную карту, карманный фонарик.

А10. НАВЕДЕНИЕ ТЕЛЕСКОПА НА ЗВЕЗДУ

Эта простая операция лежит в основе почти любого астрономического наблюдения и для своего освоения требует некоторой практики. Мы будем действовать в два приема:

1) проверим правильность установки телескопа и его кругов,
2) направим телескоп в нужное положение и посмотрим, находится ли звезда в поле зрения.

Выполнение задачи. Часть I. 1Л. Используем для этих наблюдений часы, идущие по местному звездному времени s . Поставьте насколько возможно точно свои наручные часы по звездному времени, сравнив их со звездными часами; если и останется небольшая разность, то не больше 30° . Предположим, что наручные часы будут показывать местное звездное время в течение всего вечера.

2Л. Посмотрите, как закрепляется телескоп и как оцифрованы деления кругов. Направьте телескоп в некоторую точку и отсчитайте координаты.

3Н. Найдите яркую звезду, наведите на нее телескоп и слегка закрепите его. Если крест нитей телескопа не освещается, то один из студентов должен так осветить объектив сбоку, чтобы стал ясно виден крест нитей. Теперь, если нужно, немного измените положение телескопа так, чтобы звезда оказалась точно в центре поля зрения. Дайте сигнал «есть».

4Н. Второй наблюдатель по «звездным» часам замечает момент времени. Затем не спеша отсчитайте по разделенным кругам часовой угол и склонение звезды. Чтобы избежать ошибки в знаке, сначала грубо, на глаз, оцените координаты. Тщательно отождествите звезду по звездному атласу.

5Н. Повторите процедуру для другой звезды в другой области неба.

6Л. Полученные координаты обеих звезд сравните с координатами, данными в Астрономическом Ежегоднике, помня при этом, что часовой угол равен местному звездному времени минус прямое восхождение звезды ($t = s - \alpha$). Если согласие удовлетворительное, переходите к выполнению второй части работы. Если нет, предупредите преподавателя, который, возможно, сможет сразу исправить ошибку в установке телескопа небольшим поворотом часового круга.

Часть II. 7Л. Используйте одну из наблюдаемых вами звезд, для которых из Астрономического Ежегодника известны α и δ . Однако теперь установите телескоп по координатам, а затем проверьте, попала ли выбранная звезда в поле зрения. Оцените, сколько нужно времени, чтобы навести телескоп на звезду, скажем 20^m . Значит, вы должны быть готовы к наблюдениям за 20^m . Надо установить телескоп в такое положение, чтобы звезда появилась в поле зрения п о с л е наведения.

8Н. Наведите телескоп и ждите, пока звезда появится в поле зрения и достигнет центра. Заметьте по звездному времени момент,

быстро исправьте склонение, если это необходимо, и запишите исправленное значение.

9Н. Повторите эту процедуру для других звезд. Сравнивая результаты, можно сделать некоторые выводы о точности установки телескопа. Поэтому заметьте номер телескопа, которым вы пользовались.

Примечание. В течение вечера ваши часы примерно на полминуты отстают от звездных часов. По сравнению с другими источниками ошибок этой ошибкой можно пренебречь.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: учебный телескоп, карманный фонарик, звездный атлас, *Астрономический Ежегодник*, астрономические часы, показывающие местное звездное время.

А11. АБСОЛЮТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ С МЕРИДИАННЫМ КРУГОМ

Введение. Меридианный круг является основным инструментом позиционной астрономии. Познакомимся, как можно с этим инструментом получить некоторые важные данные. В качестве меридианного круга используем наш учебный телескоп, закрепленный по часовому углу точно при $t = 0^h$. Разумеется, наша примитивная модель уступает в отношении устойчивости и точности настоящему меридианному кругу (для которого, кроме того, можно осуществить так называемую перекладку).

Для абсолютных измерений надо одновременно определить: а) положение полюса и склонения звезд, б) местное звездное время и прямые восхождения звезд. Для этого требуются повторные измерения в течение длительного времени, что редко выполняется на практике. Обычно предполагают, что некоторые величины известны и по ним можно определить другие.

Задача 1. 1Н. *Определите горизонтальное положение инструмента.* Измерения с меридианным кругом всегда начинают с определения горизонтального положения телескопа; это осуществляется при помощи ртутного горизонта и вертикального коллиматора. Мы используем уровень, закрепленный на трубе инструмента. Вероятно, ось уровня достаточно точно параллельна оптической оси; если необходимо, можно убедиться в этом следующим образом.

Общая схема: а) установить телескоп параллельно полярной оси; б) поместить уровень параллельно этой оси. Предположим, что между ними существует небольшой угол Δ , который надо определить, затем, поместив уровень в горизонтальное положение, исправить его отсчет на величину Δ : телескоп теперь будет горизонтален.

а. Эта операция уже была описана в работе А9. Поставьте телескоп на подставку и закрепите его при часовом угле 0^h , направьте на удаленную метку M_1 , снимите отсчет m с круга склонения и закрепите его. Поверните телескоп на 180° по часовому углу, теперь он направлен в точку M_2 , симметричную точке M_1 . Снова наведите телескоп на первую метку, отсчет будет m' . Среднее из двух отсчетов m и m' соответствует отсчету, при котором труба будет параллельна полярной оси (рис. 20).

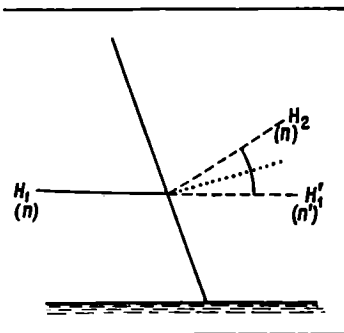


Рис. 21

б. При часовом угле 0^h поместите уровень в горизонтальное положение H_1 («меткой» теперь является горизонт) и снимите отсчет n с круга склонений (рис. 21)*. Поверните телескоп на 180° по часовому углу, уровень теперь займет положение H_2 . Следовало бы поместить его снова в горизонтальное положение H_1 . Однако уровень должен быть над телескопом, поэтому изменим метод и будем поворачивать телескоп до тех пор, пока не будет достигнуто горизонтальное положение уровня H'_1 . Пусть соответствующий отсчет будет n' . Ясно, что среднее из отсчетов n и n' минус 90° будет соответствовать тому положению инструмента, когда уровень параллелен полярной оси. Имеется ли различие между двумя результатами, полученными в пунктах (а) и (б)? Если есть; то обозначим его через Δ . Следовательно, когда уровень горизонтален, телескоп слегка наклонен и надо повернуть его на небольшой угол Δ , чтобы он принял горизонтальное положение. (Проверьте знак Δ !)

Запишите раз и навсегда, в каком положении телескоп горизонтален.

Задача 2. Определить координаты α и δ звезды, зная широту и местное звездное время.

2. Установите свои часы по местному звездному времени, приняв во внимание поправку звездных часов. Запишите остающуюся поправку ваших часов (она будет лишь в секундах). Найдите в Астрономическом Ежегоднике достаточно яркую звезду, которая будет кульминировать через полчаса. Зная приближенное склонение звезды, отождествите ее в звездном атласе, вычислите высоту, на которой звезда должна кульминировать. Ясно, что данные Астрономического Ежегодника нам нужны лишь как предварительные, так как мы будем определять независимо координаты звезды по своим наблюдениям.

* Это схематический рисунок, поэтому величина углов сильно преувеличена. — Прим. ред.

3Н. Установите свой «меридианный круг», закрепленный при часовом угле, равном 0^h , на площадке для наблюдений. Теперь слегка закрепите телескоп на той высоте, на которой должна кульминировать звезда. Пусть ваш товарищ держит фонарик, готовый осветить поле зрения, чтобы стал виден крест нитей.

4Н. Как только звезда появится в поле зрения, исправьте высоту телескопа так, чтобы звезда двигалась вдоль горизонтальной нити, и сильнее закрепите телескоп. В момент, когда звезда пересечет вертикальную нить, скажите «стоп»*. Второй студент сначала заметит по часам момент времени (в первую очередь отметив секунды), а затем тщательно определит высоту.

Проверьте еще раз, правильно ли вы отождествили звезду.

5Л. Сравните вновь показания своих часов с часами, идущими по местному звездному времени, и найдите их поправку. Проинтерполируйте приближенно эту поправку на момент наблюдений.

6Л. Теперь по своим записям вычислите α и δ и сравните их с теми, которые даны в Астрономическом Ежегоднике.

Задача 3. *Определить местное звездное время и высоту полюса мира (широту), предполагая известными координаты звезд α и δ (возьмите их из Астрономического Ежегодника).*

Выполнение задачи. 7Л. Можно использовать предыдущие измерения. Находим поправку к местному звездному времени и высоту полюса мира над горизонтом. Если все операции были тщательно выполнены, то положению полюса соответствует отсчет 90° круга склонения, как это уже было проверено.

Это применяемые обычно методы, однако при работе с более точным инструментом следует ввести некоторые поправки.

Задача 4. Проверить ход часов.

Выполнение задачи. Учебный телескоп, тщательно закрепленный по часовому углу для наблюдения прохождения звезд через меридиан, надо убрать, а на следующий день поставить его точно в то же положение, что и накануне.

8Н. Приготовьтесь к наблюдениям в тот же момент местного звездного времени, что и в предыдущий день. Повторите наблюдения предыдущего дня, при этом помните о различии в длине звездных и средних суток, которое составляет 3^m57^s . Затем по своим записям проверьте ход часов.

ЛИТЕРАТУРА

O l b e r s J. G., *Monatliche Korrespondenz*, 3, 125, 1801; цитируется по K. S c h w a r z s c h i l d, *Neue Beiträge zur Frage des Mathematischen und Physikalischen Unterrichts*, Klein und Riecke, Teubner, 1904.

* Лучше считать «раз, два, три, четыре, пять», приурочив «пять» к моменту пересечения вертикальной нити. — *Прим. ред.*

- * Б л а ж к о С. Н., Курс практической астрономии, 3-е изд., Гостехиздат, М., 1951.
- * П о д о б е д В. В., Фундаментальная астрометрия, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1968.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: учебный телескоп, Астрономический Ежегодник, звездный атлас, карманный фонарик, часы с секундной стрелкой и часы, идущие по местному звездному времени. Поправка часов должна быть известна.

Демонстрация. Полезно показать прохождение звезды через поле зрения настоящего меридианного инструмента.

A12. РЕДУКЦИЯ НА МЕРИДИАН

Задача. Ни один меридианный инструмент нельзя установить абсолютно точно, однако его отклонение от идеального положения может быть небольшим. Надо найти три основные величины, определяющие это отклонение: азимут, наклонность и коллимацию.

Выполнение задачи. 1Л. 2Н. Определите момент прохождения звезды, как это указано в A11, п. 3 и 4.

3Н. Повторите это определение по крайней мере для четырех звезд с разными склонениями, включая также звезды, близкие к нижней кульминации.

4Л. Сравните вновь свои часы с часами, показывающими местное звездное время, найдите поправку. Простой интерполяцией определите ее для момента каждого прохождения, вычислите местное звездное время для этих моментов.

5Л. Сравните полученные моменты прохождений со значениями α из Астрономического Ежегодника СССР для этих звезд и вычислите разность

$$\Delta = \text{Момент прохождения} - \alpha.$$

6Л. Эта разность равна нулю, если и инструмент и наблюдатель идеальны. Отложите на графике Δ как функцию δ , проведите по точкам сглаженную кривую (для звезд в нижней кульминации возьмите вместо δ угол $180^\circ - \delta$, а вместо α величину $12^h + \alpha$).

7Л. Как показал Бессель, эту кривую можно представить формулой

$$\Delta = m + n \operatorname{tg} \delta + c \operatorname{sec} \delta.$$

Выберите на кривой три достаточно удаленные друг от друга точки, напишите три уравнения с тремя неизвестными и решите их. Проверьте, достаточно ли хорошо ложатся на кривую остальные точки. Величины m , n , c выражены в секундах времени, c — постоянная коллимации, величины m и n позволяют определить две

другие инструментальные константы: a — азимутальную постоянную, b — постоянную поправки уровня:

$$a = m \sin \varphi - n \cos \varphi,$$

$$b = m \cos \varphi + n \sin \varphi.$$

Переведите a, b, c в угловые единицы (см. составление таблицы). (Можно применять метод наименьших квадратов, используя все наблюдавшиеся звезды. В какой области неба какие величины определяются наиболее точно?)

Составление таблицы

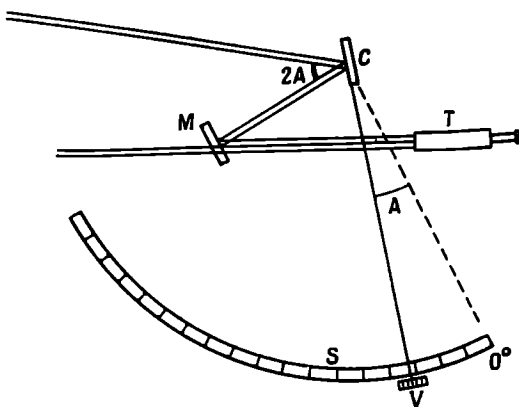
<i>Перед наблюдениями</i>	<i>После наблюдений</i>
s....	s....
Исправленное s....	Исправленное s....
Показание часов....	Показание часов....
a — Показание часов....	a — Показание часов....
<i>Наблюдаемая звезда</i>	
δ . . . . .	. . . . .
α . . . . .	. . . . .
Момент прохождения по часам . . . . .	. . . . .
Момент прохождения по звездному времени s . . . . .	. . . . .
Δ = α — Наблюдаемый момент прохождения . . . . .	. . . . .

A13. СЕКСТАНТ

Секстант — это простой, но остроумный прибор, позволяющий измерять углы с точностью до 10", даже если наблюдатель находится на качающейся палубе корабля. При помощи этого прибора моряки определяют положение, время или расстояние до объекта, высота которого известна.

Не касайтесь посеребренной шкалы пальцами!

Инструмент. 1Л. Сначала познакомьтесь с прибором. На неподвижном, легком, но прочном секторе в 60° укреплен указатель, который вращается вокруг оси, проходящей через центр сектора C (рис. 22). Положение указателя и соединенного с ним малого зеркала отсчитывается по шкале при помощи верньера V и лупы. Посмотрите, как устроен верньер, и запомните цену его делений. Луч света, отражаясь от первого зеркала, достигает второго неподвижного зеркала M (горизонтального зеркала), верхняя половина которого посеребрена, а нижняя прозрачна, и, наконец, попадает в глаз или небольшую зрительную трубу T . Обратите внимание также на цветные стекла. Попробуйте установить и закрепить указатель при помощи специального винта.



Р и с. 22.

Вставляя трубу, не повредите тонкую винтовую резьбу, сначала поверните трубу в противоположном направлении, пока не услышите щелчок, означающий, что виток резьбы встал на место. После этого можно начать осторожно ввинчивать трубу.

Гораздо легче проводить наблюдения с секстантом, если прислониться к стене или столбу. Не пытайтесь подражать моряку, который свободно измеряет на борту корабля при качке.

2Н. Снимите зрительную трубу и расположите секстант так, чтобы его плоскость была вертикальна, сместите центральное зеркало C на один-два градуса от его нулевого положения и посмотрите одним глазом в направлении какого-нибудь строения. Вы увидите два изображения: 1) прямое изображение сквозь непосеребренную половину горизонтального зеркала M ; 2) изображение, образованное лучами, которые достигают глаза после отражения от двух малых зеркал. Эти два изображения почти совпадают. Немного измените наклон секстанта, совпадение сохранится.

3Н. Поверните центральное зеркало на угол A . Прямое изображение при этом не изменится, а дважды отраженное сместится на угол $2A$. Оба изображения, по крайней мере в центре поля зрения, будут накладываться друг на друга. Верхушка какой-нибудь трубы, возможно, совпадет теперь с крышей дома. Два изображения которых совпадают, удалены друг от друга на угол $2A$; отсчет шкалы $2A$ (но не $A!$).

Добейтесь совпадения изображений двух каких-либо предметов, например верхушки башни с крышей более низкого здания. Прямое изображение объекта всегда должно быть ниже отраженного (почему?).

Повторите наблюдения при помощи секстанта с небольшой зрительной трубой. Совпадение теперь будет наблюдаться не только в центре, но по всему полю зрения. Почему? (*Никогда не наводите трубу на солнце — это опасно!*) Поверните прибор на небольшой угол вправо или влево вокруг луча зрения. Дважды отраженное изображение опишет при этом дугу; два объекта будут едва касаться, когда они пройдут мимо друг друга.

4Н. Измерьте также угол в горизонтальной плоскости, например расстояние между двумя высокими башнями или зданиями.

Задача. Определить видимый диаметр солнца и поправку указателя.

Выполнение задачи. 5Н. *Поставьте темные стекла на пути обоих световых пучков.* Прежде всего выберите подходящее стекло, глядя на солнце без зрительной трубы и держа секстант в наклонном положении. Поставьте снова указатель примерно в нулевое положение и наведите секстант на солнце. Добейтесь, чтобы

а) верхний край отраженного изображения совпал с нижним краем прямого изображения, б) нижний край отраженного изображения совпал с верхним краем прямого изображения. Пусть соответствующие отсчеты будут r и r' [в случае б) получим $359^\circ \dots$, вычтем из него 360°]. Если отсчет при совпадении двух изображений R , а s — видимый диаметр солнца, то

$$r = R + s,$$

$$r' = R - s,$$

откуда $R = (r + r')/2$, $s = (r - r')/2$.

К любому последующему отсчету следует прибавлять поправку $-R$. Чтобы поправку указателя и диаметр солнца определить более точно, надо сделать несколько измерений и результаты осреднить. Сравните вычисленный вами видимый диаметр солнца со значением, которое дается в *Астрономическом Ежегоднике СССР* для данного дня.

ЛИТЕРАТУРА

Nassau J. J., *A Textbook of Practical Astronomy*, New York, 1932.

* Блажко С. Н., *Курс практической астрономии*, 3-е изд., М.—Л., 1951.

* Бакулин П. И., Кононович Э. В., Мороз В. И., *Курс общей астрономии*, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1970, стр. 82—84.

Составление таблицы

r	r'	$R = (r + r') / 2$	$s = (r - r') / 2$
—	—	—	—
—	—	—	—
—	—	—	—
		$\bar{R} =$	$\bar{s} =$

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: секстант.

Несколько копий таблиц из *Астрономического Ежегодника СССР* текущего года.

А14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОРАБЛЯ В ОТКРЫТОМ МОРЕ (МЕТОД СОМНЕРА—СЕНТ-ИЛЕРА)

Задача. После изобретения морского хронометра определение положения корабля стало классической операцией, которая регулярно применяется даже сейчас, хотя и дополняется теперь приемом радиосигналов точного времени. Мы будем определять моменты всемирного времени по астрономическим часам — они заменят нам морской хронометр. Для определения положения достаточно в данный момент измерить высоту двух светил (это могут быть звезды, или планета, или солнце). В море горизонт всегда открыт, и поэтому на корабле пользуются секстантом. Мы же используем простой высотомер, осветив его поле зрения карманным фонариком. Либо можно применить телескоп, поместив его на более или менее горизонтальную поверхность; полярная ось в этом случае должна лежать в плоскости азимута звезды; высота измеряется относительно горизонтальной поверхности.

Измерения. 1Л. Поставьте свои часы по всемирному времени UT по астрономическим часам, в показание которых не забудьте ввести поправку.

2Н. Выберите яркую звезду и определите ее высоту. Тотчас же запишите момент наблюдения UT.

3Н. Повторите эту процедуру с другой звездой, азимут которой отличается примерно на 90° от азимута первой.

4Н. Чтобы немного упростить вычисления и повысить точность, повторите несколько раз в течение 20^м измерения то одной, то другой звезды попеременно. При помощи графической интерполяции можно определить высоты обеих звезд для одного и того же момента времени.

(5Н.) Если позволит время, пронаблюдайте три звезды.

Вычисления (рис. 23). 6Л. Предположим, что приблизительно известна широта φ и западная долгота L места наблюдения Z . Допустим, что эти координаты отличаются от истинных примерно на 2° . (Такие большие отклонения редко встречаются на практике.) *Географическое место** выбранной вами для наблюдений звезды S

* Точка земной поверхности, из которой звезда наблюдается в зените.—
Прим. ред.

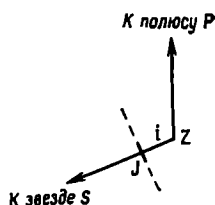
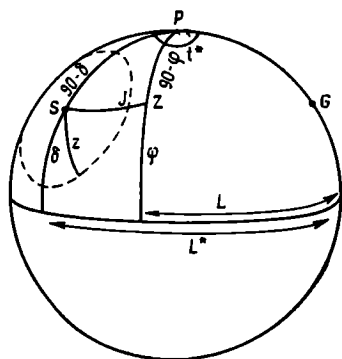


Рис. 23.

Р и с. 24.

имеет координаты $\varphi^* = \delta$ и $L^* = t^*$ (часовой угол относительно Гринвича) = $S - \alpha$. Поскольку вы нашли зенитное расстояние z , равное 90° минус измеренная высота, то вы можете быть уверены, что находитесь где-то на штриховой окружности (рис. 23) — *круге положений*, или *круге равных высот*. Найдите гринвичское звездное время S , соответствующее моменту наблюдения по всемирному времени (см. задачу А6) и вычислите L^* .

7Л. Принятому положению Z соответствует зенитное расстояние $z' = SZ$, тогда как истинное значение $z = SJ$ несколько отличается от него. Вычислите z' из треугольника SPZ (заметим, что угол SPZ равен $L^* - L$). Разность $z' - z$ обозначим через i . Нарисуем теперь небольшую часть круга равных высот вблизи точки Z (рис. 24). Для этого надо определить угол PZS , который равен 180° минус азимут звезды S из точки Z . Вычислите этот угол из треугольника SPZ .

8Л. Теперь на миллиметровой бумаге изобразите дуги ZP , ZS в виде прямых линий (в масштабе $1^\circ = 2 \text{ см}$). Такое представление является вполне точным в непосредственной окрестности Z . Отложите величину i , найдите точку пересечения J и наметьте часть круга равных высот.

9Л. Повторите все построения для второй звезды, и если есть измерения, то и для третьей.

10Л. Определите координаты точки пересечения этих кругов равных высот. На географической карте найдите место, которое соответствует этим координатам, и сравните его с истинным местом наблюдения.

Схема вычислений

Название звезды	a	b	UT	S	h	z	z'	i
1.								
2.								
				Звезда № 1			Звезда № 2	
	$\sin PS$							
	$\cos PS$							
	$\sin PZ$							
	$\cos PZ$							
	$\cos SPZ$							
	$\sin SPZ$							
	$\cos SZ$							
	$\sin SZ$							
	$SZ = z'$							
	$z - z' = i = JZ$							
	$\sin PZS$							

ЛИТЕРАТУРА

Smart W. M., Handbook of Sea Navigation, London, 1943, ch. 6.

* Блажко С. Н., Курс практической астрономии, 3-е изд., Гостехиздат, М.—Л., 1951.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: миллиметровую бумагу.

Для каждой пары студентов: высотомер или учебный телескоп, карманный фонарик, звездный атлас, Астрономический Ежегодник.

Астрономические часы, показывающие всемирное время.

Примечание. Для измерения высоты солнца можно применить гораздо более точный метод. Для этого используется искусственный горизонт — кусок темного стекла размерами по крайней мере 10×10 см. Установите стекло в горизонтальном положении при помощи водяного уровня, небольших деревянных клиньев или кусочков бумаги. При помощи секстанта измерьте угол между направлением на солнце и на его отражение в стекле. Этот угол равен удвоенной высоте солнца над горизонтом. Темное стекло должно быть достаточно плоским, этому требованию удовлетворяют стекла, используемые при сварке. Возможно, сначала будет трудно установить секстант в такое положение, чтобы оба изображения оказались в поле зрения. Предварительно понаблюдайте

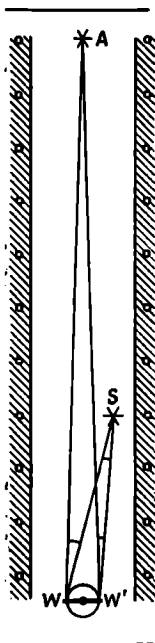
без оптической трубы и с умеренно темными стеклами; затем вставьте трубу и более темные стекла. Необходимо одно измерение делать утром, а другое после полудня.

А15. ПАРАЛЛАКС КАК МЕРА ЗВЕЗДНЫХ РАССТОЯНИЙ

Задача. Астрономические расстояния настолько велики, а соответствующие им параллаксы так малы, что их можно измерить лишь при помощи больших инструментов и совершенных измерительных приборов. Рассмотрим основную идею метода определения расстояний, используя искусственные источники света, находящиеся сравнительно близко.

Выберем тихую улицу, свободно просматриваемую на расстояние около километра. Уличный фонарь на дальнем конце ее пусть представляет «звезду фона» A . На одной стороне улицы, на расстоянии несколько меньше A (200—400 м), поместим карманный фонарик с зеленым стеклом (чтобы его было легко различить). Это «звезда» S , расстояние до которой надо определить. Будем наблюдать оба удаленных источника света A и S , находясь на одном конце улицы. Сделав несколько шагов поперек улицы от одного тротуара к другому, мы сразу заметим *параллактическое смещение*; более удаленная «звезда» будет сдвигаться в ту же сторону, что и вы. Эти несколько метров имитируют то расстояние, на котором за полгода перемещается Земля: 300 млн. км.

Р и с. 25.



Помните, что углы малы, никогда не пользуйтесь синусами или тангенсами, а только самими углами или их значениями в радианах.

Выполнение задачи. 1. Сделайте отметку W на одном тротуаре (рис. 25). Оттуда при помощи секстанта измерьте угол AWS в минутах дуги. (Возьмите среднее из двух измерений. Не вводите поправку на нуль вашего прибора.)

2. Перейдите к другому тротуару и поставьте вторую отметку W' . Из этой точки определите угол $AW'S$ (два раза).

3. Измерьте расстояние WW' между двумя отметками при помощи веревки и метровой линейки.

4. (Годичный) параллакс p — это угол, под которым со звезды виден радиус земной орбиты. Предположим сначала, что «звезда фона» A находится бесконечно далеко. Вычислим параллакс звезды

$$p = \frac{1}{2} WSW' = \frac{1}{2} (AWS - AW'S)$$

(если точка S в обоих случаях видна справа или слева от A). Выразите p в радианах.

5. Теперь примем во внимание, что в действительности «звезда фона» не бесконечно далека. Из статистических соображений можно оценить, что расстояние до нее, скажем, 900 м. Покажите, что в этом случае в значение угла WSW' надо ввести поправку ($WW'/900$) в радианах. С каким знаком?

6. Вычислите расстояние до «звезды», равное

$$\frac{\text{«Радиус земной орбиты»}}{p},$$

и сравните его с непосредственными измерениями расстояния WS при помощи веревки длиной 10 м. Какова относительная ошибка?

Наш пример соответствует наиболее простому случаю: «звезды» A и S лежат в плоскости эклиптики; измерения проводятся в два момента года, когда разность долгот $\lambda_* - \lambda_{\odot} = +90^\circ$ и -90° . Если бы мы проводили измерения, двигаясь по окружности (рис. 25), то это соответствовало бы наблюдениям в течение целого года.

Параллакс ближайшей звезды (Проксима Центавра) составляет примерно одну тысячную величины, полученной нами выше.

Схема вычислений

$AWS = \dots\dots\dots$	$WW' = \dots\dots\dots$
$AW'S = \dots\dots\dots$	$\frac{WW'}{900} = \dots\dots\dots$
$p = \frac{1}{2} (AWS - AW'S) = \dots\dots\dots$	
p (исправленное) = $\dots\dots\dots$	Расстояние до $S = \dots\dots\dots$

Что приготовить для выполнения задачи. Карманный фонарик с зеленым стеклом, веревку длиной 10 м, метровую линейку. Для каждой пары студентов — секстант.

A16(J). ПРЕЦЕССИЯ, АБЕРРАЦИЯ, НУТАЦИЯ

Задача. Для ряда ярких звезд в астрономических ежегодниках даются *средние*, а также *видимые места*. (С 1957 г. последние публикуются в отдельном томе в Arragent Places.) Видимые места изменяются в течение года. В чем причина? Или, точнее, в чем причины?

Выполнение задачи. 1. По историческим причинам выберем звезду, с большим успехом изученную в 1725—1728 гг. Брайлем:

$$\gamma \text{ Dra}, \quad \alpha = 17^{\text{h}}55^{\text{m}}, \quad \delta = +51^{\circ}29'.$$

В системе координат с осью абсцисс $\alpha'' = 15 \alpha^s \cos \delta$ и осью ординат δ'' отложите положения этой звезды, осредненные за интервал времени в 2 месяца. Конечно, нас интересуют лишь малые изменения α и δ . Проведите сглаженную кривую, представляющую изменение координат звезды в течение года.

2. Чтобы понять причины этих изменений координат, надо прежде всего исключить *прецессию*. Простые, но очень удобные таблицы прецессии можно найти в звездном атласе. Вычислите с интервалом в два месяца изменения в координатах изучаемой звезды, вызванные прецессией, и исправьте все видимые положения за этот эффект.

3. Снова нанесите на график координаты звезды в течение года. Теперь это будет кривая, которую приближенно можно считать окружностью. Определите ее приближенный радиус.

4. Брайдей надеялся таким способом обнаружить параллакс звезды. Подумайте, можно ли объяснить наш график этим эффектом? При этом примите, что γ Drg находится вблизи полюса эклиптики ($\alpha = 18^h$, $\delta = +66^\circ$). Вследствие параллакса она должна описывать малый круг, отражающий вращение Земли вокруг Солнца (рис. 26). В какие моменты видимое склонение будет наибольшим? Соответствует ли это наблюдениям?

(С тех пор были определены параллаксы многих звезд. Посмотрите табл. II в задаче Б24; если γ Drg там нет, значит, ее параллакс меньше $0''{,}2$. Изобразите этот максимальный угол в масштабе вашего чертежа.)

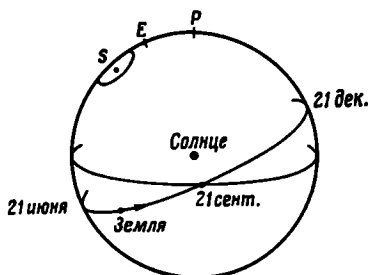
5. Поэтому Брайдею пришлось искать другое объяснение. Его поразило, что численное значение радиуса почти совпадало со значением, полученным Рёмером для постоянной годичной *абберации* и соответствующим отношению $V_{\oplus}/c = 20''{,}48$. Тогда он предположил, что аналогичный эффект имеет место и для звезд. В какой момент, согласно этой гипотезе, склонение должно быть наибольшим? Подтверждается ли это?

6. Итак, видимое смещение звезд объясняется совместным влиянием прецессии и абберации. Могут быть и другие эффекты:

а. *Собственные движения* (открытые Галлеем в 1718 г.), влияние которых может складываться с прецессией. В таблице «Средние места» даются μ_α и μ_δ ; для нашего приближения ими можно пренебречь.

б. Наблюдая γ Drg в течение последующих лет, Брайдей нашел другое колебание с периодом 18,7 года. В 1748 г. он объяснил

Р и с. 26.



это явление *нутацией* земной оси. В результате нутации звезды могут смещаться на $\pm 9'',2$ по широте и $6'',8$ вдоль параллели по долготе. Глядя на звездную карту, можно заметить, что для звезды γ Drg сдвиг по склонению почти такой же, как по широте, причем за год он пренебрежимо мал. Незначительно также влияние нутации по α . Однако эффект нутации становится заметным в течение 19-летнего периода. Это прекрасно иллюстрируется диаграммой в книге Данжона (1952—1953). Отметьте на своем чертеже среднее положение γ Drg. Вероятно, оно будет значительно отличаться от положения центра траектории звезды в течение года, что нетрудно заметить. Диаграмма Данжона объясняет это явление: *средние места* — это положения, исправленные за аберрацию и нутацию, их надо сравнивать не с той траекторией, которую описывает звезда в течение одного определенного года, а с той, которая описывается в течение 19 лет.

7. Повторите построения для других звезд.

Составление таблиц

Видимое положение γ Drg

	$17^h 55^m$	$51^\circ 29'$	P_α	P_δ	$\alpha - P_\alpha$	$\delta - P_\delta$
1 января						
1 марта						
1 июля						
1 сентября						
1 ноября						
31 декабря						

ЛИТЕРАТУРА

- Besker F., Einführung in die Astronomie, Mannheim, 1960, p. 45.
 Danjon A., Astronomie générale, Paris, 1952—1953, p. 105—106.
 Sharpley H., Howarth H. E., Source-Book in Astronomy, New York, 1929, p. 45. (Цитата из сочинения Брайля.)
 * Куликов К. А., Фундаментальные постоянные астрономии, Гостехиздат, М., 1956.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: Астрономический Ежегодник любого года. Для каждого студента: миллиметровую бумагу, звездный атлас.

A17. ИЗМЕРЕНИЕ АСТРОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАСТИНОК

1. Как составлен астрографический каталог. *Материал.* Вы получили карту астрографического каталога «Carte du Ciel» (CdC), созданного совместными усилиями 18 observa-

торий разных континентов мира. Эта карта представляет собой большую ценность, и обращаться с ней надо крайне осторожно. Не делайте на ней пометок карандашом и не пользуйтесь резинкой! Если необходимо, наложите на карту кальку и все отметки делайте на кальке.

Для получения этих карт на каждой пластинке было сделано по три экспозиции. Таким образом, каждая звезда дает три изображения, которые в совокупности нельзя спутать со случайными дефектами слоя. Кроме того, на пластинку впечатана опорная сетка. Точные координаты нескольких *опорных звезд* известны из наблюдений при помощи меридианного круга. Координаты всех других звезд, которые слишком слабы для наблюдений с меридианным кругом, на пластинке можно определить относительно их. Проследим шаг за шагом классический метод, использованный при создании астрографических каталогов.

В астрографических каталогах приведены прямоугольные координаты x и y звезд, измеренные на оригинальных пластинках площадью $2^\circ \times 2^\circ$. В большинстве каталогов CdC x и y выражены в миллиметрах (масштаб оригинальных снимков $1 \text{ мм} = 1'$, а на картах $1' = 2 \text{ мм}$)*. Пластинки в каталоге расположены в порядке возрастания прямых восхождений центров α_0 . В начале таблицы результатов измерений каждой пластинки приведены координаты центра пластинки α_0 , δ_0 , т. е. координаты той точки, на которую был направлен телескоп и которая соответствует центру опорной сетки. Только самые яркие (ярче 11^m) звезды были специальным образом ослаблены. Опорные звезды набраны в каталоге жирным шрифтом. Для определения направления отсчета x и y отождествите несколько звезд. В каталоге в конце материалов каждой пластинки приводятся определенные с меридианным кругом и редуцированные к эпохе 1900.0 (или 1950.0) точные α и δ опорных звезд, причем они расположены в том же порядке, что и на пластинке. Рассмотрим, как эти координаты связаны с измеренными координатами x и y .

Выполнение задачи (II). 1. Выберите три не слишком яркие опорные звезды, которые расположены достаточно далеко друг от друга, и выпишите в таблицу следующие данные:

α , δ (для прямого восхождения в каталоге даются только минуты и секунды, так как в пределах пластинки α не может отличаться более чем на 4^m от α_0). Точность $0^s,1$ и $1''$.

$\alpha - \alpha_0$, $\delta - \delta_0$ (как сказано выше, α_0 и δ_0 указаны в заголовке каждой пластинки).

$(\alpha - \alpha_0)\cos \delta$, $\delta - \delta_0$ в минутах дуги с двумя десятичными знаками; $\cos \delta$ слегка изменяется от одной звезды к другой, поэто-

* В некоторых каталогах координаты даны не в миллиметрах, а в некоторых условных единицах, равных $5'$.

му надо взять четыре десятичных знака. Это примерно те координаты, которые можно измерить на пластинке. Назовем их *приближенными координатами*.

2. Однако в координаты должна быть введена небольшая, но довольно сложная поправка, необходимость которой возникает вследствие того, что на плоскую пластинку проецируется часть небесной сферы. Будем называть эту поправку *поправкой за кривизну*. Временно мы ею пренебрежем. Вычислим теперь *идеальные координаты* звезд (иначе тангенциальные координаты), определяемые следующим образом.

Предположим, что центр опорной сетки точно совпадает с положением α_0 и δ_0 , линии ее идут строго по параллели и кругу склонений в направлении изменений α и δ ; пластинка строго перпендикулярна оптической оси, нет ни рефракции, ни аберрации. Прямоугольные координаты звезд на пластинке, выраженные в долях фокусного расстояния, в этом идеальном случае центральной проекции на тангенциальную плоскость будем называть *идеальными координатами* ξ и η .

3. Принятые выше предположения никогда, конечно, строго не выполняются, и, кроме того, масштаб пластинки не вполне точно удовлетворяет соотношению $1' = 2 \text{ мм}$. Следовательно, измеренные координаты будут немного отличаться от идеальных координат ξ и η . Легко показать, что эти отклонения могут быть выражены через линейные функции измеренных координат

$$\xi - x = a + bx + cy,$$

$$\eta - y = d + ex + fy.$$

Для каждой звезды имеем два уравнения; постоянные a, b, c и т. д. одни и те же для всей пластинки (влияние неточности репродукции и возможные деформации бумаги входят в наш случай в эти уравнения).

При составлении каталога координаты x и y были измерены на измерительной машине с точным винтом. Проведем эту операцию при помощи обычной линейки с миллиметровыми делениями, с которой можно определять расстояния с точностью до 0,1 мм (используйте для этого лупу!). Будем измерять положение центра тяжести трех изображений данной звезды*. Выпишите полученные таким способом координаты x и y в таблицу, это будут *измеренные координаты*. Напишите три уравнения для $\xi - x$ и аналогично для $\eta - y$ ($\xi - x$ и $\eta - y$ с двумя десятичными знаками). Решите их относительно a, b, \dots, f при помощи элементар-

* В некоторых зонах три изображения получены с весьма различными экспозициями, в этом случае берем среднее положение из двух изображений с наибольшими диаметрами.

ных вычислений, используя при этом четырехзначные таблицы логарифмов.

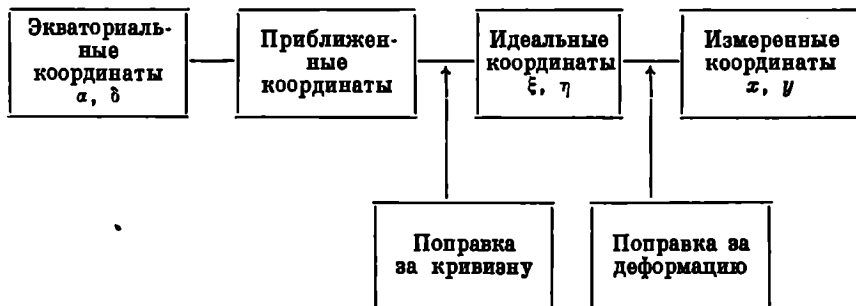
Интересно обратить внимание на то, насколько эти простые вычисления оказываются трудными; избежать ошибок можно лишь в том случае, когда оба студента вычисляют совершенно независимо и последовательно сравнивают свои результаты.

Исследуйте внимательно значения постоянных: ошибки положения центра главным образом войдут в a и d , влияние масштаба — в b и f , ошибки ориентировки повлияют на c и e . Чтобы при полученных значениях b, c, e, f оценить максимальный сдвиг, подставьте в уравнения $x = 100$ мм или $y = 100$ мм.

Определение неизвестных координат звезды. 4. Теперь можно по измеренным координатам x и y какой-нибудь звезды определить ее координаты α и δ . Выберите четвертую звезду из числа опорных звезд, которая не настолько ярка, чтобы определение ее положения было неуверенным. Пусть координаты этой звезды α и δ неизвестны, а измерены лишь x и y (выраженные в тех же единицах, равных 2 мм). Вычислите сначала ее идеальные координаты, используя два приведенных выше уравнения, постоянные в которых определены, а затем уж α и δ . Сравните их с координатами, приведенными в списке опорных звезд. Полного совпадения ожидать нельзя а) вследствие ошибок измерений, б) вследствие того, что мы пренебрегли поправкой за кривизну, в) вследствие того, что постоянные пластинки определены всего лишь по трем звездам.

Обратите внимание, что таким способом получаются координаты 1900 г.*, даже если пластинка получена в другой момент времени. При этом мы пренебрегаем лишь собственным движением звезд за несколько лет.

Весь процесс получения координат может быть представлен следующей схемой.



* Точнее, мы получим координаты, отнесенные к той же эпохе, что и координаты опорных звезд. — *Прим. перев.*

2. **Практическое использование астрографических каталогов.** Посмотрим теперь, насколько каталог удобен для практических целей в тех случаях, когда надо определить координаты α и δ слабой звезды. Описания и таблицы поправок, данные в предисловии к каждому тому, несколько различны для разных обсерваторий. Таблицы поправок отличаются также от одного тома к другому в зависимости от того, к какой части неба они относятся.

Часто в координаты центра пластинки α_0 и δ_0 уже введены постоянные пластинки a и d . В других случаях перед вычислением точных значений b и f были введены предварительные поправки за различие масштабов.

Выполнение задачи. 1. Выберите опорную звезду, которая будет играть роль «неизвестной звезды»; это может быть звезда, уже использованная нами в конце первой части этой задачи. Выпишите теперь из каталога ее измеренные координаты со всей приведенной там точностью. Посмотрите, приведен ли числовой пример во введении. Изучите этот пример и постарайтесь понять необходимость каждой операции в общей схеме.

2. Затем повторите те же вычисления для выбранной звезды, при этом число десятичных знаков должно быть таким же, как в примере. Постоянные пластинки приводятся в начале описания результатов измерений каждой пластинки. Для введения небольшой поправки за кривизну используйте формулы, данные во введении, преобразовав их так, чтобы можно было воспользоваться таблицами, с которыми все вычисления проще.

Найдите окончательные координаты α и δ и сравните их с теми, которые получены на меридианном круге.

ЛИТЕРАТУРА

- Smart W. M., Textbook on Spherical Astronomy, 1962, ch. 12.
 Turner H. H., The Great Star Map. London, 1912.
 König A., Stars and Stellar Systems, eds. G. P. Kuiper and B. Middlehurst, vol. II, Chicago, 1960, p. 483. (Русский перевод: Методы астрономии, ред. В. А. Хилтнер, изд-во «Мир», М., 1967, стр. 392.)
 * Бугославская Е. Я., Фотографическая астрометрия, Гостехиздат, М., 1947.
 * Практические работы по звездной астрономии, ред. П. Г. Куликовский, изд-во «Наука», М., 1971.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов:

1-я часть задачи: карту из астрографического каталога и соответствующий каталог. Очень удобна зона Bordeaux (6 томов). В томах обсерватории San Fernando даются непосредственно измеренные координаты x , y , а также эти координаты после введения поправки за кривизну, которая получена при помощи таблицы в первом томе.

2-я часть задачи: Bordeaux (6 томов), Uccle — Paris (2 тома). Лупу, миллиметровую линейку, таблицы логарифмов (пятизначные; для 2-й части — шестизначные), лист кальки.

Демонстрация прибора для измерения астрофотографий.

Примечание. Для экономии времени одна пара студентов может определять постоянные пластинки для $\xi - x$ и значение α , тогда как другая пара вычисляет постоянные для $\eta - y$ и значение δ для той же звезды.

А18. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗЕРКАЛА ТЕЛЕСКОПА

(Три вечера)

Цель этой задачи не в том, чтобы сделать совершенный оптический прибор, а только в том, чтобы познакомиться с основами метода, которым пользуются на практике, и убедить студентов в том, что сделать любительский телескоп неожиданно легко и доступно. Технические детали можно найти в книгах для любителей телескопостроения*.

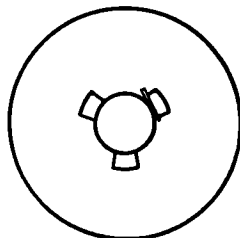
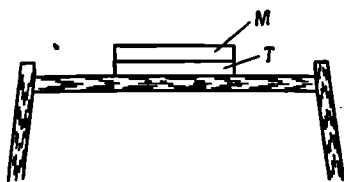
Основы. Если круглый стеклянный диск двигать вперед—назад по такому же неподвижно закрепленному диску, нанеся между ними немного шлифовального порошка, то нижний диск сам по себе станет выпуклым, а верхний вогнутым. Назовем их *шлифовальник* T и *зеркало* M соответственно. Воспользуемся дисками диаметром 11 см, которые можно вырезать из простого плоского стекла, но толщиной по крайней мере в 1 см; края дисков должны быть немного обточены.

Шлифовку можно проводить на пустой перевернутой деревянной бочке, вокруг которой можно свободно перемещаться. Шлифовальник T закрепляется в центре верхнего дна бочки при помощи трех небольших деревянных ограничителей и клина. Все они

* См., например, книгу: М. С. Н а в а ш и н, Телескоп астронома-любителя, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1967, 396 стр. и сборники «Любительское телескопостроение», изд-во «Наука», М., вып. I, 1964, 110 стр.; вып. II, 1966, 100 стр. — *Прим. ред.*

Р и с. 27.

Р и с. 27а.



должны быть ниже поверхности стеклянного диска (рис. 27 и 27а)! При шлифовке необходимо выполнять:

а. *Штрихи* — движение вперед и назад верхнего диска по нижнему, при котором центр зеркала движется вдоль диаметра шлифовальника. Чем длиннее штрих, тем быстрее шлифуется зеркало.

б. С интервалом около минуты надо делать один шаг вокруг бочки всегда в одном и том же направлении. Только при соблюдении таких предосторожностей можно рассчитывать, что поверхность зеркала станет совершенно симметричной.

Выполнение задачи (Л.) 1. *Грубая шлифовка* (полчаса). Начнем шлифовать с карборундовым порошком № 40*, делая длинные штрихи, при которых центр зеркала сдвигается почти на весь диаметр шлифовальника. Насыпьте на поверхность шлифовальника две чайные ложки карборундового порошка и смочите его водой (при помощи капельницы), чтобы образовалась довольно жидкая каша. Осторожно положите руки на зеркало и в течение нескольких минут делайте длинные штрихи, пока не прекратится характерный хруст; это значит, что карборундовый порошок больше не эффективен. Тогда, не убирая использованную кашу, добавьте новую порцию карборундового порошка и продолжайте шлифовать. При этом надо довольно сильно надавливать на зеркало.

Примерно через 15 мм промойте зеркало под краном. Пока поверхность еще влажная, можно определить радиус ее кривизны**: для этого встаньте на расстоянии по крайней мере двух метров от поверхности зеркала и перемещайте карманный фонарик поперек оси; при этом легко установить, глядя на зеркало, находится ли источник света ближе или дальше центра кривизны зеркала.

Когда форма зеркала улучшится, поместите его на таком расстоянии от лампы, чтобы ее изображение образовывалось на экране, расположенном рядом с лампой. В этом случае лампа находится в центре кривизны, радиус кривизны равен удвоенному фокусному расстоянию, которое в нашем случае должно быть примерно 1,5 м. Продолжайте шлифовать до тех пор, пока не достигнете этого значения радиуса кривизны.

2. *Тонкая шлифовка* (два часа). Тщательно промойте зеркало и шлифовальник под краном, особенно края и ободки. Бочку также следует очистить (вода может стекать внутрь бочки через отверс-

* № 40, 60, 100 и 200 соответствуют размерам зерен карборунда 0,40; 0,25; 0,15 и 0,06 мм. Важно, чтобы зерна в каждой последующей стадии шлифовки были в 1,5—2 раза меньше, чем в предыдущей. — *Прим. ред.*

** В течение определения радиуса кривизны можно несколько раз обливать зеркало водой либо водой с небольшим добавлением глицерина — поверхность дольше сохранит блеск. — *Прим. ред.*

тие). Если останется хоть одна частица крупного карборундового порошка, то она может испортить всю последующую работу. Соблюдайте это правило при переходе к каждой последующей стадии тонкой шлифовки*.

Теперь будем делать короткие штрихи, не стараясь углубить зеркало, а лишь придать ему более совершенную сферическую форму. Центр зеркала должен перемещаться вверх и вниз только на $\frac{1}{3}$ диаметра шлифовальника. Давление по-прежнему должно быть довольно сильным. Последовательно используйте все более тонкий карборундовый порошок: № 60, 100, 200, каждый по 15 мин.

При переходе к каждой последующей стадии шлифовки мойте зеркало и удаляйте всю пыль, образовавшуюся во время предыдущего этапа. Поверхность зеркала становится мелкозернистой и гладкой. Закончите шлифовку карборундовым порошком № 200***. После того как прекратится типичный звук, продолжайте работать еще по крайней мере 30 мин, не добавляя порошка. Кристаллы карборунда становятся все мельче и мельче, и так идет процесс очистки стеклянной поверхности. Вновь проверьте радиус кривизны.

3. *Полировка (1—2 час)*. Наденьте рабочий халат. Прежде чем приступить к полировке, надо заранее покрыть поверхность шлифовальника слоем смолы.

Поместите зеркало и шлифовальник в теплую воду (50°). Через несколько минут вытрите шлифовальник, а затем смочите его скипидаром, чтобы смола лучше прилипла. Обмотайте его целлофановой лентой так, чтобы образовался ободок наподобие мелкой тарелки.

Материал для полировки готовится из одной части подогретой смолы и двух частей расплавленной канифоли***. Слой этой смеси толщиной 3 мм нанесите на шлифовальник и дайте ему немного остыть. Теперь выньте зеркало из воды и, прижав его к слою смолы, медленно поворачивайте. Удалите ободок из целлофановой ленты и с некоторым усилием сдвиньте зеркало к одной стороне. Влажным ножом быстро сделайте в смоле параллельные канавки, сначала мелкие, а затем более глубокие, примерно на расстоянии 2 см друг от друга, так чтобы вся поверхность была разделена на квадратики (фасетки) асимметрично от-

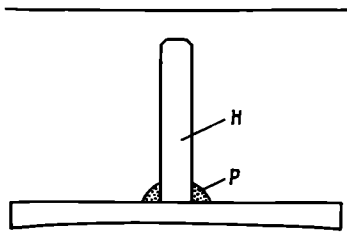
* Тщательно мойте руки, чтобы под ногтями не осталось ни крупинки более крупного порошка. — *Прим. ред.*

** На последних стадиях шлифовки не следует давить на зеркало — достаточно его собственного веса. Гораздо более подробные, чем здесь, указания и ценные практические советы вы найдете в книге М. С. Навашина, гл. III. — *Прим. ред.*

*** Подробнее о довольно сложном приготовлении этой смеси см. в книге М. С. Навашина, стр. 151 и след. — *Прим. ред.*

носителю центра. Канавки должны быть V-образные и достигать поверхности стекла.

Снова прижмите влажное зеркало к шлифовальнику и делайте короткие штрихи до тех пор, пока все фасетки немного обомнутся по форме зеркала и придут в соприкосновение с его поверхностью. За полчаса до



Р и с. 28.

начала полировки посыпьте мокрое зеркало порошком для полировки, положите на шлифовальник и сверху придавите тяжелой книгой, чтобы поверхность смолы приняла форму зеркала.

Полируйте короткими штрихами. Для полировки используют порошок окиси железа* или (еще лучше) окиси церия. Эти порошки должны быть совершенно чистыми и не содержать ни малейшей примеси пыли! Следите, чтобы вся поверхность зеркала соприкасалась со смолой. Через час полировки промойте зеркало, вытрите его гигроскопической ватой и осмотрите поверхность. Продолжайте полировать еще в течение двух получасовых интервалов или дольше, если хватит терпения.

Зеркало еще не будет совершенно гладким, но все же достаточно гладким, чтобы перейти к последующим операциям. Когда зеркало обсохнет, прикложите к его задней стороне ручку *H* (рис. 28). Чтобы избежать взаимодействия клея с раствором для серебрения, нанесите кистью вокруг ручки предохранительное кольцо *P* из расплавленного парафина.

4. *Серебрение* (рецепт Брешира). Наденьте рабочий халат.

Восстанавливающий раствор должен быть приготовлен за несколько недель до употребления по следующему рецепту:

1000 см³ воды, 100 г сахара, 125 см³ спирта (94%-ного), 4 см³ концентрированной азотной кислоты. С течением времени из раствора образуется глюкоза, которая является восстановителем.

Растворы для серебрения можно готовить сразу для нескольких студентов.

Приготовьте

раствор А: дистиллированная вода 1000 см³, азотнокислое серебро 100 г;

раствор Б: дистиллированная вода 750 см³, едкое кали 50 г;

раствор В: дистиллированная вода 1000 см³, азотнокислое серебро 15 г.

Для одного зеркала необходимо следующее количество реактивов.

1. Возьмите 38 см³ раствора А.

2. Медленно, все время помешивая, добавьте 2 см³ концентрированного нашатырного спирта: образуется осадок, который следует растворить осторожным добавлением еще 1—2 см³; одна лишняя капля удаляет последнюю муть и делает раствор очень прозрачным.

* Окись железа называют мушкет и используют как красную краску. Для полировки применяется специально приготовленная окись железа — крокус. — *Прим. ред.*

3. Влейте при непрерывном помешивании 35 см³ раствора Б. Жидкость станет темно-коричневой.

4. Снова добавьте нашатырного спирта ровно столько, чтобы раствор стал прозрачным.

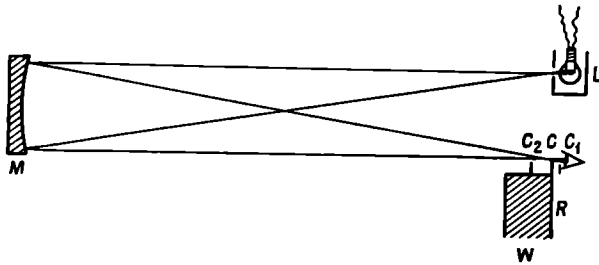
5. Медленно забалтывая, вливайте раствор В, пока раствор слегка не помутнеет (коллоидное серебро). Отфильтруйте раствор через гигроскопическую вату и влейте его в вязкую цилиндрическую стеклянную посуду; температура должна быть от 18 до 23° С. Приготовленный таким образом раствор следует использовать немедленно, ни в коем случае не оставляйте его на следующий день — может образоваться взрывчатая смесь и произойти взрыв.

Теперь надо подготовить зеркало к серебрению. Протрите его поверхность гигроскопической ватой, смоченной в азотной кислоте. (Наденьте резиновые перчатки! Избегайте брызг!) Затем тщательно промойте под краном и окончательно ополосните дистиллированной водой (температура 20—25° С). Налейте 30 см³ раствора для серебрения в цилиндрический стеклянный сосуд. Быстро добавьте 10 см³ восстановливающего раствора и в эту смесь погрузите зеркало, избегая образования пузырьков воздуха на его поверхности. Для этого держите его вначале наклонно. Не касаясь дна стеклянного сосуда, слегка двигайте зеркало. Через 1—2 мин раствор станет темно-коричневым, а еще примерно через 5 мин на поверхности раствора будут плавать мельчайшие пленки серебра и осаждение серебра прекратится.

Поднесите стеклянный сосуд к раковине, промойте зеркало проточной водой, не касаясь поверхности, а затем ополосните его дистиллированной водой. Сушите зеркало в вертикальном положении, предпочтительно в струе воздуха от вентилятора. Если время позволит, то можно перейти теперь к непосредственному испытанию по методу Фуко. Правда, слой серебра еще не отполирован, но это не имеет большого значения. Отполировать его можно позднее.

5. *Полировка слоя серебра.* (Наденьте рабочий халат. Имейте в виду, что пятна от полировочной окиси железа нельзя будет удалить с одежды.) Будем полировать зеркало замшей и самым тонким порошком крокуса не раньше чем через день после серебрения. Голубая дымка на зеркале исчезнет через несколько минут, но избежать микроскопических царапин невозможно. Теперь легко определить радиус кривизны, найдя то расстояние, на котором изображение небольшой электрической лампочки совпадает с ней самой.

6. *Испытание по методу Фуко.* Необходимо проверить, сходятся ли лучи от точечного источника света, находящегося в центре кривизны, после отражения от зеркала строго в одной точке. В затемненной комнате должен быть небольшой столик для подготовки к испытаниям. Источником света является небольшая лампочка накаливания *L*, вокруг которой скользит хорошо прила-



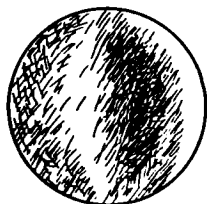
Р и с. 29.

женный металлический цилиндр, имеющий крошечное отверстие поперечником 0,5 мм (рис. 29). Сначала снимем этот цилиндр.

На втором столе в другом конце комнаты установите зеркало M в вертикальном положении, закрепив его ручку в специальной подставке. Зеркало будет давать изображение небольшой лампочки совсем близко к самой лампочке и примерно на той же высоте (используйте в качестве экрана лист бумаги). Определите сначала положение изображения C , затем наденьте на лампочку металлический цилиндр, следя за тем, чтобы пучок света полностью освещал зеркало (проверьте это!).

Возьмите небольшой деревянный брусок W , на котором укреплено лезвие безопасной бритвы R с приклеенным к нему листом белой бумаги, только край лезвия свободен. Поймайте изображение крошечного отверстия сначала на лист бумаги, а затем на лезвие бритвы. Если отодвинуть брусок и поместить глаз в эту светящуюся точку, то можно увидеть все освещенное зеркало. Медленно передвигайте бритву слева направо поперек пучка. Лезвие должно находиться точно в центре кривизны C (рис. 29). Однако сначала поместите лезвие в точку C_1 , расположенную на расстоянии 2 см за центром кривизны; при этом вы увидите тень, движущуюся по зеркалу справа налево. Потом повторите эту процедуру в точке C_2 , находящейся на расстоянии 2 см перед центром кривизны. Тень будет передвигаться по зеркалу слева направо. Легко найти точку между ними, как можно более близкую к центру кривизны. Если в эту точку поместить лезвие, то в большинстве случаев зеркало будет выглядеть так, как показано на рисунке, т. е. одни части зеркала будут затемнены, тогда как другие останутся светлыми*.

* В идеальном случае, когда зеркало имеет форму идеальной сферы, «нож Фуко» в этой точке мгновенно погасит все зеркало. Это место точного фокуса. — Прим. ред.



Теневой рисунок наводит на мысль о том, что поверхность изогнута и ее рельеф коррелирует с наблюдаемой картиной. Поверхность можно улучшить дальнейшей полировкой, но на это требуется много времени, поэтому мы получим представление о чувствительности метода Фуко при помощи нескольких простых экспериментов.

а. Положите перед зеркалом носовой платок, только что вынутый из кармана. Вы увидите на теневой картине, как теплый воздух от него поднимается, подобно струйкам дыма.

б. Приложите на несколько секунд палец к задней стороне зеркала. Стекло в этом месте нагреется и расширится, что хорошо видно на теневом рисунке.

в. Подумайте, как сходятся лучи света и как возникает теневой рисунок.

ЛИТЕРАТУРА

- Amateur Telescope Making, Munn and Co., несколько изданий.
 Sidgwick J. B., Amateur Astronomer's Handbook, London, 1956, ch. 7.
 Thompson A. J., Making your Own Telescope, Cambridge, Mass., 1947.
 Wenske K., Spiegeloptik, Mannheim, 1946.
 * Навашин М. С., Телескоп астронома-любителя, 2-е изд., изд-во «Наука», 1967.
 * Любительское телескопостроение, сб. статей, изд-во «Наука», М., вып. I, 1964; вып. II, 1966.

Для шлифовки, полировки и испытания зеркал больших телескопов используются в принципе те же методы, только штрихи осуществляются при помощи машин. Для характеристики качества зеркала, определенного по методу Фуко, можно применить количественный метод, а затем использовать метод Гартмана.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: два круглых стеклянных диска диаметром 11 см и толщиной по крайней мере 1 см. К одному из них надо прикрепить подходящим клеем ручку, другой закрепляется в центре цилиндрической бочки.

Карманный фонарик, карборундовые порошки различных номеров: 40, 60, 100, 200.

Полировальник, покрытый слоем смолы, в котором сделаны канавки. Порошок для полировки (предпочтительно окись церия), расплавленный парафин, кисть, восстанавливающий раствор (см. текст), приготовленный за несколько недель, растворы для серебрения А, Б, В (см. текст), две мензурки по 50 см³, довольно концентрированную азотную кислоту, гигроскопическую вату,

резиновые перчатки, два цилиндрических стеклянных сосуда для очистки и серебрения зеркала, дистиллированную воду.

Для всей группы: электрический вентилятор, мягкую замшу, самый тонкий крокус (окись железа) для полировки, две установочные для испытания зеркал по методу Фуко, оправу для зеркала, электрическую лампочку, цилиндр с отверстием, деревянный брусок с лезвием бритвы и лист белой бумаги.

Испытание выполняется последовательно для каждого зеркала.

А19. ОПТИКА НЕБОЛЬШОГО ТЕЛЕСКОПА

Для многих наших наблюдений необходим небольшой телескоп. Наш инструмент — это рефрактор с ахроматическим объективом диаметром 4 см и фокусным расстоянием 50 см, следовательно, апертура равна $f/12,5$. Если вы носите не очень сильные очки и не страдаете астигматизмом, то наблюдайте без очков.

Задача (главным образом Л). 1. Прежде всего изучите, как движется телескоп. Какова его монтировка — азимутальная или параллактическая? Как он закрепляется? Винты для закрепления должны вращаться легко, никогда не применяйте к ним силу. Когда смотрите в телескоп, не напрягайте глаза.

2. Наведите телескоп на удаленный объект, посмотрите а) сквозь оконное стекло, б) через открытое окно, в) поместив перед объективом кусок оконного стекла. Можно ли наблюдать в телескоп близкие объекты? Как близко? Чем определяется это минимальное расстояние?

3. Снимите окуляр. Что это за окуляр: Рамсдена или Гюйгенса? Окуляр Рамсдена можно использовать в качестве лупы, он дает действительное изображение. Куда обращены выпуклые поверхности линз в каждом из этих окуляров? Измерьте расстояние между передней поверхностью объектива и задней поверхностью окуляра, сфокусированного на бесконечность. Затем осторожно вывинтите весь окулярный конец телескопа. Где крест нитей? Рассмотрите его, но не трогайте руками! Где диафрагма? Определите плоскость, в которой объектив создает изображение удаленных объектов (крыш домов, уличных фонарей).

Определите, на каком расстоянии должен находиться предмет, чтобы он был ясно виден в окуляр. По-видимому, это то расстояние, на котором располагается изображение, созданное объективом, сфокусированным на бесконечность. Сделайте в масштабе чертеж, на котором покажите относительное расположение объектива, изображения удаленного объекта и окуляра.

4. Определите фокусное расстояние окуляра. Надо иметь в виду, что окуляр представляет собой систему линз. В качестве объекта возьмите две удаленные лампы. Пусть линия, соединяющая

их, имеет длину V , перпендикулярна лучу зрения и находится на расстоянии B от окуляра. Найдите их изображения, расстояние между которыми v . Из соотношения $V/B = v/b$ получим $b \approx f$. Каково при этом увеличение вашего телескопа?

5. Сфокусируйте телескоп на бесконечность и направьте его на хорошо освещенную стену. Вы увидите *выходной зрачок*. Поместите глаз за выходным зрачком, а потом перед ним. Как меняется поле зрения? Поместите карандаш на объектив и найдите его изображение. Теперь ясно, что выходной зрачок — это изображение самого объектива. Измерьте диаметр выходного зрачка при помощи миллиметровой линейки и лупы*. Снова вычислите увеличение телескопа.

6. При наблюдении в телескоп яркость точечного источника (звезды) значительно больше, чем при наблюдении невооруженным глазом; яркость увеличивается как отношение площади объектива к площади зрачка (диаметр зрачка ночью 8 мм). Это справедливо только в том случае, если размер выходного зрачка меньше зрачка глаза**. Каково в этом случае увеличение вашего телескопа?

7. При наблюдении объектов на конечном расстоянии приходится очень сильно изменять положение окуляра. Сначала сфокусируйте изображение объекта, удаленного по крайней мере на один километр. Затем выбирайте объекты на меньших расстояниях V , каждый раз тщательно фокусируйте окуляр и измеряйте его положение. Сдвиг Δ относительно положения окуляра, сфокусированного на бесконечность, пропорционален $1/V$. Для объекта, расстояние до которого в x раз больше фокусного, Δ приблизительно равно f/x . Выведите из ваших измерений эту полезную формулу.

8. Посмотрите прежде всего, в фокусе ли крест нитей, и добейтесь его четкой видимости. Затем сфокусируйте телескоп на удаленный предмет. Проверьте, точно ли установлен крест нитей, нет ли параллакса. Измените слегка положение окуляра. Какова точность фокусировки? Если повернуть окуляр вокруг оптической оси телескопа, то объект, который совпадал с пересечением креста нитей, должен остаться на том же месте.

9. На фоне освещенного поля зрения видны изображения крошечных пылинок. Где они? Посмотрите, сдвинутся ли пылинки при повороте окуляра. Если можно, поверните каждую линзу отдельно. Зная отверстие диафрагмы и фокусное расстояние, найдите угловые размеры поля зрения 2φ . (Прямой способ опре-

* Это легко сделать, поднеся близко к окуляру полотняную кальку или промасленную белую бумагу (хуже бумажную кальку). Обрисуйте резко сфокусированные края выходного зрачка и измерьте их. — *Прим. ред.*

** Иначе часть света не будет попадать в глаз. — *Прим. ред.*

деления можно найти в упражнении А5.) Как выглядит поле зрения, если использовать окуляр без передней линзы (линзы поля)?

10. Наведите телескоп на удаленный пейзаж и листом бумаги закройте часть объектива. Как изменится поле зрения? А яркость?

11. Чтобы наблюдать эффекты дифракции, усильте их в несколько раз, задиафрагмировав объектив до 1 мм. Теперь посмотрите на удаленный маленький, но яркий источник света (например, лампу накаливания); изучите картину дифракции, сделайте зарисовку, представляющую распределение поперек диаметра дифракционного изображения.

12. Замените круглую диафрагму металлической сеткой или другим экраном и наблюдайте дифракцию. Затем поставьте перед объективом гребенку, имитируя объективную решетку; между глазом и окуляром поместите цветной фильтр. Как меняется картина дифракции в красном и голубом свете?

ЛИТЕРАТУРА

- D a n j o n A., C o u d e r A., Lunettes et telescopes, Paris, 1935.
 J o h n s o n B. K., Optics and Optical Instruments, New York, 1960.
 Handbuch für Sternfreunde, ed. Roth G. D., Berlin, 2 Aufg., 1967.
 S i d g w i c k J. B., Amateur Astronomer's Handbook, London, 1956.
 * Н а в а ш и н М. С., Телескоп астронома-любителя, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1967.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: учебный телескоп, линейку, подставку, кусок оконного стекла, диафрагму 1 мм, металлическую сетку, красный и голубой фильтры.

Для всей группы: две лампы, находящиеся на расстоянии нескольких метров и удаленные друг от друга на один метр; автомобильную лампу с очень короткой нитью на расстоянии от 30 до 50 м.

ДВИЖЕНИЕ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

А20. ОРБИТА ЛУНЫ

Задача. Простым способом определить орбиту Луны. Найти положение Луны для одного вечера.

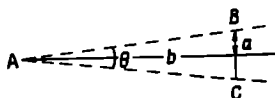
Последующие определения сделайте дома или на обсерватории в другие вечера. Окончательно соберите все определения и объедините их.

Выполнение задачи. Угловое расстояние Луны от находящихся поблизости звезд будем измерять при помощи угломерного прибора «жезла Якоба» — простого инструмента, которым моряки пользовались еще во времена Колумба, а рыбаки использовали вплоть до начала XIX в. (рис. 5). Поместите конец стержня A (рис. 30) против скулы непосредственно под глазом, передвигайте поперечину BC вдоль b до тех пор, пока оба ее конца B и C не будут казаться совпадающими с теми объектами, расстояние между которыми вы измеряете. Осторожно при помощи винта закрепите поперечину, слегка подправьте установку. Угол $BAC = \theta$ можно отсчитать затем прямо по шкале I (при ее цифровке учтено небольшое расстояние между точкой A и зрачком):

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{a}{b}.$$

Для определения меньших углов используйте короткую сторону поперечины (ширина 5 см), которой соответствует шкала II стержня. Очень маленькие углы измеряйте еще более узким концом стержня (2,5 см) и делите на два все числа шкалы II. Если измерения проводятся ночью, надо осветить поперечину карманным фонариком: тогда она будет хорошо выделяться на фоне темного ночного неба.

Р и с. 30.



1Н. Измерьте расстояние между различными ориентирами (с точностью до $0^{\circ},1$). Каждое расстояние измеряется три раза и результаты усредняются.

2Н. Определите угловые расстояния между звездами:

Денеб и Вега (сравните с задачей А2),

α Лебеда и β Лебеда,

Капелла и Альдебаран,

α Большой Медведицы и Полярная звезда.

3Н. Тщательно измерьте расстояние Луны от находящихся поблизости звезд (не дальше 30°). Поскольку расстояния измеряются от края Луны, то к каждому надо прибавить $0^{\circ},2$. Теперь возьмите карту зодиакальных созвездий и циркулем проведите на ней дуги с центрами в каждой звезде, соответствующие измеренным расстояниям. Центр Луны будет находиться на пересечении этих дуг.

4. Описанные измерения следует повторять в течение лунного месяца столько раз, сколько это возможно. Нанесите полученные положения на карту Пояса Зодиака и соедините их плавной линией. Всегда отмечайте также время суток. Объедините измерения всех студентов группы. Небольшие неправильности в нанесении могут быть вызваны параллаксом, которым нельзя пренебрегать.

5Л. По этим наблюдениям определите: продолжительность звездного (сидерического) месяца; долготу восходящего и нисходящего узлов; наклон орбиты Луны к эклиптике. Сравните свои значения с принятыми («официальными»).

6Л. Вследствие эллиптичности орбиты видимый диаметр Луны заметно меняется в течение месяца. Возьмите призматическое стекло для очков с преломляющим углом $\alpha = 1^{\circ}$ (номинально). Отклонение лучей будет примерно $\delta = \alpha (n - 1) = 0,53\alpha \approx 0^{\circ},5$. У имеющихся в продаже стекол угол слегка меняется от одного края к другому, поэтому наклейте на стекло кусок черной бумаги, оставив свободной лишь небольшую часть стекла. Наведите телескоп на Луну и поместите перед частью объектива это призматическое стекло. Вы увидите теперь смещенное примерно на величину своего диаметра второе изображение Луны. Не имеет значения, перед какой частью объектива поставлена призма; вторичное изображение смещено всегда к утолщенной стороне призмы в направлении, указанном стрелкой на бумажной диафрагме. Поверните призму так, чтобы изображение сдвинулось параллельно тому диаметру Луны, который соответствует концам терминатора.

Оцените перекрывающуюся часть изображений в долях лунного диаметра. Затем найдите в Астрономическом Ежегоднике таблицу движения Луны и угловой диаметр Луны для момента наблюдения. Измерения должны быть повторены в другие дни, когда можно ожидать значительного изменения углового диаметра.

Избегайте узких серпов и не проводите измерений при высоте Луны меньше 10° .

Такое же простое приспособление можно использовать для сравнения угловых размеров Луны, находящейся низко над горизонтом и высоко в небе. Вы поймете тогда, насколько могут быть обманчивы психологические эффекты! Если высота Луны меньше 5° , будет наблюдаться рефракция.

7Н. Поскольку измерения с нашим угломерным прибором очень просты и не требуют много времени, можно оценить точность измерений и построить кривую распределения ошибок. Для этого наблюдения, описанные в п. 1Н, повторяются несколько раз, скажем 40 (20 едва ли будет достаточно), и проводится статистическая обработка результатов. Все измерения выполняются одним и тем же наблюдателем. Между последовательными измерениями поперечина должна сдвигаться, чтобы невозможно было запомнить предыдущее положение и наблюдения были независимыми. Нарисуйте кривую распределения ошибок. Определите среднюю величину ошибки. Вы должны получить значение между $0^\circ,1$ и $0^\circ,2$. Аналогичное статистическое исследование можно выполнить ночью по измерениям расстояния между двумя яркими звездами. Вы получите примерно ту же величину средней ошибки, но по нашему опыту кривая ошибок будет хуже, чем при дневных измерениях.

(8Н.) Если у вас есть секстант, используйте его и проследите, как день за днем меняется диаметр Луны. Измерения описаны в задаче А13, п. 5Н, только в этом случае надо очень осторожно поворачивать плоскость секстанта вокруг луча зрения до тех пор, пока прямое и отраженное изображения терминатора не окажутся точно на одной прямой. Отбросьте первые три измерения, которые нужны для тренировки. Затем возьмите три отсчета r , когда отраженное изображение ниже прямого, и три отсчета r' в противоположном положении. Осредните их и вычислите величину $(r-r')/2$. Это надо делать в течение нескольких дней и сравнивать с данными из Астрономического Ежегодника. Не проводите измерений, когда серп узкий, а также при высоте Луны меньше 15° . Это хорошее упражнение, и получаются удовлетворительные результаты.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: угломерный прибор «желез Якоба» (с двойной шкалой), циркуль, карту зодиакальных созвездий.

Несколько призматических линз для очков с преломляющим углом в 1° . Оптические свойства таких стекол не всегда удовлетворительны, часто они собирают либо отклоняют лучи света; их надо выбирать, опираясь перед объективом телескопа и оценивая качество изображения. Темная бумага приклеивается к большей части призмы, оставляя свободной лишь 1 см^2 самой точной части поверхности. Наблюдения видимого диаметра Луны должны выполняться предпочтительно в те моменты, когда первая и последняя четверти приблизительно совпадают с апогеем и перигеем.

А21(Л). ОРБИТА ЛУНЫ ПО ЭФЕМЕРИДНЫМ ДАННЫМ

Если нельзя выполнить многочисленные прямые наблюдения положения Луны или если мы хотим изучить орбиту Луны в течение длительного интервала времени (скажем, одного года), то можно воспользоваться таблицами, помещенными в Астрономическом Ежегоднике. Эти таблицы вычислены по наблюдаемым величинам, и их можно считать «наблюдаемыми». В таблицах даются эклиптические координаты с центром в центре Земли.

Задача. 1. По таблицам Луны из Астрономического Ежегодника вычислите продолжительность звездного месяца (придумайте свой собственный метод!) и наклон орбиты Луны к эклиптике.

2. При последовательных прохождении через узел отмечайте долготу восходящего узла. Простая интерполяция приводит к достаточной точности 1° или 0° , 5. Отложите долготу узла в функции номера прохождения. Обратите внимание на обратное движение узлов и оцените интервал времени, необходимый для полного их оборота. Обратное движение узлов неравномерно, два раза в год оно прекращается. Убедитесь, что это происходит в те моменты, когда Солнце находится в одном из узлов (см. таблицу «Солнце» в Астрономическом Ежегоднике), в эти моменты ортогональный компонент возмущающего влияния Солнца исчезает.

3. В Астрономическом Ежегоднике приводится также угловой диаметр Луны. Выпишите долготу Луны в моменты, когда ее диаметр достигает максимального значения (Луна в перигее). Проследите, как меняется долгота перигея в течение года. Перигей попеременно то движется вперед, то отстает, но движение вперед превышает отставание и в итоге получается опережение*. Это является результатом совместного влияния нормального и тангенциального компонентов возмущающего притяжения Солнца.

ЛИТЕРАТУРА

Moulton F. R., An Introduction to Celestial Mechanics, New York, несколько изданий.

* Чеботарев Г. А., Аналитические и численные методы небесной механики, изд-во «Наука», М., 1965.

А22(Л). ЗАТМЕНИЯ ЛУНЫ

Задача. Посмотрите по Астрономическому Ежегоднику, когда будет следующее затмение Луны, видимое в нашем городе. Или выберите затмение из Астрономического Ежегодника за другой год. Выясним обстоятельства этого затмения по данным, приведенным в Астрономическом Ежегоднике, и графически.

* Вследствие того что на вековое изменение долготы перигея накладываются небольшие периодические изменения. — *Прим. ред.*

Выполнение задачи. 1. Найдите в *Астрономическом Ежегоднике* прямое восхождение Солнца и Луны в день затмения; определите с точностью до 1^m момент всемирного времени, когда Солнце и Луна имеют противоположные прямые восхождения.

2. Возьмите за начало координат на своем рисунке (рис. 31) центр тени Земли O . Представьте себе, что рисунок перемещается вместе с тенью, причем точка O остается в его центре. На вертикальной оси склонения центр Луны будет находиться в момент оппозиции. Наш рисунок должен показать, как Луна постепенно приближается к тени Земли, а затем удаляется от нее.

3. Найдите в *Астрономическом Ежегоднике*, как меняются прямые восхождения Луны и Солнца за два часа до затмения и через два часа после него. Вычислите разность α (Луны) — α (тени Земли) и выразите ее в минутах дуги [$1^m = (15 \cos \delta)'$].

4. Прodelайте эту процедуру для склонения. Помните, что склонение тени Земли в о з р а с т а е т, когда склонение Солнца у б ы в а е т, и наоборот.

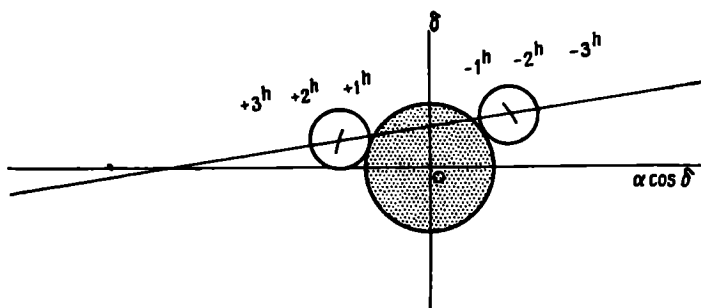
5. Отложите теперь положение центра Луны относительно начала координат в моменты -2^h , -1^h , 0^h , $+1^h$, $+2^h$ (считая за 0^h середину затмения) в масштабе $1 \text{ мм} = 1'$. Не ошибитесь в выборе направления оси $\Delta\alpha$.

6. Изобразите путь Луны в выбранной системе координат. Будет ли он прямой линией?

7. Угловой радиус тени Земли равен горизонтальному параллаксу Луны плюс параллакс Солнца минус радиус Солнца (в угловых единицах). Необходимые данные можно найти в *Астрономическом Ежегоднике*. Проведите вокруг начала координат окружность указанного радиуса с соблюдением масштаба.

8. Проведите также короткие дуги с центром в точке O и радиусом, равным сумме радиуса тени Земли и радиуса Луны. Точки их пересечения с траекторией Луны указывают положение Луны в

Р и с. 31.



моменты первого и последнего контактов. Нарисуйте диск Луны в эти два момента. Изобразите положение Луны в начале и в конце полной фазы.

(9.) Найдите положение центра Луны для моментов четырех контактов. Вычислите для них всемирное время (UT). Измерьте при помощи транспортира позиционные углы точек контактов на окружности Луны. Составьте сводную таблицу и сравните ее с данными в Астрономическом Ежегоднике.

(10.) Что написано об этом затмении в знаменитом «Каноне затмений» Оппольцера или в более современном «Каноне» Меуса и его коллег?

ЛИТЕРАТУРА

- Link F., Die Mondfinsternisse, Leipzig, 1956. (Русский перевод: Ф. Л и н к, Лунные затмения, ИЛ, М., 1962.)
 Smart W. M., Textbook on Spherical Astronomy, Cambridge, ch. XV. Von Oppolzer Th., Canon der Finsternisse, Wien.; английский перевод; New York, 1962.
 * Meus J., Grosjean C., Vanderleen W., Canon of Solar Eclipses, London, Pergamon Press, 1966.
 * Михайлов А. А., Теория затмений, 2-е изд., Гостехиздат, М., 1954.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: лист миллиметровой бумаги.

Для каждой пары студентов: Астрономический Ежегодник, циркуль.

A23(Л). ПОЛОЖЕНИЯ ПЛАНЕТ НА ОРБИТАХ

Задача. Нарисовать приблизительно орбиты и наметить мгновенное положение планет на этих орбитах. Орбиты планет — эллипсы, которые можно аппроксимировать окружностями с центрами, расположенными недалеко от Солнца. Поскольку наклонение орбит невелико, можно рисовать их в плоскости эклиптики. Используем *элементы* планетных орбит, которые можно найти в любом учебнике астрономии и в Астрономическом Ежегоднике.

Выполнение задачи. 1. В качестве примера рассмотрим планету Марс. Пусть точка в центре листа бумаги представляет Солнце. Проведите через эту точку линию в направлении точки весеннего равноденствия. В таблице элементов планет найдите долготу *восходящего узла* Марса и проведите линию узлов.

2. Проведите линию в направлении перигелия Марса. Обратите внимание на то, как отсчитывается *долгота перигелия* π .

3. Используйте масштаб $5 \text{ см} = 1$ астрономической единице. Расстояние от центра эллипса до его фокуса $c = ea$ (e — эксцентриситет, a — большая полуось). Из таблицы элементов планет выпишите значения e и a , приведите c и a к масштабу

своего рисунка. Вычислите также малую полуось b . Является ли достаточно точным представление эллипса эксцентрисической окружностью? (Используйте приближения, допустимые для малых величин.)

$$b = a \sqrt{1 - e^2} \approx a(1 - e^2/2).$$

4. Нарисуйте орбиту Марса; половину орбиты, которая находится над эклиптической, изобразите непрерывной линией, другую половину — штриховой.

5. Нарисуйте также орбиты Земли и Эроса.

6. Какова 21 марта геоцентрическая долгота Солнца? А гелиоцентрическая долгота Земли?

7. Положение планеты на орбите определяется углом перигелий — Солнце — планета, называемым *истинной аномалией* v , которая несколько отличается от *средней аномалии* M (т. е. угла, который имела бы планета, если бы она, начиная от перигелия, двигалась по круговой орбите с постоянной угловой скоростью). Вычислите среднюю аномалию Марса для данного дня, зная момент его последнего прохождения через перигелий (используйте таблицы юлианских дней). Из элементарной теории движения планет

$$v = M + 2e \sin M + \dots$$

Проведите радиус-вектор и укажите положение Марса. Какова его гелиоцентрическая долгота?

(8.) Где в этот же день находится Земля?

(9.) Определите по вашему чертежу геоцентрическую долготу Марса и найдите в звездном атласе созвездие, в котором он находится.

(10.) *Гелиоцентрическая широта* приблизительно равна $\beta = i \sin(\lambda - \Omega)$, где i — наклон орбиты к эклиптике, λ — гелиоцентрическая долгота. *Геоцентрическая широта* определяется из условия, что планета, находящаяся на расстоянии r от Солнца, расположена на высоте βr над (или под) плоскостью эклиптики. Если расстояние от Земли до планеты A , то ее геоцентрическая широта будет $\beta(r/A)$.

Измерьте по своей карте r/A , вычислите геоцентрическую широту и сравните ее с картой эклиптики.

(11.) Чему равен угол между направлением луча зрения и плоскостью, разделяющей освещенную и темную области Марса (плоскость терминатора)? Нарисуйте диск планеты, как он должен быть виден сегодня.

(12.) Когда Марс в оппозиции, его расстояние до Земли относительно невелико. В какое время года будет следующая оппозиция? В каком созвездии будет тогда Марс?

В астрономических календарях и ежегодниках можно найти рисунки, показывающие расположение планет в течение текущего года.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: миллиметровую бумагу, большой транспортир.

Для каждой пары студентов: таблицу элементов планет, Астрономический Ежегодник, циркуль.

A24(Л). ОРБИТА МАРСА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КЕПЛЕРА

Повторим в этом упражнении в сжатой и упрощенной форме знаменитое исследование Кеплера по определению орбиты Марса и законов его движения. Для экономии времени вместо решения сферических треугольников используем простые графики. Будем довольствоваться точностью 1° , тогда как Кеплер вычислял с точностью до $1'$. Однако чтобы достичь даже такой скромной точности, необходимо очень тщательно строить графики.

Данные. Основой для исследования Кеплера послужили ряды наблюдений Тихо Браге, в которых в течение года дается положение Солнца среди звезд; это значит, что *гелиоцентрическая долгота Земли* известна как функция времени. Затем идут наблюдения угла γ (Солнце — Земля — Марс). Особенно важны моменты *опозиции*, или *противостояния*, когда $\gamma = 180^\circ$, потому что в эти и только в эти моменты непосредственно определяется *гелиоцентрическая долгота Марса*. При помощи некоторой интерполяции эту долготу можно найти для любого момента времени.

По наблюдениям Тихо Браге, Давида Фабрициуса и самого Кеплера были точно известны моменты оппозиций в течение 24 лет. В табл. I приведены наиболее важные наблюдаемые координаты Марса для ряда дат в 20—30 годах нашего века.

Выполнение задачи. 1. Определить *синодический период* Марса — средний интервал времени между двумя последовательными оппозициями. Как видно из табл. I, эти интервалы не одинаковы. Почему? Можно было бы взять средний интервал за несколько лет. Но даже в этом случае результат будет точным, если только первая и последняя оппозиции за этот промежуток времени имели место почти точно в одной и той же части орбиты Марса. Для определения синодического периода выберите интервал времени с благоприятным расположением планеты, или, еще лучше, возьмите среднее из определений во время двух таких интервалов. Вычисления всегда всегда ведите в юлианских днях!

2. По этим данным вычислите сидерический период (он должен быть равен 687,0 суток).

3. При помощи простой триангуляции, которую мы не будем здесь повторять, Кеплер определил точную форму орбиты Земли. Начертите на листе бумаги круг радиусом 5 см. Надо принять во

Таблица I

Положение Марса

Дата	Юлианский день	Радиус-вектор Земли, а. е.	Гелиоцентрическая долгота		Угол γ
			Земли, λ_{\oplus}	Марса, λ_{\mars}	
21 апр. 1920 г.	2422436	1,005	211°	211°	180°
9 марта 1922 г.	2423123	0,993	168	211	98
11 июня 1924 г.	2423216	1,017	259	259	180
25 янв. 1924 г.	2423810	0,985	124	211	60
24 авг. 1924 г.	2424021	1,011	330	330	180
11 июля 1926 г.	2424708	1,016	288	330	91
4 ноября 1926 г.	2424824	0,992	41	41	180
28 мая 1928 г.	2425395	1,014	247	330	59
21 сент. 1928 г.	2425511	1,005	358	41	93
22 дек. 1928 г.	2425602	0,984	89	89	180
9 авг. 1930 г.	2426198	1,014	316	41	58
28 янв. 1931 г.	2426369	0,985	127	127	180
14 дек. 1932 г.	2427055	0,984	84	127	101
2 марта 1933 г.	2427133	0,991	161	161	180
1 нояб. 1934 г.	2427742	0,992	38	127	59
7 апр. 1935 г.	2427899	0,978	196	196	180
20 мая 1937 г.	2428673	1,012	238	238	180
23 июля 1939 г.	2429468	1,016	300	300	180

внимание эксцентриситет орбиты Земли, равный $e = 0,0167$. Долгота перигелия $\omega = 101^\circ$. Проведите также линию, направленную к точке весеннего равноденствия.

4. Чтобы при помощи триангуляции определить точку орбиты Марса, используйте противостояние 1920 г. и нарисуйте для этого момента положение Земли и Марса (линия SE_1M , рис. 32). Теперь найдите положения обеих планет через марсианский год. Марс будет занимать точно то же самое положение (посмотрите в столбце долгот табл. I, это критерий), но Земля займет другое положение, E_2 . Найдите его в таблице и отметьте на рисунке.

5. Угол Солнце — Земля — Марс был измерен (табл. I). Теперь проведем линию E_2M , соединяющую Землю с Марсом, которая пересечет SE_1M , и таким образом положение Марса в точке M будет найдено.

6. Повторите эти построения через два марсианских года после противостояния 1920 г. Вы получите линию E_3M . Все три линии

должны пересечься точно в одной и той же точке M ; возьмите наилучшее приближение.

7. Теперь используйте противостояния 1924 и 1931 гг. (и если есть время, 1926 г.). Для каждого из них повторите все построения, описанные в п. 4—6.

8. Проведите через полученные точки орбиты окружность: сначала измерьте радиус-вектор, оцените положение центра и длину радиуса, затем методом проб и ошибок определите небольшие поправки. Предшественники Кеплера вводили некоторые предположения о кинематике планетных движений. Тот метод, который ввел Кеплер и которому мы следовали, позволяет при помощи простых геометрических построений получить орбиту только по наблюдениям.

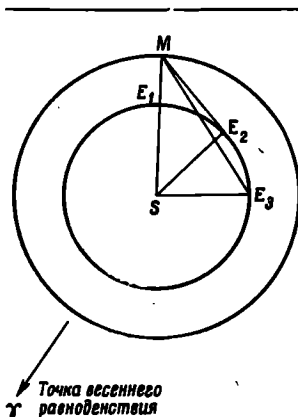
9. Измерьте по своему рисунку величины a , e и определите приближенное значение долготы перигелия π . Сравните с опубликованными значениями.

(10.) По величине a вычислите период обращения и сравните его со своим первым результатом (п. 2).

(11.) Между двумя последовательными противостояниями планета проходит дугу $360^\circ + \Delta\omega$ за время, равное одному марсианскому году плюс интервал времени Δt . Вычислите в разных точках орбиты $\Delta\omega / \Delta t$ и отложите угловую скорость как функцию гелиоцентрической долготы. Где $\Delta\omega / \Delta t$ максимально, а где минимально? Из сравнения изменения $\Delta\omega / \Delta t$ с изменением радиуса-вектора r Кеплер вывел свой второй закон. Найдите эту зависимость по своему графику.

(12.) Вместо того чтобы строить треугольники SEM , можно получить решение тригонометрическим путем. Сделайте это для одного или двух случаев и сравните с графическим решением.

13. Как было указано в п. 3, прежде чем изучить орбиту Марса, Кеплер определил орбиту Земли. Уясните себе, как, зная положения планеты при одном противостоянии и через 1, 2, 3 ... марсианских года после этого, можно сравнить радиус-вектор Земли при нескольких гелиоцентрических долготах. В принципе это и есть метод Кеплера.



Р и с. 32.

ЛИТЕРАТУРА

Kepler J., *Astronomia Nova* (Introduction; ch. 22, 24, 32, 42).
 Раппекоек А., *A History of Astronomy*, London, 1961, гл. о Кеплере.
 (Русский перевод: Паниекук А., *История астрономии*, изд-во «Наука», М., 1966.)

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: лист бумаги размерами по крайней мере 18×18 см, точный и довольно большой транспортир, чертежные принадлежности, логарифмическую линейку и таблицу логарифмов.

А25(Л). ГЕОЦЕНТРИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ ПЛАНЕТЫ

Задача. Вычислить геоцентрические координаты планеты Марс для того же дня, для которого были нарисованы относительные положения Солнца, Земли и Марса (задача А24). Вычисления будем проводить таким образом, чтобы их легко было распространить на другие моменты (это будет уже *эфемерида*). Заимствуем из *Астрономического Ежегодника* на текущий год элементы орбит обеих планет (рис. 33).

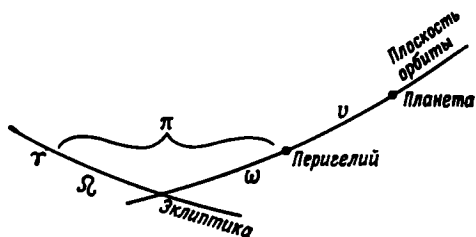
	<i>Марс</i>	<i>Земля</i>
Ω	—	—
i	—	—
π	—	—
a	—	—
e	—	—

Момент прохождения перигелия T

Выполнение задачи. Применим формулы, выведенные в курсе общей астрономии. Все вычисления ведутся с четырьмя десятичными знаками и не зависят от обоих студентами: чтобы избежать ошибок, результаты сравниваются на каждом этапе. Абсолютно необходимо правильно выполнять все операции и аккуратно располагать записи. Ясно представляйте себе, что вы делаете на каждом этапе! Необходимые формулы приведены на стр. 87.

1. Для Марса для выбранной даты найдите последовательно: M (уже определено в упражнении А24), E (разложение в ряд по отношению к M ; члены, которые добавляются к M , должны быть вычислены в радианах, затем — в градусах и, наконец, прибавлены к M), v (ряды по отношению к M или E)*, r (по E и a).

* Имеется немало таблиц, которые по M и e сразу дают v . — *Прим. ред.*



Р и с. 33.

2. *Гелиоцентрические экваториальные координаты Марса.* Вычислите сначала постоянные Гаусса: $a, A; b, B; c, C$. Каждая пара студентов вычисляет две постоянные одной из трех указанных групп и результаты объединяются. Теперь последовательно найдите:

$$\omega = \pi - \Omega, \text{ затем } A', B', C'; x_4, y_4, z_4.$$

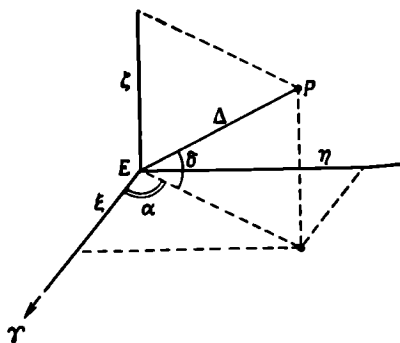
Сравните на этом этапе свои результаты с графиком, полученным в задаче A24.

3. *Гелиоцентрические координаты Земли.* Их можно получить при помощи таких же вычислений, как и координаты Марса. Затем, изменив знаки на обратные, мы получили бы геоцентрические координаты Солнца. Однако, так как последние приводятся в *Астрономическом Ежегоднике*, заимствуем их оттуда. Снова сравните с рисунком, полученным в задаче A24.

4. *Геоцентрические координаты Марса.* По геоцентрическим координатам Солнца X, Y, Z получите геоцентрические координаты ξ, η, ζ и α, δ, Δ для планеты (рис. 34).

Р и с. 34.

5. Сравните с полученным ранее рисунком. Эти последние вычисления значительно точнее, так как во внимание были приняты эллиптичность орбиты и наклон ее плоскости. Сравните также с данными в томе *Planetary Coordinates*. Найдите отклонение вычисленного вами положения от положения, полученного еще более точным способом, с учетом возмущений.



Формулы:

$$E = M + e \sin M + \frac{1}{2} e^2 \sin 2M + \dots ,$$

$$r = a (1 - e \cos E),$$

$$v = M + 2e \sin M + \frac{5}{4} e^2 \sin 2M + \dots ,$$

или

$$v = E + e \sin E + \frac{1}{4} e^2 \sin 2E + \dots .$$

Выражения для постоянных Гаусса:

$$a \sin A = \cos \Omega ,$$

$$a \cos A = -\sin \Omega \cos i ,$$

$$b \sin B = \sin \Omega \sin \epsilon ,$$

$$b \cos B = \cos \Omega \cos i \cos \epsilon - \sin i \sin \epsilon ,$$

$$c \sin C = \sin \Omega \sin \epsilon ,$$

$$c \cos C = \cos \Omega \cos i \sin \epsilon + \sin i \cos \epsilon ,$$

$$A' = A + \omega , \quad x_4 = ra \sin (A' + v),$$

$$B' = B + \omega , \quad y_4 = rb \sin (B' + v),$$

$$C' = C + \omega , \quad z_4 = rc \sin (C' + v),$$

$$\xi = X + x_4 , \quad \xi = \Delta \cos \delta \cos \alpha ,$$

$$\eta = Y + y_4 , \quad \eta = \Delta \cos \delta \sin \alpha ,$$

$$\zeta = Z + z_4 , \quad \zeta = \Delta \sin \delta ,$$

$$\Delta^2 = \xi^2 + \eta^2 + \zeta^2 .$$

ЛИТЕРАТУРА

Clemence G. M., Brown D., Eckert W. J., Co-ordinates of the five outer Planets. На введении есть ссылка у H. Shapley, Source Book in Astronomy 1900—1950, Cambridge, Mass., 1960, p. 93.

* Дубошин Г. Н., Небесная механика. Основные задачи и методы, 4-е изд., изд-во «Наука», М., 1968.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: четырехзначные таблицы логарифмов, конспект лекций или учебник сферической астрономии. Несколько копий Астрономического Ежегодника, Planetary Coordinates 1960—1980.

A26(Л). ЗАДАЧА ТРЕХ ТЕЛ

В общем виде эта задача является одной из наиболее трудных в небесной механике. Однако некоторые частные случаи легко решаются путем численного интегрирования.

Задача. Рассмотрим двойную звезду, компоненты которой m_1 и m_2 имеют одинаковые массы и движутся вокруг общего центра масс по круговым орбитам. Третья звезда m_3 с такой же массой приходит из бесконечности и проходит довольно близко от двойной звезды. Какие возмущения будут оказывать эти звезды друг на друга? Будет ли один из компонентов захвачен проходящей звездой? (Это теория Литлтона происхождения планетной системы.)

Для простоты предположим, что все три звезды движутся в одной плоскости.

Основные уравнения (рис. 35). Обозначим через m_1, m_2, m_3 массы звезд.

Пусть r_1 — расстояние между 2-й и 3-й звездами,

r_2 — расстояние между 1-й и 3-й звездами,

r_3 — расстояние между 1-й и 2-й звездами.

Согласно закону всемирного тяготения Ньютона, на 1-ю звезду будут действовать силы притяжения

$$f \frac{m_1 m_2}{r_3^2} \quad \text{и} \quad f \frac{m_1 m_3}{r_2^2}.$$

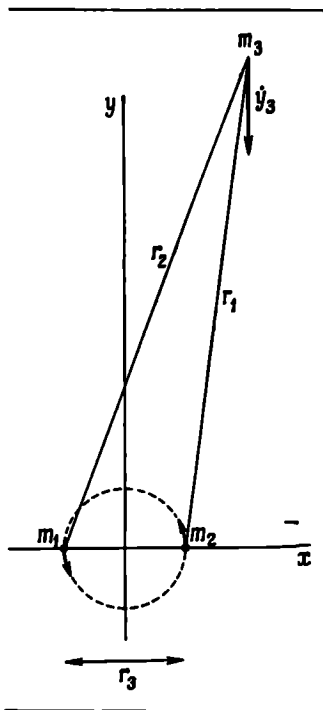
Чтобы определить результирующую силу, найдем сумму проекций сил на оси x и y

$$m_1 \ddot{x}_1 = f \frac{m_1 m_2}{r_3^2} \frac{x_2 - x_1}{r_3} + f \frac{m_1 m_3}{r_2^2} \frac{x_3 - x_1}{r_2},$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = f \frac{m_2 m_1}{r_3^2} \frac{x_1 - x_2}{r_3} + f \frac{m_3 m_2}{r_1^2} \frac{x_3 - x_2}{r_1} \quad \text{и т. д.}$$

Расстояния r всегда положительны. Поскольку массы трех звезд равны, можно выбрать единицы измерений так, чтобы

$$f m_1 = f m_2 = f m_3 = 1.$$



Р и с. 35.

Уравнения примут вид

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 &= \frac{x_2 - x_1}{r_3^3} + \frac{x_3 - x_1}{r_2^3}, & \ddot{y}_1 &= \frac{y_2 - y_1}{r_3^3} + \frac{y_3 - y_1}{r_2^3}, \\ \ddot{x}_2 &= \frac{x_1 - x_2}{r_3^3} + \frac{x_3 - x_2}{r_1^3}, & \ddot{y}_2 &= \frac{y_1 - y_2}{r_3^3} + \frac{y_3 - y_2}{r_1^3}, \\ \ddot{x}_3 &= \frac{x_1 - x_3}{r_2^3} + \frac{x_2 - x_3}{r_1^3}, & \ddot{y}_3 &= \frac{y_1 - y_3}{r_2^3} + \frac{y_2 - y_3}{r_1^3}. \end{aligned}$$

Выполнение задачи. 1. Чтобы избежать ошибок в вычислениях, посмотрите внимательно на эти уравнения и запомните их структуру.

2. Выберите следующие начальные условия:

$$\begin{aligned} x_1 &= -1, & y_1 &= 0, & \dot{x}_1 &= \dots, & \dot{y}_1 &= \dots, \\ x_2 &= +1, & y_2 &= 0, & \dot{x}_2 &= \dots, & \dot{y}_2 &= \dots, \\ x_3 &= + (2), & y_3 &= 10, & \dot{x}_3 &= 0, & \dot{y}_3 &= (2). \end{aligned}$$

Поставьте вместо многоточий такие значения, при которых компоненты двойной будут описывать круговые орбиты. Числа в скобках можно слегка изменить.

3. Нарисуйте относительные положения трех тел. За единицу длины возьмите 1 см.

4. Составьте таблицу, позволяющую построить орбиты с шагом $t = 1$.

5. Измерьте на рисунке r_1, r_2, r_3 , вычислите два члена, входящие в \ddot{x}_1, \ddot{x}_2 и т. д., до тех пор пока не будут определены при $t = 0$ шесть значений ускорений. Для любого момента времени $\Sigma \ddot{x} = 0, \Sigma \ddot{y} = 0$. Это значит, что вычисления можно проверить или упростить.

6. Предположив, что в интервале времени от $t = 0$ до $t = 0,5$ ускорения такие же, как и в момент $t = 0$, найдите шесть компонентов скоростей для $t = 0,5$. Итак,

$$\dot{(x_1)}_{t=0,5} = (\dot{x_1})_{t=0} + 0,5 (\ddot{x_1})_{t=0} \text{ и т. д.}$$

7. Для момента $t = 1$ вычислите шесть координат, считая, что между $t = 0$ и $t = 1$ компоненты скоростей равны компонентам при $t = 0,5$. Итак,

$$(x_1)_{t=1} = (x_1)_{t=0} + (\dot{x_1})_{t=0,5} \text{ и т. д.}$$

Нарисуйте для момента $t = 1$ полученные вами положения трех тел.

8. Теперь, внося небольшие изменения, можно улучшить наш метод без лишней затраты труда. Предположим далее, что

$$(\dot{x}_1)_{t=1,5} = (\dot{x})_{t=0,5} + (\ddot{x}_1)_{t=1} \quad \text{и т. д.}$$

Почему это приближение лучше первого (п. 6)? Измерьте на ваших рисунках r_1, r_2, r_3 . Повторите операции п. 5—7 и проследите орбиты, пока это представляет интерес. (Преподаватель с целью экономии времени может задавать вычисление орбиты, скажем, с момента $t = 6$ и вплоть до того момента, когда третье возмущающее тело уйдет достаточно далеко и можно вновь рассматривать задачу двух тел.) Будьте внимательны, чтобы избежать ошибок в вычислениях, особенно на первых этапах. Используйте не более двух десятичных знаков. Все вычисления можно сделать либо в уме, либо с верхними шкалами логарифмической линейки.

(9.) Через последовательные положения трех тел проведите разными чернилами плавные линии. Сравните с графиками, построенными для несколько других начальных условий.

(10.) Конечно, наши вычисления не очень точны, так как было принято, что ускорение остается одним и тем же в интервале времени от $t = 0$ до $t = 0,5$. На втором этапе для улучшения вычислений было введено предположение, что \ddot{x} остается неизменным в интервале времени от $t = 0,5$ до $t = 1,5$. Дальнейшего уточнения можно достичь при помощи метода последовательных приближений, описанного в книгах по численному интегрированию, который сходится очень быстро.

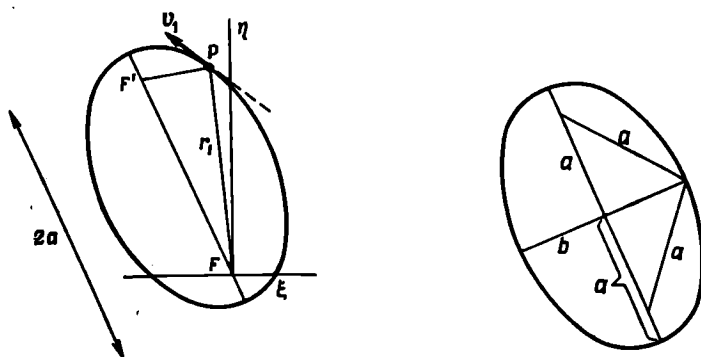
(11.) Если возмущения не слишком сильны, интересно построить орбиту центра масс двойной звезды, когда третье тело практически уйдет на бесконечность.

(12.) Постройте также орбиты компонентов двойной относительно центра масс. Это будут одинаковые эллипсы, так как $m_1 = m_2$, а центр масс является их общим фокусом; поэтому достаточно построить один из них, скажем, для m_1 . Это можно сделать численно. Но можно также, зная уравнения движения, вычислить эллипс следующим образом. Возьмите на эллипсе точку P , для которой уже были вычислены координаты и компоненты скорости. Обозначим через r_1 радиус-вектор этой точки FP (рис. 36). Скорость по отношению к центру масс вычисляется из соотношений

$$\dot{\xi}_1 = 0,5(\dot{x}_1 - \dot{x}_2), \quad \dot{\eta}_1 = 0,5(\dot{y}_1 - \dot{y}_2),$$

$$\dot{v}_1^2 = \dot{\xi}_1^2 + \dot{\eta}_1^2.$$

Большая полуось a определяется из соотношения



Р и с. 36.

Р и с. 36а.

$$v_1^2 = f \frac{m_1 + m_2}{8} \left(\frac{2}{r_1} - \frac{1}{a} \right).$$

(13.) Чтобы найти второй фокус F' , проведем через точку P касательную; ее наклон η_1/ξ_1 . По хорошо известному свойству эллипса линии $F'P$ и FP образуют симметричные углы с касательной; для определения величины PF' используйте соотношение $FP + F'P = 2a$ (рис. 36а). Таким способом можно найти фокусы, большую полуось, а следовательно, эксцентриситет и малую полуось. Начертите эллипс.

(14.) Период обращения пропорционален $a^{3/2}$ (закон Кеплера). Сравните периоды до и после возмущения, вызванного 3-й звездой.

(15.) Вычислим теперь действительные размеры системы. Предположим, что радиус первоначальной орбиты составлял 10^{14} см (примем его за единицу длины). Постоянная гравитации $f = 6,7 \times 10^{-8}$ см³/г · сек². При массе $m = 10^{33}$ г произведение $fm = 1$, если принять за единицу времени $1,2 \cdot 10^8$ сек = 4 годам, так как в этих единицах

$$fm = 10^{33} \cdot 6,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1,4 \cdot 10^{16}}{10^{24}} \approx 1.$$

ЛИТЕРАТУРА

- Bennett A. A., Milne W. E., Bateman H., Numerical Integration of Differential Equations, Dover Publ., 1956.
 Van de Kamp P., Elements of Astromechanics, San Francisco, 1964.
 Sterne Th. E., An Introduction to Celestial Mechanics, London, 1960.
 (Русский перевод: Т. Штерн, Введение в небесную механику, изд-во «Мир», М., 1964.)
 Zunkley J., Astron. Nachr., 272, 66 (1941).

* Рябов Ю. А., Движения небесных тел, 2-е изд., дополн., Физматгиз, М., 1962.

* Суботин М. Ф., Введение в теоретическую астрономию, изд-во «Наука», М., 1969.

A27(L). ТРАЕКТОРИЯ МЕТЕОРА

Все города в Голландии во время второй мировой войны были затемнены, что создавало благоприятные условия для наблюдения метеоров. Несколько студентов, живших временно дома, решили провести одновременные наблюдения метеоров, и им удалось обнаружить несколько интересных объектов.

Данные. Четыре наблюдателя (A, B, C, D) 11 августа 1944 г. в $21^{\text{h}}13^{\text{m}}$ УТ наблюдали метеор; координаты наблюдателей x, y, z относительно Амерсфорта, который принимается в Нидерландах за начало геодезических измерений, даны в километрах. Координаты x, y соответственно измеряются в направлении к востоку и к северу в плоскости, касательной к поверхности Земли в Амерсфорте.

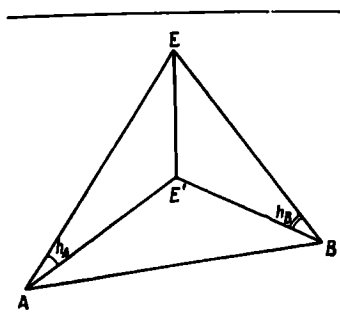
Каждый наблюдатель нанес на звездную карту со всей возможной точностью видимый путь метеора. По этой карте были определены координаты начала и конца наблюдаемой траектории α, δ и по ним при помощи астролябии вычислены высота h и азимут A .

Наблюдатель	Место наблюдения	x	y	z
A	Хогевен	70,9	60,8	-0,7
B	Арнем	34,3	-18,0	-0,1
C	Хейзен	-12,4	+15,2	0,0
D	Суст	-5,4	+0,8	0,0

	Точка исчезновения				Точка появления			
	A	B	C	D	A	B	C	D
α	$13^{\text{h}}49^{\text{m}}$	$11^{\text{h}}24^{\text{m}}$	$11^{\text{h}}54^{\text{m}}$	$11^{\text{h}}19^{\text{m}}$	$13^{\text{h}}14^{\text{m}}$	$10^{\text{h}}24^{\text{m}}$	$7^{\text{h}}19^{\text{m}}$	$7^{\text{h}}39^{\text{m}}$
δ	31°	52°	68°	66°	59°	63°	$79^{\circ},5$	76°
A	102°	138°	150°	150°	134°	153°	178°	176°
h	$31^{\circ},5$	30°	42°	$38^{\circ},5$	44°	33°	42°	38°

Блеск в звездных величинах по оценкам наблюдателей:

A 2^{m} , C 1^{m} ,
 B 1^{m} , D 2^{m} .



Р и с. 37.

Задача. Найти в пространстве положение двух характерных точек: точки появления и точки исчезновения, которые и определяют траекторию метеорного тела вблизи Земли.

Выполнение задачи. Предположим для простоты, что четыре наблюдателя располагаются в горизонтальной плоскости, проходящей через Амерсфорт, и, следовательно, z -координата их равна нулю.

1. Отметьте на миллиметровой бумаге положение этих четырех наблюдателей (масштаб: 1 мм равняется 1 км; Амерсфорт на 3 см ниже).

2. Сначала рассмотрим точку исчезновения, потому что обычно она определяется лучше. Аккуратно при помощи транспортира нанесите четыре азимутальные линии [можно использовать для этого значение $\text{tg}(A - 90^\circ)$]. Определите E' как центр тяжести пересечения этих линий; точка E' является проекцией точки исчезновения E (рис. 37).

3. Для каждой станции найдите наблюдаемую высоту $E'E$ по расстояниям AE' , BE' и т. д. и высотам h в угловых единицах. Среднее значение наблюдаемых высот определяет положение точки исчезновения. Небольшие различия между четырьмя наблюдаемыми высотами неизбежны даже при таких превосходных наблюдениях, как описанные здесь. Чтобы по достоинству оценить качество этих наблюдений, попытайтесь темной ночью зарегистрировать видимый путь метеора среди звезд.

4. Обычно невозможно таким же способом определить точку появления, так как метеор вспыхивает столь неожиданно, что наблюдатель часто не в состоянии отметить точный момент. Тем не менее, принимая во внимание качество наших данных, попытаемся определить точку появления. Легко убедиться, что азимутальные линии трех наблюдателей пересекаются как раз в точке O' и высота точки появления O относительно точки O' хорошо определяется. По-видимому, один из наблюдателей заметил метеор слишком поздно и его азимутальная линия направлена к некоторой точке между точками O' и E' .

(5.) Проверим теперь объяснение, приведенное в п. 4. Можно нарисовать траекторию метеора в пространстве, не находя точек появления и исчезновения, а зная лишь направление полета.

Представьте себе горизонтальную плоскость, скажем, на высоте 100 км; траектория метеора OE пересечет эту плоскость где-нибудь в точке S (рис. 38). Рассмотрим плоскость T_1OE , проходящую через наблюдателя T_1 и орбиту метеора; она пересечет плос-

кость, находящуюся на высоте 100 км вдоль линии O_1E_1 . Для наблюдателя T_2 будет существовать аналогичная линия O_2E_2 . Эти две линии пересекутся в точке S , которая и является точкой на орбите.

Для удобства практических построений сделаем наш рисунок на миллиметровой бумаге. Азимутальная линия AE' первого наблюдателя является проекцией линии AE , которая, начинаясь в точке A , поднимается на $\text{tg } h$ при изменении расстояния вдоль линии AE' на единицу. На расстоянии 100 км $\cdot \text{ctg } h$ она достигает высоты 100 км. Нанесите эту точку E_1 . Таким же способом, вновь начиная от точки A и двигаясь в направлении O' , вы найдете точку O_1 . Теперь можно провести линию E_1O_1 (проведите ее слегка карандашом). Подобным же образом наблюдения из точек B, C, D позволяют найти линии E_2O_2, E_3O_3, E_4O_4 . Они должны пересечься в точке S ; но в наблюдениях неизбежны ошибки, и мы сможем найти лишь наиболее вероятное положение точки пересечения.

(6.) Повторяя такие же построения для точек на высоте 90 и 110 км, мы получим новые точки T, U, \dots траектории.

(7.) Проекции построенных нами точек T, S, U должны лежать на прямой линии; можно ожидать, что эта прямая пройдет через точку E , так как приближение было достаточно хорошим. Вследствие ошибок наблюдений невозможно избежать некоторого разброса точек и, следовательно, можно найти лишь наиболее вероятное положение прямой.

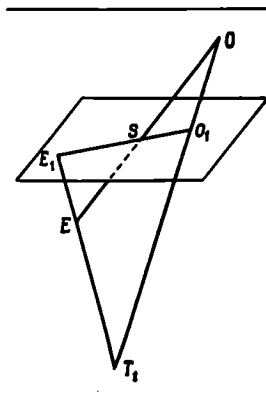
Теперь проверим, проходит ли эта прямая также через точку O' , которая по определению трех наблюдателей из четырех является проекцией действительной точки появления.

Мы имеем не только проекцию траектории, но также и шкалу высот вдоль этой линии, поэтому можно указать высоту, на которой четвертый наблюдатель заметил метеор. Окончательно нарисуйте в масштабе траекторию в вертикальной плоскости.

8. Сравните высоты точек появления и исчезновения со статистическими данными, приведенными в литературе.

9. В ту же ночь наблюдалось еще несколько метеоров. Траектории, нанесенные на карту полярной области по наблюдавшимся координатам, показывают, что радиант должен быть расположен где-то вблизи созвездий Жирафа или Персея.

Более точно радиант можно определить, нанеся траектории метеоров на карту, выполненную в гномонической проекции, где большие круги изображаются прямыми линиями. Данные



Р и с. 38.

наблюдений почти совпадают с максимумом частоты Персеид. Несомненно, наши метеоры принадлежат к этому потоку.

ЛИТЕРАТУРА

- К а т а с е в Л. А., Исследование метеоров в атмосфере Земли фотографическим методом, Гидрометеонадат, М., 1966.
- Millman P. M., McKinnley D. W. R., The Solar System, eds. G. P. Kuiper, B. Middlehurst, Chicago, Vol. IV, 1961, pp. 677—680, 721—733.
- * С и м о н е н к о А. Н., Обработка фотографий метеоров, Изд-во АН СССР, М., 1963.
- * Б р о н ш т е в В. А., Проблема движения в атмосфере крупных метеорных тел, Изд-во АН СССР, М., 1963.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: миллиметровую бумагу, большой транспортир, таблицу тригонометрических функций, логарифмическую линейку, звездный атлас.

Желательно иметь несколько карт в гномонической проекции. Имеющиеся карты указаны в работе Millman, Trans, Int. Astron. Union, 10, 351 (1960). [Такие карты (сетки Лоренцони) имеются в Центральном Совете ВАГО. См. П р о с к у р и н а Е. М., Карты для наблюдений метеоров (4 листа и сетка для отсчета координат), под ред. проф. И. С. Астаповича, изд. ВАГО, М., 1950.—Ред.]

А28. ПРОХОЖДЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО СПУТНИКА ЗЕМЛИ

Впечатление, произведенное прохождением первого советского искусственного спутника Земли в октябре 1957 г., незабываемо для всех, кому посчастливилось наблюдать его. Даже сейчас наблюдение сделанного руками человека спутника Земли — поразительное зрелище.

Зная о предстоящем прохождении спутника над горизонтом места наблюдения в вечернее или ночное время, можно попытаться пронаблюдать его. Телескопы и бинокли полезны лишь опытным наблюдателям, а также при наблюдении слабых спутников.

1Л. Прежде всего проверьте секундомер. Стоя около часов, показывающих всемирное время, пустите секундомер на целой минуте, а на следующей целой минуте, не глядя на циферблат, остановите его. Инерция наблюдателя и часового механизма, если они постоянны, погашаются. Проверьте теперь, точно ли вы отмечаете моменты. Повторите эту процедуру три раза.

2Н. Посмотрите на небо. Если орбита спутника приблизительно известна, заметьте наиболее значительные созвездия на его пути.

Приготовьте звездный атлас, затемненный фонарик, секундомер.

3Н. Во время ожидания вы убедитесь, насколько легко обмануться и принять неподвижную звезду за движущуюся. Надежно обнаружить движение можно лишь относительно окружающих звезд. Как только один из наблюдателей заметит движущийся объект, он должен сообщить об этом, и все остальные наблюдатели могут проверить, действительно ли объект перемещается.

4Н. Задача теперь заключается в том, чтобы выбрать момент, когда спутник займет положение, которое легко отождествить, например, вблизи какой-нибудь яркой звезды или между двумя звездами. В этот момент нажатием кнопки пустите секундомер. Услышав щелчок, второй студент должен, насколько возможно точно, запомнить положение спутника среди звезд. Хорошо, если несколько пар наблюдателей определяют точки в начале прохождения, несколько — вблизи кульминации, а остальные — в конце прохождения.

5Л. Сразу после наблюдений согласуйте эти положения, делая карандашом слабые отметки на карте звездного неба. Пospешите к часам, показывающим всемирное время, и на целой минуте остановите секундомер. Вычитая из показания часов интервал времени между пуском и остановкой секундомера, вы получите всемирное время момента прохождения спутника. Для определения орбиты необходима точность $0,1$ сек, она достигается в настоящее время лишь опытными наблюдателями. Применяя специальные методы фотографирования, можно получить точность в $0,01$ сек.

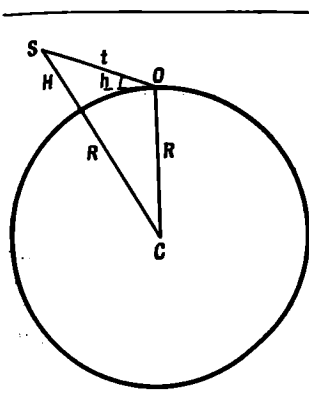
6Н. Возможно, в самом конце прохождения, когда спутник находится низко над горизонтом, вам покажется, что он качается из стороны в сторону, но это иллюзия. Блеск некоторых спутников вследствие вращения меняется с периодом в несколько секунд. В других случаях вы увидите, как, не достигнув горизонта, спутник довольно внезапно исчезает: значит, он вошел в тень Земли.

7Л. По картам звездного неба определите точные координаты (с точностью $0^\circ,1$) для отмеченного момента прохождения спутника.

8Л. Все точки, полученные различными группами наблюдателей, надо нанести на карту звездного неба и провести через них карандашом плавную линию. Уклоняющиеся от этой линии точки сразу выявляются. Их надо либо исправить, либо исключить.

На практике визуальные наблюдения с ошибками в положении примерно в 1° и в моменте примерно в 1 сек считаются грубыми. Если же ошибки составляют $10'$ в положении и $0,2$ сек в моменте, то наблюдения считаются довольно точными. Очень опытные наблюдатели в состоянии зарегистрировать до восьми моментов во время одного прохождения и запомнить потом восемь соответствующих положений!

(9Л.) Предположим, что орбита спутника имеет небольшой эксцентриситет ($<0,10$) и может быть представлена оскулирующей



Р и с. 39.

окружностью. Наблюдатель, находящийся в точке O , вблизи момента кульминации смотрит на спутник S , который движется перпендикулярно лучу зрения (и плоскости чертежа на рис. 39); по графику, построенному в п. 8, можно определить наблюдаемую угловую скорость $\omega = v/t$, где t — расстояние между наблюдателем и спутником. Кроме того, для этого момента времени известна высота спутника над горизонтом. Следовательно, можно найти теперь высоту H , на которой движется спутник. Пусть ускорение силы тяжести на поверхности Земли g_0 , а на высоте спутника g . Тогда уравнения будут иметь вид

$$\frac{v^2}{R + H} = g,$$

или

$$\frac{\omega^2 t^2}{R + H} = g_0 \left(\frac{R}{R + H} \right)^2,$$

или

$$(H + R)^2 = R^2 + t^2 - 2tR \cos(90^\circ + h).$$

Эти уравнения — хороший пример для решения методом последовательных приближений, величины H и t малы по сравнению с R . Известными являются $R = 6400$ км, $g_0 = 0,01$ км/сек² и ω .

Мы пренебрегли скоростью наблюдателя по сравнению со скоростью спутника. Когда это допустимо?

ЛИТЕРАТУРА

The Optical Tracking of Satellites (eds. W. de Graaff, C. de Jager), Cospar Information Bulletin № 25, October 1965.

* King-Helle D., Observing Earth Satellites, London, 1966. (Русский перевод: Д. Кинг-Хили, Наблюдая спутники Земли..., изд-во «Мир», М., 1968.)

* King-Helle D., Satellites and Scientific Research, London, 1962. (Русский перевод: Д. Кинг-Хили, Искусственные спутники и научные исследования, ИЛ, М., 1963.)

* Астапович И. С., Каплан С. А., Визуальные наблюдения искусственных спутников Земли, Гостехиздат, М., 1957.

• Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: звездный атлас, секундомер, затемненный фонарик.

ПЛАНЕТЫ И СПУТНИКИ

А29. ТОПОГРАФИЯ ЛУНЫ

Задача. Цель этой задачи — получить общее представление о поверхности Луны. Во время полнолуния лучше всего изучать положение равнин (морей); в это время можно также наблюдать некоторые крупные кратеры и системы светлых лучей, расходящиеся от них.

Первая четверть — наиболее подходящая фаза для изучения деталей некоторых интересных областей. Рельеф при этом значительно более отчетливый, но видна только часть поверхности.

Выполнение задачи. 1Н. Первую рекогносцировку нужно сделать невооруженным глазом, если возможно, вблизи полнолуния. Сядьте удобно и положите перед собой лист нелинованной бумаги, на котором проведена окружность диаметром 10 см. Если необходимо, время от времени освещайте бумагу затемненным фонариком (экономьте батарейку!).

Тонкой карандашной линией отметьте контуры темных областей на поверхности Луны и заштрихуйте их. Нанесите другие детали, которые сможете увидеть. Ни в коем случае не исправляйте!

2Н. Посмотрите в бинокль и вы увидите неожиданно много деталей. Старайтесь стоять неподвижно, для этого прислонитесь к косяку двери или к стене.

3Н. Теперь повторите наблюдения с учебным телескопом, который имеет паралактическую монтировку и неподвижно установлен на столбе. При гидировании перемещайте его только по одной координате; слегка закрепите телескоп так, чтобы он мог передвигаться при небольшом усилии. Отфокусируйте телескоп; наилучший фокус может немного различаться для центра поля и его внешних частей. Вблизи полнолуния яркость настолько значительна, что вы увидите «духов». Полезно вставить темное или зеленое стекло позади окуляра.

Сначала полюбайтесь изображением и найдите характерные детали поверхности Луны. Конечно, изображение перевернуто. Положите лист бумаги так, чтобы его стороны были параллельны нитям в поле зрения телескопа, и начинайте рисовать внутри окружности диаметром 15 см.

Изобразите моря и заштрихуйте их. Нанесите основные кратеры; вблизи полнолуния они видны как яркие пятна. Отметьте системы светлых лучей. Посмотрите на Море Кризисов и кратер

Платон, оцените их расстояние от края Луны, имея в виду, что большая ось Моря Кризисов составляет примерно 0,25 радиуса Луны. Нарисуйте другие детали, которые вы сможете увидеть.

Укажите на рисунке его ориентацию, дату и час наблюдения, тип телескопа и увеличение.

4Л. Пойдите теперь в библиотеку и сравните оба рисунка друг с другом и с хорошей картой Луны. Возможно, вы будете разочарованы. Однако ваши зарисовки очень полезны, так как дают общее представление о Луне. Поставьте на рисунке около изображения тех морей, кратеров и других деталей, которые вам удалось увидеть, номера чернилами и составьте список их названий.

Ни в коем случае не пытайтесь исправлять рисунок! Само по себе интересно, что каждый наблюдатель может увидеть небооруженным глазом или при помощи небольшого телескопа и какие при этом возможны ошибки и т. д.

Сравните положение Моря Кризисов и кратера Платон с картой. Обратите внимание на эффекты либрации по долготе и широте. Найдите в Астрономическом Ежегоднике для дня наблюдения координаты центра диска Луны, смещенного вследствие либрации. Но еще лучше найти по Ежегоднику точный момент первой четверти и пронаблюдать положение кратера Птолемей по отношению к линии терминатора. Его край как раз касается центрального меридиана. Либрация по долготе может значительно сдвинуть его.

Если осталось время, выберите интересную часть поверхности Луны, вернитесь к телескопу и, пользуясь картой Луны, постарайтесь различить побольше деталей.

ЛИТЕРАТУРА

- К о р а л Z., An Introduction to the Study of the Moon, D. Reidel, Dordrecht, 1966, ch. 16.
 Wilkins H. P., Moore P., The Moon, London, 1961.
 * Baldwin R., The Moon. A Fundamental Survey, London, 1965. (Русский перевод: Р. Болдуин, Что мы знаем о Луне?, изд-во «Мир», М., 1967.)
 * Корал Z., The Moon. Our Nearest Celestial Neighbour, London, 1960. (Русский перевод: З. Корал, Луна, ИЛ, М., 1963.)
 * Сытинская Н. Н., Природа Луны, Физматгиз, М., 1959.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: учебный телескоп, карманный фонарик (затемненный), картон с приколотым к нему листом бумаги, два стула, циркуль, звездный атлас.

Несколько биноклей, телескоп.

А30(Л). ВИД ЛУННЫХ КРАТЕРОВ

Задача. Используем для работы лист великолепного фотографического атласа Луны Койпера. Обращаться с ним надо очень осторожно. Для изучения лучше выбрать область не слишком далеко от экватора и не очень близко к краю, что дает некоторые упрощения при редукции.

На листе атласа изображена одна и та же область при четырех или пяти различных условиях освещения (рис. 40)*. Измерим высоту вала некоторых кратеров.

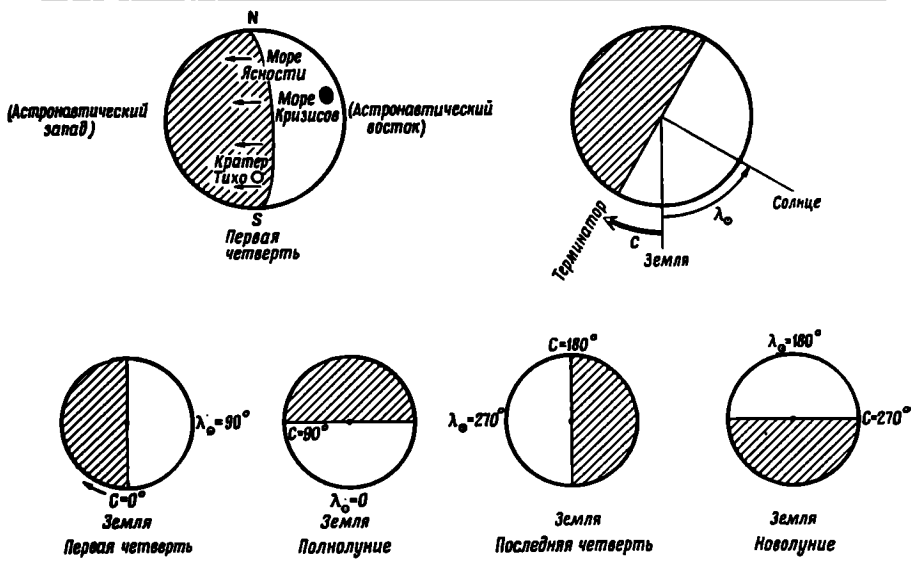
Выполнение задачи. 1. Сравните фотографию с не очень подробной картой Луны в звездном атласе или с картой видимой стороны Луны. Сделайте некоторые отождествления. Как много на Луне деталей и красивых образований!

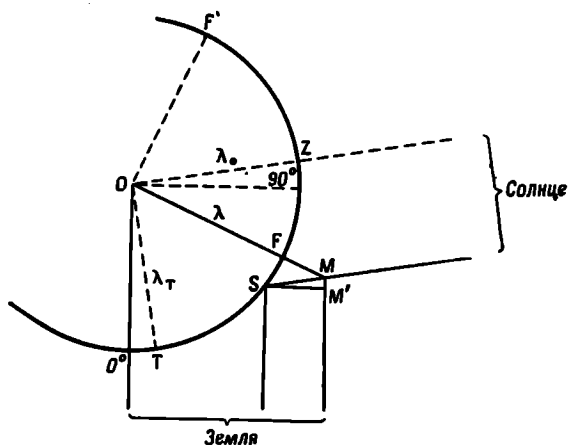
2. Выберите подходящий для исследования кратер и либо измерьте его прямоугольные координаты ξ , η на карте, либо возьмите их из каталога Блэгга и Мюллера, где координаты даны в тысячных долях лунного радиуса. На экваторе долгота кратера λ задается формулой $\xi = \sin \lambda$, в более общем случае $\xi = \sqrt{1 - \eta^2} \sin \lambda$. Определите долготу**.

* С 1961 г. для удобства космонавтов на Луне восточные селенографические долготы отсчитываются от центрального меридиана в направлении вращения Луны. — *Прим. ред.*

** Селеноцентрическая долгота λ отсчитывается от центрального меридиана лунного диска при либрациях, равных нулю. — *Прим. ред.*

Р и с. 40.





Р и с. 41.

3. Масштаб атласа Койпера таков, что диаметр Луны (3476 км) равен 2,54 м; т. е. 1 мм соответствует 1,37 км. Измерьте диаметр выбранного вами кратера. Чтобы избежать влияния перспективного сокращения, для измерения надо выбрать диаметр, перпендикулярный радиусу лунного диска, пересекающему эту деталь.

4. Посмотрим теперь, как по длине тени найти высоту горы относительно окружающей равнины. Сделаем чертеж в плоскости той параллели, на которой расположен кратер. Пренебрежем временно либрациями и предположим, что наблюдатель находится в центре Земли на бесконечно большом расстоянии от Луны. Сделайте соответствующий чертеж и выведите формулу. Или же проследите за ходом наших рассуждений (рис. 41).

Пусть O — центр Луны, T — линия терминатора, F — основание горы, M — ее вершина, Z — подсолнечная точка*, S — конец тени, λ_{\odot} — селеноцентрическая долгота Солнца, λ — долгота горы, $\lambda_T = \lambda_{\odot} - 90^\circ$ — утренний край терминатора, долготы других точек указаны около их радиусов.

Солнечные лучи достигают поверхности Луны у горы M под углом

$$MSF = ZOF' = FOT = \lambda + 90^\circ - \lambda_{\odot}.$$

Таким образом, длина тени

$$SM = \frac{FM}{\sin MSF} = \frac{FM}{\sin (\lambda + 90^\circ - \lambda_{\odot})} = \frac{FM}{\sin (\lambda - \lambda_T)}.$$

Мы наблюдаем проекцию тени, ее видимая длина

$$SM' = SM \cos (\lambda_{\odot} - 90^\circ) = SM \cos \lambda_T = FM \frac{\cos \lambda_T}{\sin (\lambda - \lambda_T)}.$$

* Т. е. точка поверхности Луны, из которой Солнце видно в зените — Прим. ред.

Высота горы окончательно определяется соотношением

$$FM = SM' \frac{\sin(\lambda - \lambda_T)}{\cos \lambda_T}.$$

Наш результат сильно зависит от значения $(\lambda - \lambda_T)$ — расстояния кратера от терминатора. Предпочтительнее измерять тени, когда это расстояние мало, это значит, что надо очень тщательно определить значение $\lambda - \lambda_T$; наблюдатели Луны часто вводят дополнение долготы $C = 90^\circ - \lambda_\odot$ (или $450^\circ - \lambda_\odot$) $= 90^\circ - (\lambda_T + 90^\circ) = -\lambda_T$. Таким образом, дополнение долготы — это долгота утреннего края терминатора, измеренная от центрального меридиана в направлении, противоположном Морю Кризисов. В отличие от селенографической долготы Солнца дополнение долготы возрастает все время в течение лунации. Следовательно,

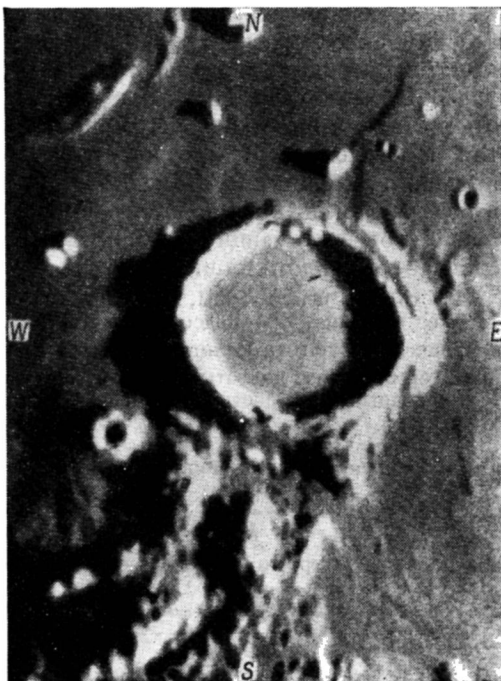
$$FM = SM' \frac{\sin(\lambda + C)}{\cos C}.$$

5. Возьмите фотографию, на которой хорошо видны тени, не слишком короткие, но и не слишком длинные. Измерьте длину тени вала кратера на прилегающей к кратеру ровной поверхности и вычислите его высоту. Долгота кратера λ уже была найдена, а C непосредственно дается во введении к атласу Койпера (табл. II).

Полезно сделать простой схематический рисунок, показывающий положение кратера, Солнца и терминатора (типа рис. 40).

6. Повторите измерения при другом освещении и сравните ре-

Фотография кратера Архимед, полученная 25 октября 1963 г. в 19^h03^mUT, $C = 8^\circ, 2$, $\beta = +30^\circ$, $\lambda = -2^\circ, 3$ (центр восточной стены) и $-5^\circ, 3$ (центр западной стены); диаметр 80 км. Заимствовано из книги Копала.



зультаты. Которое из двух значений имеет больший вес?

7. Нарисуйте по возможности в масштабе часть кратера.

(8.) Зависимость между диаметром d и глубиной h относительно края кратера была изучена Мак-Дональдом и позднее Болдуином. Для кратеров с $d < 100$ км Мак-Дональд дает формулу $h = 0,378\sqrt{d}$ или $h = 0,378\sqrt{d} + 0,95$ в гористой части (d и h выражены в километрах). Сравните свои результаты с результатами, которые дают эти формулы.

ЛИТЕРАТУРА

- Arthur D. W. G., The Solar System eds. G. P. Kuiper, B. Middlehurst, Chicago, vol. IV, 1962, p. 84—89.
 Baldwin R. B., The face of the Moon, Chicago, 1949, ch. 6.
 Blagg M. A., Müller K., Named Lunar Formations, London, 1935.
 Kopal Z., An Introduction to the Study of the Moon, D. Reidel, Dordrecht, 1966. В гл. 14 можно найти значительно более полный и более точный метод определения высоты лунных образований.
 * Фигура Луны и проблемы лунной топографии, сб. статей, пер. с англ. и нем., изд-во «Наука», М. 1968.
 * Луна, сб. статей, изд-во «Знание», М., 1964.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: карту Луны из G. Kuiper, Photographic Lunar Atlas, Chicago, 1960, для которой даются дополнения долготы и селеноцентрическая долгота Земли; звездный атлас, в котором можно найти общую карту Луны, или другие обзоры лунной поверхности; таблицы тригонометрических функций.

АЗ1(Л). ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ФОТОМЕТРИЯ ЛУНЫ

Принцип. Чем сильнее световой поток, падающий на фотографическую пластинку, тем темнее будет она после проявления. Если пластинки прокалиброваны, то в принципе можно, зная характеристическую кривую, получить яркость поверхности Луны, которая меняется при переходе от одной точки поверхности к другой. Будем измерять на микрофотометре (стр. 18—19 и рис. 4) плотности почернения и переводить их в единицы яркости.

Выполнение задачи. 1. Включите фотоэлектрический микрофотометр в сеть переменного тока напряжением 12 в. Раскаленная добела нить лампы микрофотометра освещает небольшую площадку пластинки, затем свет достигает фотоэлемента, и микроамперметр показывает отклонение, соответствующее среднему почернению этой площадки.

2. На репродукции фотографии Луны, полученной с йеркским рефрактором, имеется серия калибровочных марок от источников с известными интенсивностями i . Фотография Луны и калибро-

вочные марки сняты с одной и той же экспозицией и одинаково проявлены, следовательно, их можно непосредственно сравнивать.

3. Положите пластинку на столик микрофотометра слоем вниз и найдите свободный от изображений участок. Свет, прошедший даже через этот участок, уже значительно ослаблен, так как всегда имеется некоторая вуаль. Конденсорные линзы, через которые на пластинку падает свет, могут быть слегка сдвинуты; причем даже небольшой сдвиг этих линз оказывает значительное влияние на количество проходящего света и, следовательно, на отклонение стрелки микроамперметра. Добейтесь максимального отклонения и больше не меняйте установку. (Микроамперметр отрегулируйте так, чтобы его стрелка отклонялась почти на всю шкалу.)

Помещая на какой-то момент между конденсором и источником кусок матового стекла, вы можете осветить большую область пластинки и определить, в каком месте вы измеряете.

4. Выберите свободную от изображений область пластинки и измерьте почернение фона u_0 . Затем измерьте почернение в калибровочных марках u и отложите величину u/u_0 в функции $\lg i$. Проведите характеристическую кривую.

5. Теперь рассмотрите внимательно фотографию Луны. Сравнивая ее с картой, отождествите основные детали. Измерьте последовательно почернение: а) в трех точках внутри некоторых больших морей, б) в трех точках наиболее ярких горных областей, в) дна кратера Платон. Для всех этих измерений найдите отношение u/u_0 (на логарифмической линейке) и, следовательно, $\lg i$. По данным самых точных измерений альbedo кратера Платон равно 0,068. Найдите относительно его альbedo других измеренных вами элементов поверхности. В каких пределах изменяется альbedo? Сравните с данными из литературы.

6. Допустим, что фототок не вполне пропорционален освещенности. Повлияет ли это на ваши результаты? А как повлияют слабые флуктуации напряжения в течение измерений?

7. Измерьте несколько случайных точек, расположенных вдоль радиуса в направлении Южного полюса Луны, избегая больших морей, или от Моря Кризисов вдоль радиуса, проходящего только через моря. Для каждой точки оцените приблизительно ее относительное расстояние R/R_0 от центра Луны. Отложите яркость в этих точках в функции расстояния от центра. Наблюдается ли систематическое изменение средней яркости от центра к краю? Что будет наблюдаться в случае гладкой белой сферы, рассеивающей в соответствии с законом Ламберта? Постройте соответствующую кривую.

(8.) Установлено, что яркость лунной поверхности выражается формулой $i = i_0 f(\lambda)$, где i_0 — альbedo полной Луны, а λ — селеноцентрическая долгота. Это значит, что фотометрическая

функция $f(\lambda)$ одна и та же вдоль всего лунного меридиана и для всех гор и всех равнин. Эти закономерности являются основными для лунной фотометрии.

Чтобы проверить их, сравните фотографию полной Луны с фотографией ее последней четверти. Выберите на одном и том же лунном меридиане две точки с очень сильно различающимися альбедо. Полуостров Смертоносный (Peninsula Fulminum) между Морем Влажности и Океаном Бурь является подходящим объектом для сравнения с соседними морями, расположенными на одном и том же меридиане. Если $f(\lambda)$ одна и та же для обоих объектов, то можно ожидать, что $i/i' = i_0/i_0'$. Проверьте это. Для первой четверти выберите горную область между Морем Кризисов и Морем Изобилия и сравните с ней соседние равнины.

ЛИТЕРАТУРА

- Minnaert M., Photometry of the Moon, Planets and Satellites, eds. G. P. Kuiper, V. Middlehurst, Chicago, vol. IV, 1961, p. 213—248. (Русский перевод: Планеты и спутники, ИЛ, М., 1963, стр. 192.)
 Сытниская Н. Н., Астрон. ж., 30, 297—298 (1953) (последний столбец).
 * Луна, сб. статей, ред. А. В. Марков, Физматгиз, М., 1960.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: микрофотометр, матовое стекло, фотографию Луны с калибровочными марками, карту Луны.

А32(Н). НАБЛЮДЕНИЯ ПЛАНЕТ В ТЕЛЕСКОП

Особенно интересны планеты Венера, Марс, Юпитер и Сатурн. Лучше всего они видны либо в благоприятной фазе (Венера), либо когда находятся близко от Земли (Марс). При этом они должны быть не слишком низко над горизонтом, но и не очень высоко (в последнем случае наблюдения неудобны). В Астрономическом календаре имеются сведения о том, какие планеты видны в данный период.

Наблюдения с небольшим учебным телескопом. Сделайте схематический рисунок планеты, отметьте на нем несколько звезд фона, если они видны, и укажите ориентировку рисунка: вследствие вращения Земли изображение в поле зрения всегда смещается к западу. Напишите также день и час наблюдения, тип телескопа и его увеличение.

1. *Венера*. В учебный телескоп фаза Венеры различима, когда видимый диаметр достигает $5''$; в благоприятный для наблюдений период этот диаметр превышает $15''$.

Иногда полезно поместить позади окуляра темно-зеленое стекло, чтобы уменьшить яркость изображения.

2. *Марс*. Детали не видны; обратите внимание на красноватый цвет.

3. *Юпитер*. Наиболее интересны четыре *галлеевых спутника*, один из которых в данный момент может находиться за планетой. Оцените положение спутников, взяв за единицу диаметр Юпитера, как это делал Галилей, или сравнивая их относительные расстояния. Отождествите их при помощи *Астрономического Ежегодника*. Пронаблюдайте спутники на следующий день и вы заметите движение. Сравните их блеск с блеском звезд и выразите его в звездных величинах. Видно, что Юпитер сплюснут; плоскость экватора совпадает с плоскостью, в которой расположены спутники. При этих наблюдениях также полезно использовать темно-зеленое стекло.

4. *Сатурн*. Система колец не различима — для этого требуется увеличение по крайней мере в 50 раз.

5. *Уран* или одну из ярких малых планет можно увидеть, если они достигают 7^m. Пользуясь *Астрономическим Ежегодником* и звездным атласом, выберите моменты, когда легко найти и отождествить эти объекты относительно ярких звезд.

Наблюдения с астрономическим телескопом. Познакомьтесь сначала с тем, как телескоп установлен и как он движется. Есть ли искатель? Как фокусируется телескоп?

Преподаватель поможет вам навести телескоп на планету. Для экономии времени все студенты по очереди смотрят на ту планету, на которую наведен телескоп. Наблюдайте сначала, если позволяет время, с малым увеличением, а потом с более сильным. Сделайте рисунок, на котором воспроизведите все видимые детали, запишите дату, тип телескопа и увеличение.

ЛИТЕРАТУРА

- G a l i l e o, Siderius Nuncius, 1610. Перевод на английский E. S. Carlos, 1880; перевод на итальянский M. Timpanaro Cardini, 1947 (с оригинальным текстом). Ссылки можно найти в книге: H. Shapley, H. E. Nowarth, A Source Book in Astronomy, New York, 1929. Русский перевод: Г. Галилей, Избранные труды, изд-во «Наука», М., 1964.
- R o t h G. D., Taschenbuch für den Planetenbeobachter, Mannheim, 1966.
- * Сыттинская Н. Н., Природа Луны, Физматгиз, М., 1959.
 - * Шаронов В. В., Природа планет, Физматгиз, М., 1958.
 - * Новое о Марсе и Венере, сб. статей, изд-во «Мир», М., 1968.

А33(Л). АЛЬБЕДО ВЕНЕРЫ

Задача. Сферическим альбедо планеты называется, согласно данному Бондом определению, отношение потока, рассеянного во всех направлениях поверхностью планеты, к потоку упавшего на нее солнечного света. Для вычисления альбедо надо пронаблюдать блеск Венеры по различным направлениям и определить полное излучение.

Таблица

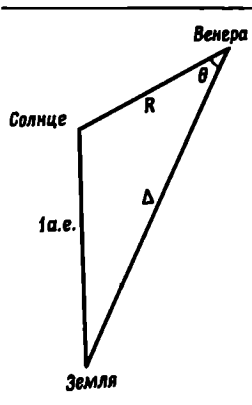
Угол фазы θ	Блеск, m	Блеск, приведенный к $\Delta = 1$ а. е., m	$\delta m = m - m_0$	$\lg I$	f
0°	-3,75	-4,88	0,00	0,00	1,00
20	-3,41	-4,58			
40	-3,28	-4,24			
60	-3,59	-3,85			
80	-3,83	-3,41			
100	-4,03	-2,94			
120	-4,23	-2,42			
140	-4,23	-1,83			
160	-3,72	-1,14			

Материал. Используем данные Г. Мюллера, измерявшего блеск Венеры с фотометром Цельнера в течение 1900 — 1909 гг. Эти измерения были обработаны его сыном, соответствующие «нормальные точки», выраженные в звездных величинах, опубликованы в *Astron. Nachr.*, 227, 65 (1926).

Выполнение задачи. 1. Все измеренные величины m должны быть прежде всего редуцированы к расстоянию Земли от Венеры $\Delta = 1$ а. е. Это сделано при публикации наблюдений Мюллера.

Проверьте это. Расстояние Венеры от Солнца примите равным $R = 0,72$ а. е. Расстояние Δ (Венера — Земля) определяется по гелиоцентрическим положениям двух планет: $1 \text{ а. е.} = R^2 + \Delta^2 - 2R\Delta \cos \theta$; например, Δ будет равно 1 а. е., если $\cos \theta = R/2 = 0,36$ и $\theta = 69^\circ$. Сравните таблицу с рис. 42.

Р и с. 42.



2. Выразите теперь все величины m через блеск в верхнем соединении m_0 :

$$m = m_0 + \delta m (\theta).$$

3. Все звездные величины m переведите в интенсивности I , учитывая, что

$$\lg I = -0,4m + \text{const},$$

следовательно,

$$\lg I = \lg I_0 - 0,4\delta m (\theta),$$

$$I (\theta) = I_0 f (\theta).$$

4. Будем теперь рассматривать I и I_0 как интенсивность излучения (поток в единичном телесном угле) Венеры. Пусть интенсивность излучения Солнца S . Тогда планета радиуса r , находящаяся на расстоянии R от Солнца, получит $\pi r^2 S/R^2$, а излучит

$$I_0 \int_0^\pi f(\theta) \cdot 2\pi \sin \theta d\theta.$$

Значит, сферическое альbedo планеты

$$A = \frac{R^2 I_0}{r^2 S} \int_0^\pi 2f(\theta) \sin \theta d\theta = pq.$$

Вычислите сначала каким-либо способом интеграл q , например графически. Затем найдите множитель p , принимая во внимание, что

$$\lg \frac{I_0}{S} = 0,4 (m_\odot - m_0),$$

если сравнивать блеск Солнца и Венеры на одном и том же расстоянии в 1 а. е. Это дает альbedo Венеры.

6. Изучите таблицу, содержащую значения p и q для планет [Russell H. N., *Astrophys. J.*, 43, 190 (1916)].

Численные данные

Расстояние Солнце — Земля = $149,6 \cdot 10^6$ км = 1 а. е.

Расстояние Солнце — Венера = $108,2 \cdot 10^6$ км = 0,72 а. е.

Диаметр Земли = 12 700 км

Диаметр Венеры = 12 100 км

Визуальный блеск Солнца $m_\odot = -26^m, 6$.

ЛИТЕРАТУРА

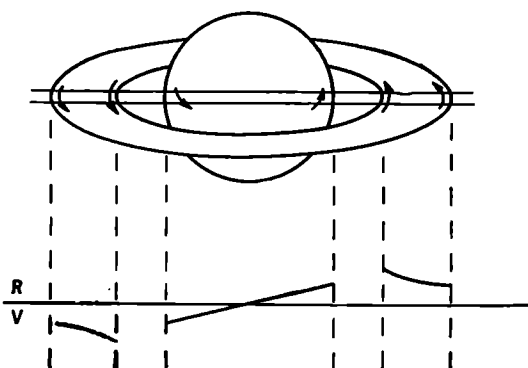
D a n j o n A., *Bull. Astron. Paris*, 14, 315 (1949).

* Ш а р о н о в В. В., Планета Венера, изд-во «Наука», М., 1965.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: миллиметровую бумагу, таблицы логарифмов.

А34(Л). ВРАЩЕНИЕ САТУРНА

Задача. Период вращения Сатурна вокруг своей оси только в редких случаях можно определить по наблюдениям деталей поверхности. Применяемый обычно метод сводится к измерению эффекта Доплера. Можно воспользоваться прекрасным спектром, полученным в Ликской обсерватории 19 августа 1964 г. Планета была почти в оппозиции, угол наклона системы колец к лучу зрения равнялся $9^\circ, 4$. Цель спектрографа была расположена вдоль большой оси кольца (рис. 43).



Р и с. 43.

Выполнение задачи. Сверху и снизу на спектрограмме приведено несколько ярких линий неона, которые используются в качестве линий спектра сравнения. Темные линии в спектре самой планеты наклонены. Легко заметить, что в спектре кольца линии слегка наклонены в противоположные стороны.

1. Определите сначала дисперсию спектра. Этот спектр получен с решеткой. По линиям спектра сравнения (длины волн приведены вверх), которые расположены достаточно далеко друг от друга, вычислите обратную дисперсию в $\text{Å}/\text{мм}$.

2. Пусть один студент держит край листа бумаги так, чтобы он проходил точно вдоль какой-нибудь узкой линии спектров сравнения, а другой студент измеряет расстояние одной из резких темных линий относительно этого края в верхней части спектрограммы:

- а) на внешнем краю кольца,
- б) на внутреннем краю кольца,
- в) на верхнем краю спектра планеты.

Проделайте аналогичные измерения (г, д, е) на нижней части спектрограммы. Постарайтесь достичь точности в $0,01 \text{ мм}$. Эти измерения надо повторить по крайней мере для трех других линий. Чтобы уменьшить влияние случайных ошибок, край бумаги, относительно которого проводятся измерения, устанавливается каждый раз заново.

3. Для определения скорости вращения v планеты на экваторе используем среднее значение разности измерений (в) — (г) сначала в миллиметрах, а затем в ангстремах. Смещение линий каждого края дает нам удвоенную скорость вращения планеты (свет проходит дважды сквозь ее атмосферу). Сравнивая два противоположных края, мы снова удваиваем эффект Доплера от

вращения Сатурна. Следовательно,

$$\frac{\lambda_{\text{в}} - \lambda_{\text{г}}}{\lambda} = \frac{4v}{c}.$$

Сатурн показывает заметное потемнение к краю, поэтому измерьте смещение Доплера на самом краю диска.

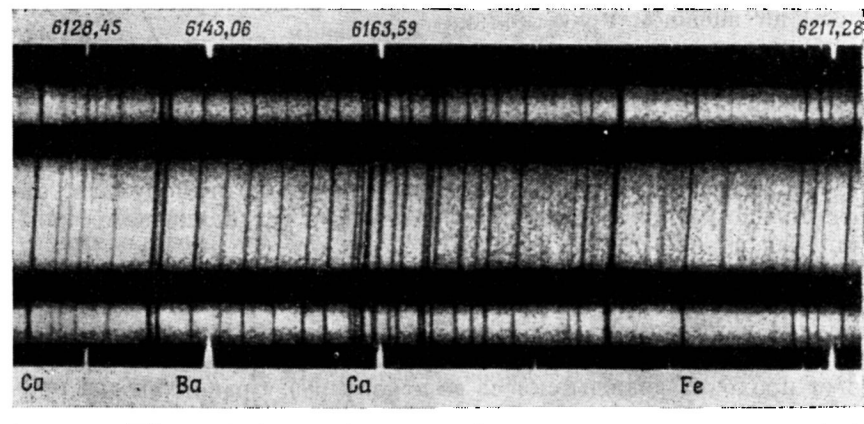
Найдите период вращения $T = 2\pi r/v$, где $r = 60\,400$ км. Конечно, полученное вами значение не будет полностью совпадать со значением, которое вы найдете в литературе, так как можно ожидать, что ошибка измерения (в) — (г) составляет по крайней мере 10% самой величины.

4. Такие же измерения проводятся для внешней и внутренней границ кольца, при этом используются разности (а) — (е), (б) — (д). Ясно, что кольцо не вращается как твердое тело. Каждая частица движется независимо от других со скоростью $v = \sqrt{fM/r}$. Вычислите массу Сатурна на измерениям как на внешней, так и на внутренней границе. В пределах точности измерений оба результата должны совпадать. Примите $f = 6,67 \cdot 10^{-8}$, радиус внешней границы кольца $r_A = 139\,000$ км, а радиус внутренней границы кольца $r_B = 89\,000$ км.

5. Объясните, почему линии в спектре планеты прямые. Должны ли они быть также прямыми в спектре кольца?

6. По таблицам Роуланда для солнечного спектра вы можете найти длины волн некоторых линий в спектре Солнца: Са λ 6162,18 Å, Fe λ 6265,14 Å. Сравните их с длинами волн, измеренными вами относительно линий неона.

Спектр Сатурна и его колец, полученный на Ликской обсерватории Спиррадом и Гивером [Sky and Telescope, 28, 278 (1964)].



В момент, когда был получен этот спектр, Земля приближалась к Сатурну со скоростью 2,85 км/сек.

ЛИТЕРАТУРА

- Alexander A. F. O'D., The Planet Saturn, London, 1962.
Blanco V. M., McCuskey S. W., Basic Physics of the Solar System, Reading, Mass., 1961.
Gingrich O., Sky and Telescope, 28, 278 (1964). (Описание такого же упражнения.)
Giver L. P., Astrophys. J., 139, 727 (1963).
Шаронов В. В., Природа планет, Физматгиз, М., 1958.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: спектр Сатурна и его колец.

Б. ЗВЕЗДЫ

СОЛНЦЕ

Б1. РАЗМЕРЫ СОЛНЦА

Задача. В этом упражнении мы определим видимый диаметр солнечного диска, который выразим в радианах или минутах дуги. Зная расстояние Земля — Солнце, легко выразить диаметр Солнца в линейной мере.

Измерения легче всего производить тогда, когда Солнце достаточно низко.

1-й метод. 1Н. Поместите в зажим подставки квадратный кусок картона, в котором сделано маленькое отверстие. Картон надо укрепить перпендикулярно солнечным лучам.

Поймайте пучок света, прошедший через отверстие, на белый экран и постепенно отодвигайте экран от картона. Вы увидите яркий диск, край которого нерезок, очевидно, потому, что апертура не бесконечно мала. Если мы измерим диаметр яркого диска d вплоть до середины переходной зоны, то получим такую же величину, как и при бесконечно малом отверстии (рис. 44). Измерьте расстояние a от картона до экрана (при помощи нитки).

2Н. Повторите это измерение при другом расстоянии между картоном и экраном.

3Л. Вычислите по обоим измерениям диаметр Солнца

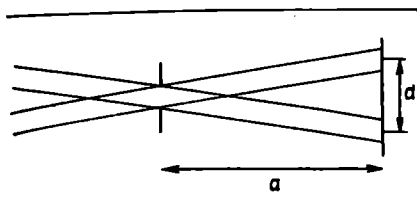
$$\gamma \text{ (радианы)} = \frac{\text{Диаметр яркого диска}}{\text{Расстояние картон — экран}}$$

Измерения подобной «камерой-обскурой» кажутся чрезвычайно грубыми. Тем не менее этот метод часто используется для фотографирования Солнца с ракет в рентгеновских лучах, так как рентгеновские лучи не фокусируются ни зеркалами, ни линзами.

2-й метод. 4Н. Теперь поместите в зажим другой кусок картона со слабо выпуклой линзой в центре. Оптическая сила линзы D в диоптриях должна быть написана на картоне, и по ней можно определить приблизительно фокусное расстояние $f = 1/D$ м.

Найдите как можно точнее расстояние, при котором изображение Солнца будет резким. Если это изображение слишком яркое, используйте серый или черный экран; если резкость изображения не одинакова в двух взаимно перпендикулярных направлениях, то это означает, что линза не строго перпендикулярна солнечным лучам.

Загородите пальцем часть линзы. Как это влияет на изображение?



Р и с. 44.

Внимательно рассмотрите изображение Солнца. Обратите внимание на потемнение и покраснение к краю диска (лимбу). На периферии изображения вы увидите маленькие бегущие волны, обусловленные потоками горячего и холодного воздуха в земной атмосфере, сквозь которую мы

наблюдаем (это спинтиллиции).

Быстро подвигайте экран в его плоскости из стороны в сторону, тогда структура бумаги будет менее заметной и вы сможете различить солнечные пятна.

5Н. Наконец, измерьте какие-нибудь два диаметра d_1 и d_2 (они должны быть почти равными) и возьмите среднее d ; измерьте также истинное фокусное расстояние f . Вычислите диаметр Солнца γ (радианы) = d/f (рис. 45).

Изображение Солнца, которое вы получили, конечно, неточечное. Поэтому нельзя говорить, что «солнечные лучи могут считаться параллельными»; параллельными могут считаться лучи, приходящие из одной точки солнечного диска, но для отдельных точек диска направления заметно отличаются.

(6Н.) Повторите измерения с одной или двумя линзами, имеющими другие фокусные расстояния.

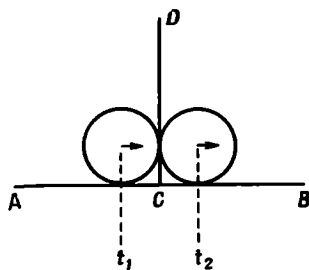
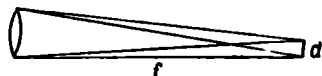
(7Л.) Вычислите среднее значение $\bar{\gamma} = \sum d / \sum f$; оно точнее, чем среднее из d/f , ибо большие числа обладают и большим весом.

(8Л.) Чем слабее линза, тем длиннее ее фокусное расстояние и больше изображение Солнца. Постройте график зависимости d от f и посмотрите, является ли он прямой линией.

Сравните ваши измерения величины f с номинальными значениями $1/D$ и посмотрите, как они согласуются.

3-й метод. Вследствие суточного вращения Земли Солнце за

Р и с. 45.



Р и с. 46.

24 час описывает на небе малый круг, имеющий длину (в угловых единицах) $2\pi \cos \delta$, где δ — склонение Солнца (ср. с задачей А5). Если мы определим, сколько времени необходимо, чтобы изображение солнечного диска сместилось суточным движением небесного свода на величину собственного диаметра, то получим величину диаметра в радианах.

9Н. Начертите на экране две взаимно перпендикулярные линии AB и CD (рис. 46). Установите экран так, чтобы Солнце двигалось точно вдоль AB . Затем определите по часам интервал (в секундах) между моментом, когда диск Солнца коснется линии CD своим передним краем, и моментом, когда этой линии коснется задний край диска. Повторите измерения по крайней мере дважды. Возьмите среднее Δt из интервалов Δt_1 и Δt_2 и вычислите $\gamma = 2\pi \cos \delta [\Delta t / (24 \times 3600)]$. Склонение Солнца приводится в Астрономическом Ежегоднике СССР.

10Л. Сравните результаты трех методов. Которое из значений γ вы примете окончательно?

Выразите γ в минутах дуги (помните: $2\pi = 360^\circ$ и т. д.).

Вычислите диаметр Солнца в километрах, приняв расстояние Земля — Солнце равным $150 \cdot 10^6$ км.

Замечание. Третий метод можно также применить, используя телескоп. Солнечное изображение проецируется на экран (ср. с задачей Б9); теперь оно больше, отчетливое, бесцветное; инструмент не раскачивается ветром; крест нитей можно использовать в качестве опорной метки.

Метод измерения секстантом изложен в задаче А13.

Составление таблицы

	I. d	d	
	a	a	
	d/a	d/a	
II.	f_1	d_1	d_2
	—	—	—
	Σf	—	$\Sigma \bar{d}$
	$\gamma = \frac{\Sigma d}{\Sigma f} = \dots\dots\dots$		
III.	Δt_1	$\delta =$	
	Δt_2	$\cos \delta =$	
	Δt	$\gamma = 2\pi \cos \delta \frac{\Delta t}{24 \cdot 3600} = \dots\dots\dots$	

Принятое значение $\gamma = \dots\dots\dots$ радиан =
 $= \dots\dots\dots$ минут дуги.
 Диаметр Солнца = $150 \cdot 10^6 \cdot \gamma$ км = ...

ЛИТЕРАТУРА

The Solar System, ed. G. P. Kuiper, vol. 1, Chicago, 1953, p. 18. (Русский перевод: Солнце, ред. Дж. Койпер, ИЛ, М., 1957.)
 Schönberg E., Sitzungsber, Bayerischen Akad. Wiss., 1956, p. 243.
 * Menzel D. H., Our Sun, Cambridge, 1959. (Русский перевод: Д. Г. Мензель, Наше Солнце, Физматгиз, М., 1963.)

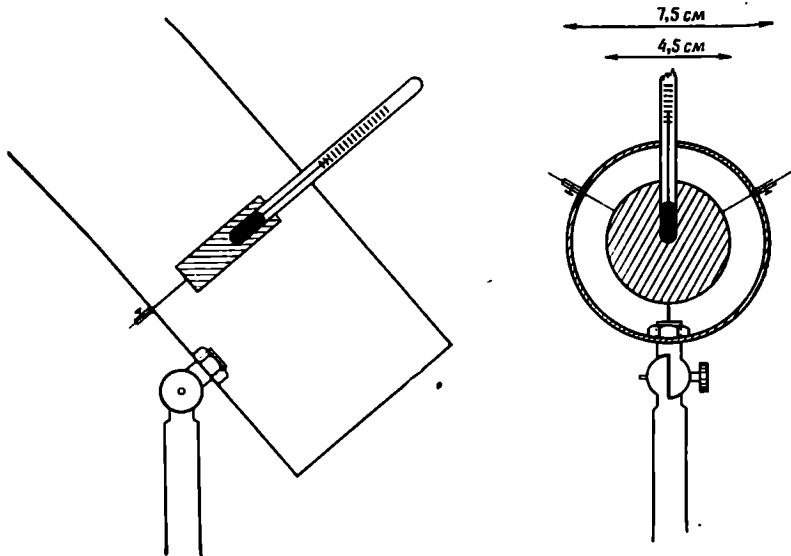
Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: подставку для высотомера, к которой может быть прикреплен зажим (рис. 6); более низкую подставку для укрепления экрана (рис. 7); квадратный кусок картона с маленьким отверстием посередине; экран с листами белой, серой и черной бумаги; несколько линз, укрепленных в центре картонных квадратов, с фокусными расстояниями от 1 до 2 м.

В2. СОЛНЕЧНАЯ ПОСТОЯННАЯ

Основы определения. Измерим поток солнечной энергии, падающий на медный диск, окрашенный в густой черный цвет. Излучение поглощается; термометр показывает повышение температуры меди (рис. 47). Наш инструмент является упрощенным пиргелиометром Аббота. Измерения, разумеется, довольно грубые, но они дают порядок величины.

Диск из свинца или меди подвешивается на трех нитях внутри картонной трубы. Эта труба закрыта с нижней стороны листом кальки и установлена на подставке (рис. 6) при помощи шарнира.

Р и с. 47.



Выполнение задачи. 1Н. Выберите открытую площадку, причем избегайте соседства стен, нагреваемых солнечными лучами. Сначала поместите калориметр в тень. Он заключен в картонную трубу. Отрегулируйте наклон так, чтобы калориметр легко было направить на Солнце.

2Н. Сквозь боковое отверстие в трубе поместите термометр в специальное углубление в диске, осторожно нажимая и поворачивая, чтобы обеспечить хороший контакт с металлом.

3Н. Заметьте момент времени. Определите длину пути солнечных лучей в атмосфере по сравнению с длиной пути вертикально падающих лучей. Для этого установите вертикально карандаш или прут длиной AB , измерьте длину его тени AC и вычислите отношение $AC/AB = \sec z$ (z — зенитное расстояние).

4Н. Теперь вынесите калориметр на солнечный свет. Установите подставку по азимуту; быстро подправьте наклон трубы по тени диска на кальке на дне калориметра. Затем экраном загордите прибор от солнечного света.

5Н. Записывайте в течение трех минут с интервалами в полминуты температуру диска в тени. Пусть ваш товарищ следит за часами и предупреждает за 5 сек до сигнала «сейчас!»*. По каждому сигналу отсчитывайте температуру: сначала — десятые доли градуса, затем целые градусы. Ваш товарищ записывает.

6Н. Уберите экран точно в момент последнего сигнала («давай!») и повторите снова измерения температуры, также с интервалом в полминуты, но теперь при солнечном свете.

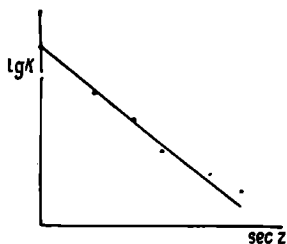
7Н. Повторите измерения в тени, как в п. 5Н.

(8Н.) Повторите позже, например после полудня, измерения п. 3—7 при другой высоте Солнца.

9Л. Нанеся результаты на график, вы увидите, что наблюдения, проведенные в течение первой полминуты, не показывают сразу нормального возрастания температуры; это объясняется явлением теплопроводности и другими инерционными эффектами. Поэтому не будем учитывать первую точку при вычислении *среднего повышения температуры за 1 мин*: а) в течение первого периода измерений в тени (s_0), б) в течение измерений на солнечном свете (s), в) в течение повторных измерений в тени (s_0').

Влияние изменений в окружающей среде, за исключением прямых солнечных лучей, приблизительно учитывается тем, что берется среднее арифметическое из

Р и с. 48.



* См. примечание редактора на стр. 49. — *Прим. ред.*

данных (а) и (в) $(s_0 + s_0')/2$ (положительное или отрицательное).
Исправленное возрастание температуры на солнечном свете
за минуту $S = s - (s_0 + s_0')/2$.

10Л. Вычислите постоянную калориметра

$$G = \frac{\text{Удельный вес} \times \text{Удельная теплоемкость} \times \text{Объем диска}}{\text{Площадь излучающей поверхности}}$$

Для меди $G = \frac{8,5 \times 0,093}{1,2}$; для свинца $G = \frac{11,3 \times 0,031}{1,2}$. Чем

меньше эта постоянная, тем чувствительнее калориметр. Возрастание на S градусов в минуту соответствует значению $K = GS$ кал/мин·см².

(11Л.) Если бы атмосфера не ослабляла солнечного излучения, то величина K и была бы солнечной постоянной. Однако наши измерения, проведенные после полудня, ясно показывают влияние воздушной толщи. Нанесите на график значения $\lg K$, полученные по различным группам измерений, против соответствующих значений воздушной толщи ($\sec z$) и проведите наилучшим образом прямую линию (рис. 48). Эта прямая, экстраполированная до нулевого значения воздушной массы, дает солнечную постоянную K_0 и коэффициент экстинкции A . (Поскольку экстинкция не одинакова для разных длин волн, экстраполяция прямой линией недостаточно оправдана; более правильная экстраполяция увеличит K_0 приблизительно на 10%.)

(12Л.) Насколько ослабляется свет звезды вблизи зенита? Выразите это ослабление в звездных величинах.

(13Л.) Каков поток, испускаемый 1 см² солнечной поверхности? Вычислите эффективную температуру Солнца по закону Стефана—Больцмана

$$s = 1,37 \cdot 10^{-12} T^4 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{сек.}$$

Составление таблицы

Время, мин	t (в тени)	t (на солнце)	t (в тени)
0	—	—	—
0,5	—	—	—
1	—	—	—
1,5 и т. д.	—	—	—
	$s_0 =$	$s =$ $S =$ $K =$	$s_0' =$

sec $z =$
 $G =$

ЛИТЕРАТУРА

Allen C. W., Commun. Univ. London Obs., № 35, 1958.
Annals of the Astrophys. Obs. of the Smithsonian Inst. (I—VI).
Robinson N., Solar Radiation, Amsterdam, 1966, p. 94.
* Мартынов Д. Я., Курс практической астрофизики, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1967.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: простой пиргелиометр, построенный по схеме рис. 47, линейку, картонный экран.

Для каждого студента: миллиметровую бумагу, таблицы логарифмов.

БЗ(Л). РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЯРКОСТИ ПО СОЛНЕЧНОМУ ДИСКУ

С фотопластинками всегда обращайтесь очень осторожно! Избегайте царапин! Помните, что каждый отпечаток пальцев изменяет передачу изображения, поэтому всегда берите пластинку за края, не касаясь поверхности!

Задача. На прямой фотографии солнечного диска, полученной в синих или в красных лучах, легко заметить, что плотность фотографического изображения уменьшается от центра к краю диска, что соответствует *потемнению к краю*. Выразим это уменьшение количественно. На пластинке имеется калибровочная шкалка, полученная при помощи трубчатого сенситометра. Освещенность последовательных участков составляет 100, 50, 25, 12,5, 6 относительных единиц.

Запишите номер вашей пластинки.

Выполнение задачи. 1. Осторожно положите пластинку эмульсией вниз на столик микрофотометра; установите прозрачную часть пластинки над маленьким отверстием, сквозь которое на пластинку упадет пучок света. Включите микрофотометр, отъюстируйте линзу конденсора так, чтобы стрелка микроамперметра отклонилась примерно на 90 делений; затем подождите несколько минут, пока стрелка не успокоится. Запишите отклонение u_0 , соответствующее пропусканию чистой части пластинки рядом с калибровочной шкалкой, и измерьте почернение u_1, u_2, \dots для каждой из этих шкалок. Нанесите относительное пропускание u_i/u_0 и т. д. против логарифма интенсивности на логарифмической бумаге. Так строится калибровочная кривая.

2. Теперь передвиньте пластинку и измерьте почернение в точках, расположенных вдоль диаметра изображения Солнца на относительных расстояниях r/R , равных $-0,9; -0,8; -0,6; -0,3; 0,0; +0,3; +0,6; +0,8; +0,9$, от центра.

3. Вычислите для каждой точки относительное пропускание u_i/u_0 и определите соответствующие интенсивности i по калибровочной кривой.

Наконец, приведите эти интенсивности к яркости в центре изображения Солнца и возьмите среднее по каждой паре точек, симметричных относительно центра ($-r/R$ и $+r/R$).

4. Постройте график зависимости i от r/R . Этот график дает основание для предположения, что яркость может быть представлена формулой вида

$$i = a + b \cos \theta,$$

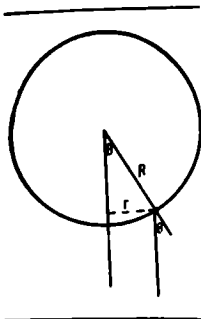


Рис. 49.

где θ — гелиоцентрический угол, определяемый через отношение $r/R = \sin\theta$ (рис. 49). Чтобы проверить это, нанесите на график i против $\cos\theta$ и посмотрите, дает ли прямая линия достаточно хорошее приближение; найдите a и b . Отношение $a/(a+b) = [i_{\text{либ}}/i_{\text{центр}}]$ характеризует вашу кривую.

(5.) Повторите процедуру для фотографий Солнца, полученных в других лучах, либо сравните величину потемнения к краю, найденную вами, с величиной, полученной другими студентами, работавшими с другими пластинками.

6. Потемнение к краю является следствием возрастания температуры в более глубоких слоях Солнца, так как луч зрения проникает глубже в центральной области диска, нежели в краевой зоне. Потемнению к краю

$$i_v = a_v + b_v \cos \theta$$

соответствует функция источника

$$s_v = a_v + b_v \tau_v$$

где τ_v — оптическая толщина.

$u_0 =$

Составление таблицы

r/R	i	u	u/u_0	
—	—	—	—	} Калибровка
—	—	—	—	
—	—	—	—	
—	—	—	—	
—0,9	—	—	—	} Изображение Солнца
—0,8	—	—	—	

ЛИТЕРАТУРА

Alleg L. H., The Atmospheres of the Sun and Stars, New York, 1953, ch. 5. (Русский перевод: Л. А л л е р, Астрофизика, ИЛ, М., 1955.)
 Unsöld A., Physik der Sternatmosphären, 1955, ch. II, § 13. (Русский перевод 1-го изд.: А. У н з о л ь д, Физика звездных атмосфер, ИЛ, М., 1949.)

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: микрофотометр, прямую фотографию Солнца на пластинке, очувствленной к синим лучам, либо на ортохроматической пластинке, экспонированной сквозь желтый светофильтр; калибровочную шкалку, полученную при помощи трубчатого сенсито-

метра. (Трудно получить такие фотографии высокого качества, поэтому нужно сделать много снимков и отобрать лучшие.)

Демонстрация: изображение Солнца, проецируемое телескопом на экран.

Б4(Л). СПЕКТР СОЛНЦА

Введение. Вам показали прямые фотографии небольших участков солнечного спектра, полученные при помощи большого дифракционного спектрографа. Эти спектрограммы являются оригиналами, и обращаться с ними нужно очень осторожно. Поскольку это негативы, фраунгоферовы линии выглядят светлыми на темном фоне. Диапазон длин волн в ангстремах ($1\text{Å} = 10^{-8}\text{ см}$), который перекрывает область, написан на конвертах, в которых хранятся фотографии. Прямые регистрограммы в интенсивностях для этих пластинок были сделаны на Утрехтской обсерватории при помощи специального микрофотометра. По ним можно отсчитать, сколько света потеряно в каждой фраунгоферовой линии.

Не делайте карандашных пометок на регистрограммах!

Задача. Построим точную шкалу длин волн для наших регистрограмм в интенсивностях.

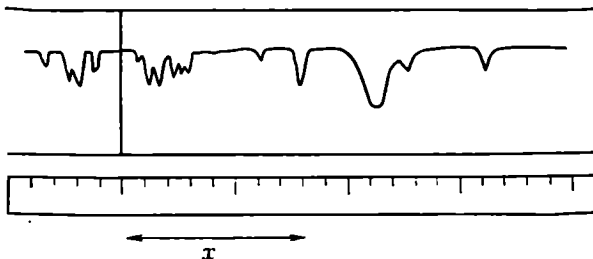
Выполнение задачи. 1. Сравните друг с другом

- а) регистрограммы в интенсивностях,
- б) фотографический атлас Роуланда (копии отдельных частей),
- в) ревидованные таблицы Роуланда (RRТ) или второе ревидованное издание.

Обратите внимание на *крылья* сильных линий, на *интенсивность в центре* линий, на *бленды*, когда линии частично налагаются друг на друга.

2. На регистрограммах имеются вертикальные *опорные линии*, которые можно использовать для измерений длин волн (рис. 50). Наложите на регистрограмму миллиметровую шкалу так, чтобы опорная линия совпадала, например, с отметкой 50, а нуль-пункт

Р и с. 50.



шкалы был далеко слева. Составьте список 4 или 5 изолированных, достаточно резких линий, для которых как можно точнее отсчитайте значение x (с точностью до 0,1 мм). Выпишите приближенные длины волн из атласа Роуланда, затем точные длины волн y в интернациональной шкале по RRT. Между обоими столбцами будет наблюдаться систематическая разница, так как Роуланд не знал точных абсолютных значений длин волн.

3. Теперь установим точную шкалу длин волн для всей регистрограммы. Пусть x имеют значения, измеренные в п. 2, y — длины волн. В принципе мы хотим сделать следующее: представить на графике y как функцию x , затем провести через полученные точки наиболее подходящую прямую. Однако вместо графического способа мы используем упрощенный способ наименьших квадратов.

Вычислите сначала \bar{x} и \bar{y} . В любом случае наша прямая должна пройти через эту точку. Наклон прямой определяется из выражения

$$D = \frac{\sum(x - \bar{x})}{\sum(y - \bar{y})}.$$

В то же время это дисперсия спектра на нашей регистрограмме, выраженная в $\text{мм}/\text{Å}^*$.

На полоске плотной бумаги очень тщательно нанесите шкалу ангстрем. Отношение x к y дает точное положение шкалы относительно регистрограммы интенсивностей. (Сохраните эту шкалу для следующего упражнения.)

4. Определите при помощи вашей шкалы положение некоторых неизвестных линий и сравните их с табличными значениями. Различие не должно превышать 0,05 Å.

(5.) Поищите две линии приблизительно равной интенсивности и едва разрешимые на регистрограмме. Найдите в RRT разность их длин волн $\Delta\lambda$. Для бесконечно узкой щели, монохроматической линии и высококачественной решетки разрешающая сила $\lambda/\Delta\lambda$ должна быть равна mq , где m — порядок спектра, а q — общее число штрихов решетки. Для нашего спектра $m = 2$, решетка имеет 600 линий на миллиметр, а ее длина 125 мм. Вычислите теоретическую разрешающую силу и сравните ее с реально наблюдаемой.

* В научной литературе часто дисперсией спектра называют число ангстрем, приходящихся на 1 мм спектра, что неверно. В тексте приведено правильное определение дисперсии спектра. — Прим. ред.

Составление таблицы

	x	$x - \bar{x}$	$\lambda_{\text{Роул}}$	$\lambda_{\text{интерн}} = y$	$y - \bar{y}$
1.
2.
3.
4.

$$\sum x = \dots\dots$$

$$\bar{x} = \dots\dots$$

$$\sum y = \dots\dots$$

$$\bar{y} = \dots\dots$$

$$D = \frac{\sum(x - \bar{x})}{\sum(y - \bar{y})} = \dots\dots$$

Проверка		
λ (по шкале)	λ (RRT)	Равность
.....
.....

ЛИТЕРАТУРА

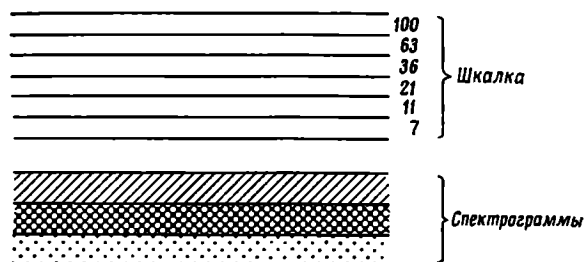
- Brückner G., Photometrischer Atlas des nahen ultravioletten Spektrums, 2988 Å—3629 Å, Göttingen, 1960.
- Delbouille L., Roland G., Atlas Photométrique du Spectre Solaire de 7498 Å à 12 016 Å, Liège, 1963.
- Migeotte M., Neven L., Swensson J., The Solar Spectrum from 2.8 to 23.7 Microns, Liège, 1956.
- Minnaert M. G. J., Mulders G. F. W., Houtgast J., Photometric Atlas of the Solar Spectrum, Utrecht, 1940.
- Mohler O. S., et al., Photometric Atlas of the Infrared Solar Spectrum, 8465 Å—25 242 Å, Lake Angelus, 1950.
- Moore Ch. E., Minnaert M. G. J., Houtgast J., The Solar Spectrum 2935 Å to 8770 Å Second Revision of Rowland's Preliminary Table, Washington, 1966.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: репродукцию части атласа Роуланда; прямую регистраграмму интенсивностей той же части (из Утрехтского фотометрического атласа); ревизованные таблицы Роуланда или второе издание таблиц Роуланда, полоски плотной бумаги, линейки с миллиметровыми делениями.

B5(Л). ПРОФИЛИ ФРАУНГФЕРОВЫХ ЛИНИЙ

Задача. Фраунгоферовы линии на самом деле не абсолютно черные. В пределах каждой линии интенсивность меняется по особым законам, связанным со структурой внешних солнечных слоев. Такой профиль можно определить по спектрограммам с высоким разрешением при помощи микрофотометра, который измеряет фотографическое почернение внутри очень узких линий. Наш простой микрофотометр не удовлетворяет таким высоким требованиям, однако может дать все же интересные результаты.

Выполнение задачи. На пластинке, которую вы будете изучать (рис. 51), имеются:



Р и с. 51.

а) калибровочный спектр, записанный при весьма широкой щели, перед которой был установлен ступенчатый ослабитель; для последовательных ступеней калибровочного спектра освещенность была пропорциональна числам 100, 63, 36, 21, 11, 7;

б) исследуемый спектр, записанный при гораздо более узкой щели. Два или три образца этого спектра получены с различными выдержками.

Калибровка пластинок. 1. Прежде всего необходимо построить характеристическую кривую пластинки. Мы будем следовать основному методу фотографической фотометрии, уже использованному в упражнении Б3. Осторожно положите пластинку на столик микрофотометра (эмульсией вниз). Включите прибор в сеть с напряжением 24 в; смещайте пластинку до тех пор, пока пучок света не будет проходить через чистую часть пластинки, и регулируйте конденсорную линзу до тех пор, пока микроамперметр не покажет достаточное отклонение (подождите несколько минут, чтобы установился режим во всей системе). Теперь найдите место в спектре, где фраунгоферовы линии почти отсутствуют; измерьте почернение светлого места пластинки рядом с калибровочным спектром (u_0) и почернение непрерывного спектра в последовательных спектрограммах (u_1, u_2, \dots), перемещая пластинку перпендикулярно направлению дисперсии. Под конец вновь измерьте прозрачное место (u_0') с другой стороны спектра.

2. Вычислите среднее значение $\bar{u}_0 = 1/2 (u_0 + u_0')$ и пропускание $u_1/\bar{u}_0, u_2/\bar{u}_0, \dots$. Нанесите эти значения пропускания на логарифмическую бумагу в функции $\lg i$ (кривая а).

3. Повторите измерения, но теперь в центре сильной фраунгоферовой линии калибровочного спектра и снова начертите характеристическую кривую (кривая б).

4. Кривые не совпадают, потому что интенсивность освещения в центре линии значительно меньше, чем в непрерывном спектре. При смещении кривых относительно друг друга в горизонтальном направлении (вдоль $\lg i$) они должны совпасть (почему?). Этим

путем можно точнее определить характеристическую кривую и расширить ее пределы. Какая часть ее наиболее надежна?

Фотометрия профиля. 5. Обратимся теперь к исследуемой спектрограмме и выберем одну из самых сильных линий на одной из спектрограмм. Здесь также сначала определим \bar{u}_0 , а затем, передвигая пластинку в направлении дисперсии, будем снимать отсчеты в каждой точке*. На больших расстояниях от линии можно брать более широкие интервалы между точками. Обратите внимание, как неожиданно далеко могут простираться крылья линий; продолжайте снимать отсчеты до тех пор, пока они не станут практически постоянными. Это означает, что вы уже достигли непрерывного спектра.

Медленно перемещая пластинку, вы заметите много небольших впадин на кривой $u(x)$. Они обусловлены слабыми фраунгоферовыми линиями, наложившимися на профиль сильной линии.

6. Редуцируйте полученные отсчеты к величинам пропускания u/\bar{u}_0 и интенсивностям i . Разделите их на интенсивность фона непрерывного спектра i_c и нанесите на график относительные интенсивности i/i_c в функции расстояния Δx от центра линии. Определите дисперсию спектра в $\text{мм}/\text{Å}$ и сравните полученный вами профиль с профилем в Утрехтском атласе.

(7.) Вы можете повторить операции 5 и 6 для другой спектрограммы. Результаты совпали бы, если бы не ошибки наблюдений. Одна спектрограмма может дать лучший результат для центра линии, другая — для крыльев.

Не выключайте сразу микрофотометр; это может вызвать флуктуации напряжения и помешать работе других студентов!

(8.) Подумайте, в результате каких эффектов фраунгоферовы линии не являются идеально резкими. Посмотрите указанную ниже литературу.

Составление таблицы

Калибровочный спектр: $u_0 = \dots$; $u'_0 \dots$; $\bar{u}_0 = \dots$

i	Калибровочный спектр a		Калибровочный спектр b	
	u	u/\bar{u}_0	u	u/\bar{u}_0
0				
100				
65				
36				
21				
11				
7				
0				

* Разумеется, записывая каждый раз отсчет шкалы x (вдоль спектра).—
Прим. ред.

Исследуемая спектрограмма: $u_0 = \dots$; $u'_0 = \dots$; $\bar{u}_0 = \dots$

Δx , мм	u	u/u_0	i	i/i_c
...

ЛИТЕРАТУРА

- U n s ö l d A., Physik der Sternatmosphären, Springer, Berlin, 1955, K. IX. (Русский перевод: У н з о л ь д А., Физика звездных атмосфер, ИЛ, М., 1949, гл. IX.)
- W r i g h t K. O., Stars and Stellar Systems, v. II, Astronomical Techniques, ed. W. A. Hiltner, Univ. of Chicago Press, 1962, ch. 4. (Русский перевод: Методы астрономии, под ред. В. А. Хилтнера, изд-во «Мир», М., 1967, гл. 4.)
- * М а р т ы н о в Д. Я., Курс практической астрофизики, изд. 2-е, изд-во «Наука», М., 1967.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: микрофотометр; спектрограмму небольшого участка солнечного спектра с калибровочным спектром (как воспроизведено в Утрехтском фотометрическом атласе солнечного спектра, введение, стр. 13); миллиметровую и логарифмическую ($y - \lg x$) бумагу.

Подходящими для измерения линиями являются $\lambda\lambda 5148, 5890, 6563 \text{ \AA}$.

Б6(Л). ПРОФИЛИ ФРАУНГФЕРОВЫХ ЛИНИЙ (УТОЧНЕНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ)

Задача 1. Профиль фраунгоферовой линии, который вы определили в предыдущем упражнении, несколько расширен, потому что щель микрофотометра, пропускающая свет, не бесконечно узка. Даже лучшие приборы всегда приводят к такому эффекту замывания, обусловленному недостаточной разрешающей способностью спектрографа: минимум и максимум менее четки, чем они должны быть. Степень замывания зависит от прибора (*инструментальная функция*). Для Утрехтского атласа солнечного спектра инструментальную функцию можно найти во введении (стр. 9—13); она показывает, как размывается прибором идеальная монохроматическая линия*. (Позже будет показано, что она в действительности уже.)

Имея *наблюденный профиль* из этого атласа и зная *инструментальную функцию*, мы должны будем построить *истинный профиль*.

* Каков ее «инструментальный контур». — Прим. ред.

Выполнение задачи. Для решения этой задачи имеется несколько способов; воспользуемся одним из самых простых, который хорошо подходит для исследования звездных спектров с большим числом линий. Учтем только главную, наиболее важную часть инструментальной функции, которая характеризуется центром линии и точками, где функция уменьшается на 10% по сравнению со значением в центре. Эти точки сдвинуты приблизительно на $0,05 \text{ \AA}$ в красную или фиолетовую сторону от центра, что соответствует 1 мм (мы берем округленные цифры). Теперь наш метод редукции будет состоять в применении последовательно к каждой точке профиля $f'(x)$ формулы

$$f(x) = 2f'(x) - \frac{1}{2}f'(x + \delta) - \frac{1}{2}f'(x - \delta),$$

где $\delta = 0,05 \text{ \AA}$; ордината $f(x)$ есть функция, исправленная за влияние инструментальной функции. Заметьте, что для горизонтальной линии $f'(x) = f'(x \pm \delta)$, и тогда формула дает $f(x) = f'(x)$, что и следовало ожидать. Коэффициенты $2, -1/2, +1/2$ выбраны путем сравнения с другими, более строгими теоретическими и тщательно разработанными методами.

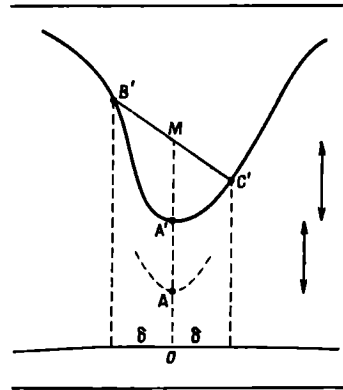
Формула имеет следующую простую геометрическую интерпретацию: $AO = A'O - A'A = A'O - A'M$ (рис. 52). Если бы размывание было обусловлено просто конечной шириной щели 2δ , то редукция свелась бы к $AO = A'O - 1/3 A'M$. См. Rayleigh, Scientific Papers (переведено в 1964 г. в Dover Publications), New York, Vol. I, 135 (1871).

В нашем случае широкие крылья инструментального профиля играют важную роль. Поэтому наш метод является скорее качественной интерпретацией, чем точной редукцией.

1. Выберите несколько хорошо очерченных линий различной интенсивности, не являющихся дублетами. Отсчитайте и заатабулируйте ординаты через последовательные интервалы в 1 или 2 мм (при помощи лупы) и начертите профиль в увеличенном масштабе.

2. Теперь для ряда точек сделайте простое построение, показанное на рис. 52, и проведите исправленный профиль. Обратите особое внимание на интенсивность в центре.

(3.) Сравните ваш результат с результатами, полученными более точными методами [P. J. Gathier, Bull. Astron. Inst. Neth. 16, 128 (1961)].



Р и с. 52.

ЛИТЕРАТУРА

U n s ö l d A., Physik der Sternatmosphären, 1957, S. 65. (Русский перевод 1-го изд.: У н з о л ь д А., Физика звездных атмосфер, ИЛ, М., 1949.)
 V a n A l b a d a B., Bull. Astron. Inst. Neth., 8, 179 (1937).

Задача 2. Форма профиля фраунгоферовой линии может быть аппроксимирована простой формулой

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{x} + \frac{1}{R_{\infty}},$$

где R — глубина в данной точке профиля; R_{∞} — максимальная глубина профиля для наиболее интенсивных линий в этом участке спектра (немного меньше 1); x — коэффициент селективного поглощения или рассеяния на этой длине волны атомами, которые создают эту линию. Ясно, что при малых x членом $1/R_{\infty}$ можно пренебречь, и $x \rightarrow R$. Для больших x $R \rightarrow R_{\infty}$; там имеет место насыщение.

1. Выберите интенсивную, хорошо очерченную линию, например одну из D-линий натрия (λ 5890 или 5896 Å), для которой инструментальным искажением можно пренебречь. Примите значение R_{∞} , полученное для этой линии или для соседних, более сильных линий, если они есть. Вычислите $1/R_{\infty}$. Вычитая этот член, мы можем более или менее исключить эффект насыщения.

2. Для ряда точек профиля составьте таблицу величин $\Delta\lambda$, $1/R$, $1/x$ и x . (Логарифмическая линейка!)

3. Профили сильных линий расширены главным образом затуханием. Это следует из того, что, как было показано, коэффициент x пропорционален $1/(\Delta\lambda)^2$. Проверьте это, построив график x в зависимости от $1/(\Delta\lambda)^2$.

ЛИТЕРАТУРА

U n s ö l d A., Physik der Sternatmosphären, 1957, p. 245, 407. (Русский перевод 1-го изд.: У н з о л ь д А., Физика звездных атмосфер, ИЛ, М., 1949.)

U n s ö l d A., Der neue Kosmos, Berlin, 1967, § 19.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: репродукцию записи спектра из Утрехтского фотометрического атласа, включающую фраунгоферовы линии разной интенсивности и небольшой горизонтальный участок непрерывного спектра. Лучше всего подходит участок с линиями D натрия.

В7(Л). ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ШИРИНА ФРАУНГЕФЕРОВЫХ ЛИНИЙ

Задача. Необходимо измерить не только длину волны, но и силу фраунгоферовых линий. Это было сделано Роуландом по эмпирически подобранной шкале, установленной по виду линий на

спектрограмме. Понятие *эквивалентной ширины* дает нам более точную количественную оценку.

Выполнение задачи.

1. Мы снова будем работать с частью атласа Роуlanda и соответствующей регистраграммой Утрехтского атласа. Можно взять ту, для которой уже построена шкала длин волн в задаче Б4. Выберите ряд резких изолированных линий; поищите как сильные, так и слабые линии. Отметьте их положения на вашей шкале крестиками, чтобы быстро их находить.

Сравните с атласом Роуlanda и RRT, не забывая о разнице $\lambda_{\text{Роул}} - \lambda_{\text{интерн}}$.

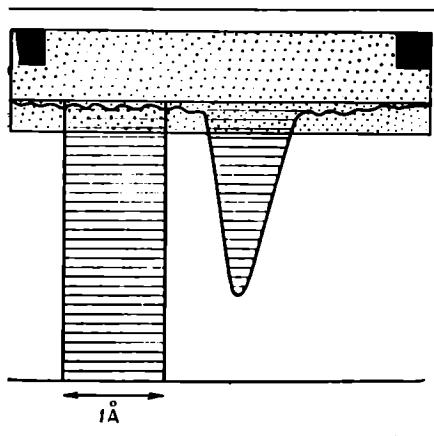
При отождествлении учитывайте также окрестности линий и их силу. При этом следует отбросить бленды и теллурические (O_2 , H_2O) линии.

(2.) Установите свою собственную шкалу силы линий. Самым сильным припишите величину 10, самым слабым 0, остальные получают промежуточные значения. Старайтесь придерживаться этой шкалы на всем протяжении спектра.

(3.) Сравните вашу шкалу со шкалой Роуlanda: нанесите на график оценки сил линий и проведите кривую, дающую связь между шкалами.

4. Теперь введем понятие *эквивалентной ширины*, чтобы дать более строго количественное определение силы линий. Наложите на запись интенсивности прозрачную полоску целлулоида, на которой проведена горизонтальная линия. Эта линия должна совпасть с непрерывным спектром вблизи выбранной линии. Положите два маленьких металлических грузика, чтобы полоска не сдвигалась (рис. 53).

Теперь определим площадь, ограниченную профилем линии. Регистраграмма напечатана на фоне миллиметровой бумаги. Предположим, что профиль разделен на последовательные горизонтальные полоски, длину каждой из которых мы измерим, затем просуммируем и найдем общую площадь в квадратных миллиметрах. Сравним эту площадь с площадью воображаемой совершенно черной линии с резким прямоугольным профилем; чтобы иметь ту же площадь, что и реальная линия, и поглотить то же количество энергии, эта черная линия должна иметь строго определенную ши-



Р и с. 53.

рину, которую мы и назовем эквивалентной шириной. Наиболее простым способом является сравнение нашей линии с воображаемой совершенно черной линией, имеющей ширину 1 \AA . Обычно эквивалентную ширину фраунгоферовых линий выражают в миллиангстремах ($m\text{\AA}$).

Всякое искажение профиля линии, вызванное спектрографом (как это было рассмотрено в задаче Б6), сохраняет эквивалентную ширину неизменной: просто энергия распределяется несколько иначе. Следовательно, эквивалентная ширина линии не зависит от инструментальной функции спектрографа.

5. Измерьте эквивалентные ширины ряда линий и прокалибруйте эмпирическую шкалу Роуланда для этого участка спектра. Как велики отклонения от средней кривой в оценках Роуланда, выраженные в единицах его шкалы?

(6.) Сравните свою шкалу силы линий со шкалами, полученными другими студентами для различных участков спектра.

(7.) Площади можно быстро измерить при помощи планиметра. Этот прибор должен быть продемонстрирован и объяснен принцип его действия. Для слабых фраунгоферовых линий такой способ, однако, недостаточен.

Составление таблицы

λ	Оценочная сила	Сила по Роуланду	Площадь, $m\text{m}^2$	Эквивалентная ширина	Равность оценки по Роуланду — кривая
-----------	----------------	------------------	------------------------	----------------------	--------------------------------------

ЛИТЕРАТУРА

- Moore Ch. E., Minnaert M. G. J., Houtgast J., The Solar Spectrum 3935 A to 8770 A, Nat. Bur. St., Monograph, 61, 1966.
 Mulders G. F. W., Aequivalente Breedten van Fraunhoferlijnen, Nijmegen, 1934; Z. Astrophys., 11, 132 (1935).
 Wempe J., Astron. Nachr., 275, 97 (1947).
 * Мартынов Д. Я., Курс практической астрофизики, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1967.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов то же, что и в задаче Б4; целлулоидную полоску с маленькими металлическими грузиками; лупу.

Демонстрация: использование простого планиметра.

Б8(Л). КРИВАЯ РОСТА

Основные понятия. Эквивалентная ширина W фраунгоферовой линии является функцией произведения Nf , где N — число атомов в 1 см^3 , поглощающих энергию на длине волны данной линии,

$a f$ — сила осциллятора этой линии, определяемая из лабораторных экспериментов или по атомной теории.

Кривая роста показывает, как увеличивается эквивалентная ширина с увеличением числа поглощающих атомов.

Чтобы построить эту кривую, нам следовало бы наблюдать одну и ту же линию в атмосфере Солнца при различных концентрациях N , что, конечно, невозможно. Вместо этого можно рассмотреть линии, образованные переходом на один и тот же атомный уровень и, таким образом, имеющие одинаковые N , но различные f . Или, наконец, можно сравнить различные линии, поведение которых почти одинаково и для которых хорошо известны отношения произведений Nf . Для этого выберем компоненты одного и того же спектрального мультиплета, которые образовались в одной и той же области длин волн при переходе между двумя термами. Относительное число поглощающих атомов одинаково на всех высотах атмосферы Солнца.

Рассмотрим, например, атомы железа в атмосфере Солнца. Они находятся в различных энергетических состояниях с энергиями $0, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots$. Согласно закону Больцмана, число атомов N в энергетическом состоянии ε пропорционально $ge^{-\varepsilon/kT}$, где g — статистический вес. Для двух линий поглощения железа, соответствующих переходам на уровни ε и ε' , мы имеем

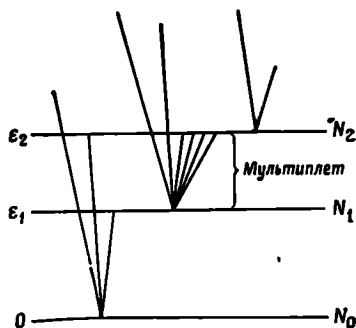
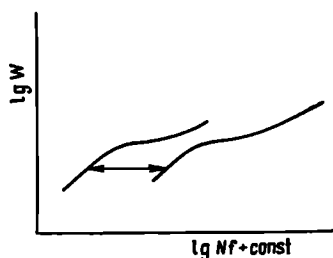
$$\frac{N}{N'} = \frac{ge^{-\varepsilon/kT}}{g'e^{-\varepsilon'/kT}}$$

Если эти две линии принадлежат одному и тому же мультиплету, то $N/N' \approx g/g'$ и $Nf/N'f' \approx gf/g'f'$.

Для таких компонентов мультиплета относительные величины gf в большинстве случаев легко определяются теоретически, гораздо лучше, чем для произвольно взятых линий. В табл. IА

Р и с. 54.

Р и с. 54а.



Значения gf для солнечного мультиплета TiI

№ мультиплета	$\lambda, \text{Å}$	$\lg gf$	$W, m\text{Å}$
3	5460,51	-2,36	8,5
	5426,26	-2,48	5,5
	5490,84	-2,67	2,5
4	5210,39	-0,90	86
	5192,97	-0,96	80
	5173,74	-1,06	67
	5219,71	-1,90	25
	5152,20	-1,73	38
	5147,48	-1,71	36
5	5064,65	-0,87	79
	5039,96	-0,96	66
	5009,65	-1,96	24
	4997,10	-1,90	27
35	5366,65	-1,89	2,5
	5389,18	-1,69	5
38	4981,73	+0,57	112
	4991,07	+0,45	102
	4999,50	+0,38	104
	5016,16	-0,44	60
	5020,03	-0,29	86
	5022,87	-0,30	72
	5024,84	-0,47	62
	5045,40	-1,49	10
	5043,58	-1,30	14
5040,64	-1,37	16	
39	4926,15	-1,71	5,5
	4937,72	-1,72	10
109	5145,47	-0,19	37
	5113,45	-0,36	23
	5087,06	-0,55	22
	5109,43	-0,92	5
	5085,33	-1,02	5,5
110	5036,47	+0,30	66
	5038,40	+0,23	60
	5071,48	-0,51	25
	5065,99	-0,65	19

№ мультиплета	$\lambda, \text{Å}$	$\lg gf$	$W, \text{мÅ}$
156	[5297,24	-0,19	18
157	[4885,08	+0,43	53
	[4899,91	+0,42	57
	[4913,61	+0,33	61
173	[5025,57	+0,44	20
	[5013,28	+0,31	59
	[5000,99	+0,30	44
	[4989,14	+0,09	29
	[4964,71	-0,37	7
$v_s = 1,99$			
183	[5224,30	+0,42	36
	[5224,56	-0,03	68
	[5223,62	-0,09	11
	[5222,69	-0,05	23
	[5263,48	-0,27	13
	[5247,29	-0,15	10
	[5186,33	-0,36	7
	[5194,04	-0,08	10
	[5201,10	-0,22	11
	[5207,85	-0,16	8
$v_s = 2,09$			
200	[4921,77	+0,38	40
	[4919,87	+0,21	24
	[4928,34	+0,27	30
	[4948,18	-0,56	7,5
	[4941,56	-0,39	3
201	[4848,49	-0,05	11
	[4864,19	-0,37	3
	[4880,92	-0,46	9
202	[4731,17	-0,10	11
	[4733,43	-0,21	11
	[4742,13	-0,52	5
216	[4995,06	-0,32	3
231	[4856,01	+0,66	39
	[4870,13	+0,58	36
	[4868,26	+0,48	26
	[4882,33	-0,16	7
232	[4778,26	+0,02	16
$v_s = 2,24$			

№ мультиплета	$\lambda, \text{Å}$	$\lg gf$	$W, \text{ м Å}$	
233	} $\nu_s = 2,24$	4759,27	+0,72	41
		4758,12	+0,71	40
		4742,79	+0,43	27
		4766,33	-0,14	5
		4747,68	-0,43	4,5
		4734,68	-0,54	3

они даны для нескольких мультиплетов титана. Сравнением нескольких линий, для которых произведения gf находятся в различных отношениях, мы достигнем такого же результата, как и при изменении числа атомов N . Номера мультиплетов соответствуют номерам по широко известным таблицам Мур.

Выполнение задачи. 1. Возьмите мультиплет титана. В табл. IА вы найдете W и gf для составляющих его линий. Постройте график W в зависимости от $\lg gf$; вы получите небольшую часть кривой роста (рис. 54).

2. Повторите эту процедуру для другого мультиплета в том же участке спектра. Две кривые не совпадут, поскольку величины Nf пропорциональны gf только в пределах каждого мультиплета. Если мы сравниваем линии двух мультиплетов, то показатели экспоненты различны. Чтобы подогнать их друг к другу, необходимо умножить все значения gf одного мультиплета на подходящий множитель; это соответствует сдвигу нашей кривой вдоль оси $\lg gf$. Перенесите первую кривую на кальку, сдвиньте ее так, чтобы вторая кривая совпала с ней; она несколько продолжит вашу кривую. Добавляйте таким образом последовательно участки кривых, построенных для каждого мультиплета, до тех пор, пока не будет построена вся кривая. Затем добавьте мультиплеты Fe, которые имеют более сильные линии и определяют верхнюю часть кривой.

Теперь можно считать, что абсцисса дает $\lg Nf$, но с точностью до постоянной. Таким образом, кривая роста — ключ к определению химического состава солнечной атмосферы. Обратите внимание, что наклон кривой равен 45° для слабых линий, уменьшается для линий средней силы и вновь возрастает для сильных линий.

(3.) Определим теперь *температуру возбуждения* какого-нибудь элемента в солнечной фотосфере. Рассмотрим линию, соответствующую переходу на основной уровень, и другие линии, соответствующие возбужденным уровням того же элемента со значи-

Значения gf для солнечного мультиплета FeI

№ мультиплета	$\lambda, \text{Å}$	$\lg gf$	$W, \text{mÅ}$
1)	[5166,29 5247,06 5254,96 5110,41 5168,90 5225,53	-3,68	115
		-4,50	59
		-4,23	92
		-3,34	126
		-3,49	114
		-4,26	68
15)	[5328,05 5405,78 5397,13 5429,70 5446,92 5455,61	-1,43	375
		-1,78	266
		-1,85	239
		-1,76	285
		-1,86	238
		-2,01	219
16)	[5051,64 5083,34 5107,45 5123,72 4939,69 4994,13 5041,07 5097,74 5142,93 5151,92	-2,71	111
		-2,74	95
		-2,78	91
		-2,79	101
		-3,18	96
		-2,90	95
		-2,73	112
		-2,91	84
		-2,72	111
-2,83	100		
36)	[5194,94 5216,28 5107,64 5332,90 5307,36	-1,63	126
		-1,65	108
		-2,04	97
		-2,36	96
		-2,46	86
37)	[5227,19	-0,84	277
66)	[5145,10 5131,48 5098,70 5079,23 5250,65 5198,71	-2,40	44
		-1,92	72
		-1,40	102
		-1,45	100
		-1,52	104
		-1,50	87

Продолжение

№ мультиплета	$\lambda, \text{ \AA}$	$\lg gf$	$W, \text{ м\AA}$	
114	} $v_s = 2,35$	5049,82	-1,00	135
		5273,38	-1,36	104
		4924,78	-1,88	101
		5141,75	-1,57	90
		4848,88	-2,79	33
383	} $v_s = 2,99$	5232,95	+0,39	346
		5139,47	-0,05	157
		5192,35	+0,18	176
		5226,87	-0,01	160
		5068,77	-0,59	129
		5139,26	-0,19	137
		5191,46	+0,04	160
687	} $v_s = 3,40$	4966,10	-0,30	114
		4946,39	-0,74	113
		4010,03	-0,94	91
		4882,15	-1,10	70
		4963,65	-1,21	48
		4875,90	-1,39	55
		4855,68	-1,33	60
		4843,16	-1,30	67
		4838,52	-1,39	51
		5039,26	-0,89	73
		5002,80	-1,03	85
		4950,11	-1,08	76
718		4907,74	-1,33	61
		5029,62	-1,52	41

тельно различающимися энергиями возбуждения $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$ (рис. 54а). Для каждой из этих линий имеем

$$\frac{Nf}{N_0f_0} = \frac{gf}{g_0f_0} e^{-\epsilon/kT}, \quad \text{или} \quad \frac{Nf}{gf} = \frac{N_0f_0}{g_0f_0} e^{-\epsilon/kT};$$

$\lg Nf - \lg gf = \text{const} - (5040 v_s/T)$ (v_s в электронвольтах). (Постоянная одна и та же для всех линий данного элемента.) Табл. IА и IВ дают энергию возбуждения v_s для поглощающих уровней.

Найдите в табл. I В эквивалентные ширины для пар линий в каждом мультиплете железа и определите по кривой роста вели-

чину $IgNf + \text{const}$. Найдите в табл. IV $Iggf$, постройте график $IgNf - Iggf$ в зависимости от v . Наклон дает $5040/T$ и, следовательно, T .

Почему мы сравниваем линии одного и того же атома?

ЛИТЕРАТУРА

- Alleg L. H., The Atmospheres of the Sun and Stars, New York, 1953, ch. 8, Sec. 13. (Русский перевод: Л. Аллер, Астрофизика. Атмосферы Солнца и звезд, ИЛ, М., 1955, гл. VIII, § 13.)
 Minnaert M. G., The Solar System, Vol. I, 1953, p. 150—163.
 Moore Ch., A Multiplet Table of Astrophysical Interest, Princeton, Washington, 1959.
 Unsöld A., Physik der Sternatmosphären, 1955, § 106, 107; Anh B. (Русский перевод: А. Унзольд, Физика звездных атмосфер, ИЛ, М., 1949.)
 Unsöld A., Der neue Kosmos, Berlin, 1967, § 19.

Что приготовить для выполнения задачи. Обычную разграфленную бумагу, разграфленную кальку.

Данные о вероятностях переходов можно найти в книге: Ch. Corliss, W. R. Vozman, Experimental Transition Probabilities, Nat. Bur. of Standards, Monograph 53, Washington, 1962. (Русский перевод: Ч. Корлисс и У. Бозман, Вероятности переходов и силы осцилляторов 70 элементов, изд-во «Мир», М., 1968.)

В9(Н). СОЛНЕЧНЫЕ ПЯТНА

Задача. Цель задачи: наблюдать солнечные пятна, видимые в данный момент на Солнце, и, если возможно, проследить за ними в течение нескольких дней, чтобы заметить вращение Солнца. Вследствие этого вращения пятна движутся с одинаковой угловой скоростью (несколько зависящей от гелиографической широты).

Выполнение задачи. 1. Установите на подставку ваш учебный телескоп, сфокусируйте его по очень удаленному предмету и отметьте положение окуляра карандашной меткой. Теперь отодвиньте окуляр на 3 мм от объектива; это даст возможность спроецировать изображение Солнца на экран.

2. Направьте телескоп на Солнце, *но ни в коем случае не смотрите в телескоп!* Найдите положение, при котором тень от трубы телескопа будет наименьшей. Если направление найдено верно, то на белом экране появится большой яркий диск. Осторожно закрепите телескоп по склонению и поворачивайте трубу по часовому углу в направлении суточного движения.

3. Нарисуйте на экране окружность диаметром 5 см. Укрепите экран на таком расстоянии от окуляра, чтобы изображение Солнца совпало с нарисованным кругом. Если телескоп сфокусирован хорошо, то появится также изображение креста нитей; центрируйте относительно его изображение Солнца. Сфокусируйте тщательно изображение Солнца на экране и отметьте вне изображения диска Солнца направление креста нитей. Чтобы прямые

лучи Солнца не попадали на экран и не уменьшали контрастность изображения, укрепите на трубе большой кусок картона.

Убедитесь в том, что окружность, ограничивающая яркий диск, действительно является солнечным диском, а не изображением диафрагмы, ограничивающей поле зрения. Вспомните, что мы определили поле зрения вашего телескопа в задаче А5, поэтому здесь не может быть никаких сомнений. Кроме того, при незначительных перемещениях телескопа яркое изображение Солнца должно передвигаться все целиком на значительную величину. Возможно, что одно или два маленьких пятнышка едва сместятся; это пылинки на стекле, несущем крест нитей.

4. Теперь поищите солнечные пятна. Быстро подвигайте лист бумаги по экрану из стороны в сторону; при этом шероховатость бумаги становится почти незаметной и можно заметить даже маленькие пятна. Попытайтесь как можно точнее зарисовать пятна — их положение и размеры. (Суточное движение Солнца несколько затрудняет эту задачу.)

5. В течение дня Солнце будет постепенно менять свое положение относительно горизонта. Поэтому для сравнения необходимо указать точную ориентировку каждого рисунка следующим образом.

В течение нескольких минут не поворачивайте телескоп и отметьте направление, в котором перемещаются пятна вследствие суточного вращения Земли. Удостоверьтесь, что крест нитей все время совпадает с карандашной отметкой, которую вы сделали на экране. Время от времени отмечайте на экране положение одного или двух пятен. Через несколько минут снимите экран с подставки, проведите прямую линию через эти отметки и параллельную ей линию через центр диска, соответствующую направлению восток—запад. Солнце движется на запад. Где на рисунке юг и север? Запишите дату и час.

(6.) Спроецируйте через большой телескоп некоторые интересные группы пятен, наблюдайте тень и полутень пятна.

7. Из наблюдений п. 4 и 6 определите истинные размеры пятен в километрах.

(8.) Повторите наблюдения п. 4 и 5 в последующие дни или сравните свои зарисовки с рисунками других студентов, наблюдавших в другие дни. Примите во внимание ориентировку рисунков и объедините все рисунки в один. Нарисуйте траекторию видимого движения нескольких пятен.

Примечание. Зарисовки астрономических объектов, как бы просты они ни были, являются отображением физических явлений, и их необходимо делать тщательно. Они являются документом, который нельзя изменять в последующем!

(9.) Если имеется большое пятно, попытайтесь наблюдать его невооруженным глазом, *приняв все меры предосторожности!*

Используйте очки для сварки или закопченное стекло. Пятна, большие $0',5$, или $25\ 000$ км, видны невооруженным глазом. (Смотрите на них, когда Солнце очень низко или находится в тумане.)

ЛИТЕРАТУРА

Braу R. J., Loughhead R. E., Sunspots, London, 1964. (Русский перевод: Р. Брей, Р. Лоухед, Солнечные пятна, изд-во «Мир» М., 1967.)

Scheiner Ch., Rosa Ursina, 1630.

* Бакулин П. И., Кононович Э. В., Мороз В. И., Курс общей астрономии, 2-е изд., изд-во «Наука», 1970.

Что приготовить для выполнения задачи. *Примечание.* Прежде чем проводить это упражнение, руководитель должен проверить, достаточно ли на Солнце пятен. Если возможно, старайтесь не наблюдать в ветреную погоду.

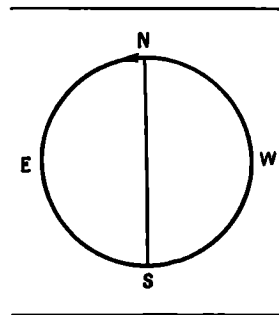
Для каждой пары студентов: самодельный телескоп; подставку с экраном (учтите высоту Солнца); картонную диафрагму, прикрепленную к телескопу.

Б10(Л). ВРАЩЕНИЕ СОЛНЦА

В Гринвиче и в некоторых других сотрудничающих друг с другом обсерваториях ежедневно фотографируется солнечный диск и регистрируются положения солнечных пятен. Положение пятна можно описать расстоянием от центра r , выраженным в долях радиуса Солнца, и позиционным углом φ , отсчитываемым в направлении север—восток—юг—запад—север от проекции полярной оси на солнечный диск. (Положение пятна можно описать в гелиографических координатах, аналогичных географическим координатам.) При помощи этих координат можно изучить вращение Солнца. Однако надо иметь в виду, что у отдельных пятен или их групп иногда наблюдаются небольшие смещения от среднего положения — *собственные движения*.

Вы можете получить общие представления о том, где наблюдаются солнечные пятна, по гринвичским данным, содержащим результаты гринвичских гелиографических наблюдений: «Положение и площади солнечных пятен и факелов». Содержание каждого столбца объяснено на первой странице этого издания.

Выполнение задачи. 1. Начертите на листе бумаги окружность радиусом 10 см и проведите ее горизонтальный и вертикальный диаметры. Вертикальный диа-



метр пусть соответствует проекции солнечной оси (см. пример ниже).

2. Выберите из гринвичского каталога большую группу пятен, которая была видна около 1 декабря. Запишите номер этой группы (колонка 2) и найдите эту группу в предыдущие дни, начиная с момента, когда появилось ее первое пятно.

3. Аккуратно зарисуйте последовательные положения этой группы при помощи транспортира и линейки. Чтобы сэкономить время, берите положения группы не на каждый день, а через день.

4. Сглаженной линией изобразите путь группы пятен, как он наблюдался с Земли.

5. Повторите эту процедуру на другом листе бумаги для другой большой группы пятен, которая пересекает центральный меридиан около 5 марта или 3 сентября и имеет небольшую гелиографическую широту. Вблизи этих дат путь пятен искривлен сильнее всего. Это значит, что солнечная ось наклонена к нам или от нас. Который из полюсов ближе к нам?

6. Этот наклон i можно приблизительно определить. Пусть a и b — оси эллиптической траектории*. Тогда $b/a = \sin i$. Найдите этот угол по вашему рисунку.

7. Оцените интервал времени между появлением группы пятен на восточном краю диска и исчезновением ее на западном. Каков по этим данным период вращения вблизи солнечного экватора?

8. Точнее этот период можно определить по *рекуррентным группам* (возвращающимся, т. е. таким, продолжительность жизни которых больше периода вращения Солнца) следующим образом: отмечайте номер одной из этих групп при каждом последовательном прохождении и найдите ее в General Catalogue, Ledger 1.

Теперь нанесите на график расстояние группы r от центра диска как функцию даты в течение первого прохождения. Повторите эту процедуру для следующих прохождений (вычитая, например, 20 дней из чисел, обозначающих даты, так чтобы кривые не были слишком далеко друг от друга). Измерьте горизонтальное расстояние между обеими кривыми и определите период вращения.

(9.) Сравните ваш результат с результатами других студентов, которые изучали группы пятен, расположенные на других широтах.

(10.) По синодическому периоду вращения S легко вывести сидерический период T , приняв во внимание вращение Земли вокруг Солнца (период E):

$$\frac{1}{T} - \frac{1}{E} = \frac{1}{S}.$$

* Очевидно, чтобы определить a и b , надо провести траекторию до края лимба Солнца и затем построить линию симметрично первой относительно прямой, соединяющей точки пересечения.— *Прим. ред.*

Составление таблицы

Группа пятен №		
Дата	r	φ
.
.

ЛИТЕРАТУРА

- Вгау R. J., Loughhead R. E., Sunspots, London, 1964. (Русский перевод: Р. Брей, Р. Лоухед, Солнечные пятна, изд-во «Мир», М., 1967.)
- Waldmeier M., Ergebnisse und Probleme der Sonnenforschung, Leipzig, 1955.
- * Бакули П. И., Кононович Э. В., Мороз В. И., Курс общей астрономии 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1970.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: гринвичские наблюдения «Heliographic Results» (любой том, но исключая годы минимума числа солнечных пятен), бумагу с полярной и прямоугольной сетками, транспортир.

B11(Л). СОЛНЕЧНЫЙ ЦИКЛ

В качестве меры солнечной «активности» обычно принимаются *относительные числа солнечных пятен*. Эта величина была введена Вольфом, Вольффером и Брюннером в Цюрихской обсерватории, где регулярно определяется и до сих пор на основе наблюдений, проводимых во всем мире.

Пусть G — число групп, наблюдаемых в определенный момент, S — число пятен; тогда относительное число солнечных пятен, или число Вольфа, $R = 10G + S^*$. Эти числа относятся к 8-сантиметровому телескопу, с которым в 1848 г. начинал наблюдения Вольф. Результаты, полученные на других инструментах, приводятся к этому инструменту Вольфа.

Выполнение задачи. 1. Вам выдали таблицу, дающую средние относительные числа пятен за период в 200 лет. Нанесите на график часть этих чисел в подходящем масштабе.

2. Определите среднюю продолжительность цикла в течение этого интервала.

3. Определите для всех опубликованных циклов интервал T_m от одного минимума до следующего. Обратите внимание на разброс.

* Очень часто вместо R пишут W . — Прим. ред.

4. Магнитные наблюдения свидетельствуют о том, что может существовать некоторая разница между четными и нечетными циклами*. Пронумеруйте циклы и определите для каждого из них:

а) максимальную величину R_m ;

б) интервал времени t между минимумом и следующим максимумом (время восхождения).

Нанесите на графике t в функции R_m отдельно для нечетных и четных циклов. Проведите сглаженные кривые и изучите их. (Примечание: Вальдмейер наносит $\lg R_m$ в зависимости от t .)

5. Выберите 3 цикла, в которых R_m в максимуме было бы относительно велико, средней величины и небольшое. Данные, полученные вами в предыдущем упражнении, могут быть полезны при выборе циклов. Нарисуйте эти три цикла таким образом, чтобы годы максимумов совпали. Сравните ваши результаты с результатами предыдущего упражнения. Эти циклы образуют семейство кривых с одним параметром.

(6.) Интересно также построить график *суточных чисел Вольфа* за период в 2 месяца. Заметен эффект с периодом в 27 дней.

Составление таблицы

Даты минимумов	Даты максимумов	Продолжительность цикла T_m	Максимальное число Вольфа R_m	Время восхождения t
...

ЛИТЕРАТУРА

Astronomische Mitteilungen, Zürich.

Gleissberg W., Die Häufigkeit der Sonnenflecken, Berlin, 1952.

Waldmeier M., Ergebnisse und Probleme der Sonnenforschung, Leipzig, 1955.

Waldmeier M., The Sunspot Activity in the Years 1610—1960, Zürich, 1961, p. 20, 21.

* Бакулин П. И., Кононович Э. В., Мороз В. И., Курс общей астрономии, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1970.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: таблицы годовых относительных чисел солнечных пятен за 200 лет, таблицу суточных относительных чисел за несколько месяцев (для года максимума) или графики этих чисел (по Вальдмейеру, см. литературу); миллиметровую бумагу.

* Иногда за полный период солнечной активности принимают 22 года, откладывая на графике циклы разной полярности по разные стороны от нулевой линии (см. рис. 27 в «Справочнике любителя астрономии» П. Г. Куликовского, 1971). — Прим. ред.

Относительные числа солнечных пятен
(Waldmeier, 1961)

Год	R	Год	R	Год	R	Год	R
1744	5	1782	38,5	1820	15,6	1858	54,8
1745	11	1783	22,8	1821	6,6	1859	93,8
1746	22	1784	10,2	1822	4,0	1860	95,8
1747	40	1785	24,1	1823	1,8	1861	77,2
1748	60	1786	82,9	1824	8,5	1862	59,1
1749	80,9	1787	182,0	1825	16,6	1863	44,0
1750	88,4	1788	130,9	1826	36,3	1864	47,0
1751	47,7	1789	118,1	1827	49,6	1865	30,5
1752	47,8	1790	89,9	1828	64,2	1866	16,3
1753	30,7	1791	66,6	1829	67,0	1867	7,3
1754	12,2	1792	60,0	1830	70,9	1868	37,6
1755	9,6	1793	46,9	1831	47,8	1869	74,0
1756	10,2	1794	41,0	1832	27,5	1870	189,0
1757	32,4	1795	21,3	1833	8,5	1871	111,2
1758	47,6	1796	16,0	1834	13,2	1872	101,6
1759	54,0	1797	6,4	1835	56,9	1873	66,2
1760	62,9	1798	4,1	1836	121,5	1874	44,7
1761	85,9	1799	6,8	1837	189,8	1875	17,0
1762	61,2	1800	14,5	1838	103,2	1876	11,3
1763	45,1	1801	34,0	1839	85,7	1877	12,4
1764	36,4	1802	45,0	1840	64,6	1878	3,4
1765	20,9	1803	43,1	1841	36,7	1879	6,0
1766	11,4	1804	47,5	1842	24,2	1880	32,3
1767	37,8	1805	42,2	1843	10,7	1881	54,3
1768	69,8	1806	28,1	1844	15,0	1882	59,7
1769	108,1	1807	10,1	1845	40,1	1883	68,7
1770	100,8	1808	8,1	1846	61,5	1884	63,5
1771	81,6	1809	2,5	1847	98,5	1885	52,2
1772	66,5	1810	0,0	1848	124,7	1886	25,4
1773	34,8	1811	1,4	1849	96,3	1887	13,1
1774	30,6	1812	5,0	1850	66,6	1888	6,8
1775	7,0	1813	12,2	1851	64,5	1889	6,3
1776	19,8	1814	13,9	1852	54,1	1890	7,1
1777	92,5	1815	35,4	1853	39,0	1891	35,6
1778	154,4	1816	45,8	1854	20,6	1892	73,0
1779	125,9	1817	41,1	1855	6,7	1893	85,1
1780	84,8	1818	30,1	1856	4,3		
1781	68,1	1819	23,9	1857	22,7		

Продолжение

Год	R	Год	R	Год	R	Год	R
1894	78,0	1913	1,4	1931	21,2	1949	134,7
1895	64,0	1914	9,6	1932	11,1	1950	83,9
1896	41,8	1915	47,4	1933	5,7	1951	69,4
1897	26,2	1916	57,1	1934	8,7	1952	31,5
1898	26,7	1917	108,9	1935	36,1	1953	13,9
1899	12,1	1918	80,6	1936	79,7	1954	4,4
1900	9,5	1919	63,6	1937	114,4	1955	38,0
1901	2,7	1920	37,6	1938	109,6	1956	141,7
1902	5,0	1921	26,1	1939	88,8	1957	190,2
1903	24,4	1922	14,2	1940	67,8	1958	184,8
1904	42,0	1923	5,8	1941	47,5	1959	159,0
1905	68,5	1924	16,7	1942	30,6	1960	112,3
1906	53,8	1925	44,3	1943	16,3	1961	53,9
1907	62,0	1926	63,9	1944	9,6	1962	35,0
1908	48,5	1927	69,0	1945	33,2	1963	27,9
1909	43,9	1928	77,8	1946	92,6	1964	10,2
1910	18,6	1929	64,9	1947	151,6	1965	15,1
1911	5,7	1930	35,7	1948	136,3	1966	47,0
1912	3,6					1967	93,8
						1968	105,9

Б12(Л). КОНВЕКТИВНЫЕ ЯЧЕЙКИ БЕНАРА

Солнечная грануляция обусловлена конвективными ячейками в верхней фотосфере. Еще в 1901 г. Бенар показал в лабораторных условиях, что слой жидкости, подогреваемый снизу, стремится разделиться на большое число ячеек. В центре ячеек горячая жидкость поднимается, остывает у поверхности, а у периферии холодная и потому более тяжелая жидкость опускается. Чтобы наблюдать границы раздела между ячейками, Бенар использовал метод, позволяющий обнаруживать мельчайшие различия в показателе преломления.

Мы повторим этот эксперимент в упрощенном виде. Каждый студент (или каждая пара студентов) должен сам провести опыт и сам разобраться в нем. Опыт ставится в химической лаборатории.

Выполнение задачи. 1. Прежде всего нагреем и расплавим немного парафина в оловянной чашке А. Чашка помещена на

полоске алюминия, которая в свою очередь лежит на тонкой проволочной сетке, закрепленной на треноге. Проверьте при помощи уровня, горизонтальна ли алюминиевая полоска. Если нет, установите ее горизонтально, подкладывая маленькие металлические полоски или кусочки картона под ножки треноги. На столе имеется также чашка *B* меньшего размера, которая будет использоваться как подставка на то время, пока чашка *A* будет остывать. Отрегулируйте положение этой чашки так, чтобы ее верхний край стал горизонтальным.

2. Положите в чашку *A* такое количество твердого парафина, чтобы получился слой расплавленного парафина около 4 мм толщиной. Осторожно нагревайте эту чашку на алюминиевой полоске над горелкой Бунзена до тех пор, пока парафин не начнет плавиться. Затем уберите огонь и подождите, пока парафин расплавится полностью. Осторожно, чтобы не обжечься, снимите чашку с треноги и, стараясь держать ее горизонтально, поставьте на чашку *B*.

3. Пусть парафин остывает до тех пор, пока на его поверхности не образуется тонкая пленка. Подождите еще несколько секунд, пока твердый слой станет совершенно непрозрачным и белым. Затем снова переставьте чашку на полоску алюминия, которая, вероятно, все еще достаточно горячая. (Может быть, необходимо предварительного слегка подогреть ее при помощи горелки.)

Смотрите внимательно на парафин. В течение примерно полминуты или минуты тепло алюминиевой полоски достигнет расплавленных нижних слоев парафина и начнут образовываться конвективные ячейки. Сначала твердый парафин расплавится над центром каждой ячейки и благодаря этому зоны станут видимыми. Поверхность кажется составленной из отдельных кусочков; если вы будете смотреть сверху, то увидите удивительно правильную картину ячеек размерами порядка 5 мм. Эта картина не совсем одинакова по всей поверхности, что обусловлено небольшими различиями глубины и недостаточным контактом с алюминиевой полоской. Вскоре образуются места, где поверхностный слой вновь расплавится полностью; на границе такой площадки края ячеек постепенно пропадают.

Грубо оцените расстояния λ между центрами двух соседних ячеек. Бенар нашел, что коэффициент пропорциональности между толщиной слоя e и λ равен примерно 0,3, но это значение было получено для другого вещества.

(4.) Когда весь парафин в чашке снова расплавится, повторите операции 2 и 3 с небольшими изменениями. Например, можно нагревать алюминиевую полоску до начала операции в п. 3 несколько сильнее. Или можно увеличить толщину слоя парафина и посмотреть, как изменится размер ячеек.

Замечание. Ячейки конвекции, которые мы наблюдали, являются очень стабильными образованиями. При других обстоятельствах они все время изменяют свою форму и положение, что характерно для солнечной грануляции.

ЛИТЕРАТУРА

- Vénard H., Ann. Chim. Phys., 7e Ser., 23, 62 (1901).
 Rayleigh, Scientific Papers, 1916. Перепечатано Dover Publ., New York, 1964, vol. VI, p. 432.
 * Бакулин П. И., Кононович Э. В., Мороз В. И., Курс общей астрономии, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1970.

Что приготовить для выполнения задачи. Упражнение выполняется в химической лаборатории.

Для каждой пары студентов: треногу с тонкой проволочной сеткой; горелку Бунзена; чашку *A* из тонкого металла с плоским дном, которыми пользуются для изготовления медицинских таблеток, диаметром 6—10 см; чашку меньших размеров *B*; полоску из алюминия 10×20 см толщиной около 2 мм; парафин; уровень; простой измерительный прибор.

Б13(Л). ФОРМА КОРОНЫ СОЛНЦА

Общезвестно, что форма солнечной короны зависит от фазы солнечного цикла. Распределение света в короне определяется путем тщательных фотометрических измерений. Однако можно использовать гораздо более обширный материал, включая наблюдения прежних лет, по следующему упрощенному методу.

Выполнение задачи. 1. Возьмите набор фотографий, полученных во время одного и того же затмения. Если репродукция достаточно контрастна, то не так трудно будет проследить очертания короны. Сделать это будет еще легче, если вы наложите на фотографию кусок кальки. Проведите очертания короны, не обращая внимания на небольшие неправильности. Это линия постоянной яркости — *изофота*; как была получена репродукция — не имеет значения.

2. Другие фотографии короны с более короткими или более длинными экспозициями дадут изофоты более близких к диску Солнца или более удаленных областей. Отметьте на каждом рисунке положение оси Солнца.

3. Характерным параметром для каждой изофоты является сплюснутость короны. Чтобы исключить локальные неоднородности, наложите на снимок лист целлулоида, на котором проведено направление нескольких диаметров (рис. 55).

Измерьте протяженность короны вдоль диаметров I—VI в миллиметрах и вычислите средний экваториальный диаметр ко-

роны $E = (I+II+III)/3$, ее средний полярный диаметр $P = (IV+V+VI)/3$ и сплюснутость $\epsilon = (E-P)/P$.

Измерьте также диаметр Солнца M и выразите экваториальный диаметр короны в солнечных диаметрах $R = E/M$.

4. Сплюснутость изменяется более или менее систематически с увеличением расстояния от солнечного диска. Постройте график ϵ в функции R . Посмотрите, можно ли экстраполировать часть чертежа при меньших R прямой линией, и определите ϵ^* для $R = 2$.

(5.) Нанесите на один график ϵ^* , полученные разными группами студентов для разных затмений, в функции фазы солнечного цикла.

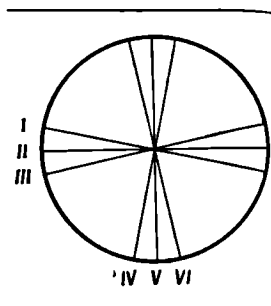
6. Характер изменения ϵ в зависимости от R становится более понятным, если вспомнить, что наблюдаемая корона является наложением двух явлений: рассеяния света на свободных электронах в сильно ионизованном разреженном газе вокруг Солнца (*К-корона*) и дифракции света на частицах облака межпланетной пыли (*F-корона*).

Существуют различные остроумные методы, при помощи которых оба компонента могут быть разделены. Первый компонент изменяется по форме и интенсивности в зависимости от относительных чисел солнечных пятен, второй компонент более или менее постоянен и расположен симметрично относительно Солнца.

Приведенная ниже таблица дает средние яркости, которые Ван де Хюлст вывел по большому числу наблюдений во время затмений вдоль полярного и экваториального радиусов. Когда Солнце очень активно, распределение яркости *К-короны*, а значит, и распределение яркости $K + F$, одинаково вдоль обоих радиусов, тогда как $\epsilon \approx 0$ для всех значений R .

Вблизи минимума солнечной активности ситуация меняется. Определите по таблице, как, согласно модели Ван де Хюлста, меняется в этом случае величина ϵ в зависимости от R . Сравните с графиками, полученными другими студентами для разных затмений. По таблице определите также, как в периоды минимумов будет меняться ϵ в зависимости от R , если исключить влияние межпланетной пыли и наблюдать только *К-корону*.

Теперь становится ясным, что уменьшение ϵ на больших расстояниях от Солнца обусловлено *F-корона*й, которая там преобладает.



Р и с. 55.

Фотография

	1	2	3
I
II
III
E
IV
V
VI
P
ε
M
$R = E/M$

Таблица

Яркость короны (по Ван де Хюлсту)

R	$\lg(K+F)$	$\lg K$	R	$\lg(K+F)$	$\lg K$
		Максимум активности, экватор и полюс	8	0,50	-0,40
			10	0,26	-0,64
					Минимум активности, экватор
1	4,74	+4,73	1	4,50	+4,43
1,03	4,58	+4,56	1,03	4,34	+4,31
1,06	4,42	+4,40	1,06	4,19	+4,15
1,1	4,24	+4,21	1,1	4,01	+3,96
1,2	3,87	+3,82	1,2	3,65	+3,57
1,4	3,34	+3,26	1,4	3,14	+3,01
1,6	2,96	+2,84	1,6	2,77	+2,59
1,8	2,65	+2,49	1,8	2,50	+2,24
2,0	2,40	+2,18	2,0	2,27	+1,93
2,5	1,95	+1,56	2,5	1,86	+1,31
3,0	1,66	+1,10	3,0	1,60	+0,85
3,5	1,45	+0,77	3,5	1,40	+0,52
4,0	1,28	+0,52	4,0	1,25	+0,27
5	1,02	+0,17			
6	0,81	-0,06			

Продолжение

R	lg(K+F)	lg K	R	lg(K+F)	lg K
		Минимум активности, полюс	1,4	2,73	+2,26
			1,6	2,42	+1,72
			1,8	2,21	+1,33
1	4,35	+4,31	2,0	2,04	+1,00
1,03	4,15	+4,10	2,5	1,74	+0,32
1,06	3,97	+3,90	3,0	1,52	-0,24
1,1	3,75	+3,65	3,5	1,35	-0,70
1,2	3,29	+3,08	4,0	1,20	-1,40

В той же шкале средняя по диску яркость Солнца соответствует $\lg I = 10,0$.

ЛИТЕРАТУРА

- Ludendorff H., Sitzungsber. Acad. Berlin, XVI, 1928, стр. 185.
 Ludendorff H., Sitzungsber. Acad. Berlin, XVI, 1934, стр. 200.
 Van de Hulst H. C., The Solar System, ed. G. Kuiper, B. Middlehurst, Chicago, vol. I, 1953, p. 285. (Русский перевод: Солнце, ред. Дж. Койпер, ИЛ, М., 1957.)
 * Кононович Э. В., Солнечная корона, Физматгиз, М., 1958.
 * Шкловский И. С., Физика солнечной короны, 2-е изд., Физматгиз, М., 1962.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: несколько фотографий короны во время одного и того же затмения; по ссылкам, имеющимся в публикациях Людендорфа и Ван де Хюлста (стр. 263), следует выбрать фотографии с сильно различающимися экспозициями.

Если возможно, включите затмения вблизи минимума солнечной активности или несколько ранее (1900, 1914, 1922, 1923, 1943, 1944 и 1945 гг.), данные должны быть приведены вплоть до $R = 2$.

На каждой фотографии должно быть отмечено положение солнечной оси.

Полоски линованной бумаги; лист целлулоида, на котором прочерчены диаметры в соответствии с рис. 55.

Из этого упражнения студенты поймут основной принцип фотографической фотометрии: площади равной яркости остаются одинаково яркими после любого репродуцирования. Методы, которыми можно быстро получить изофоты, приводятся в статье P. de Gregorio et al., Mem. Soc. Astron. Ital., 38, 33 (1967).

Б14(Л). ВСПЛЕСКИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ,
СВЯЗАННЫЕ С СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКОЙ

После солнечной вспышки мы наблюдаем несколько всплесков радиоизлучения III типа, в некоторых случаях всплеск II типа. Эти явления становятся понятными, когда записан их радиоспектр; регистрация производится электроннолучевой трубкой на 35 мм пленку.

Таблица I

λ, м	ν, Мгц	Отклонения, мм	
		рис. 56,а	рис. 56,б
7,50	40	0,0	0,0
6,00	50	2,3	2,1
4,30	70	7,1	6,4
3,00	100	11,8	10,7
2,31	130	15,4	13,9
2,00	150	17,2	15,5
1,67	180	19,7	17,8
1,43	210	21,6	19,5
1,25	240	23,0	20,7

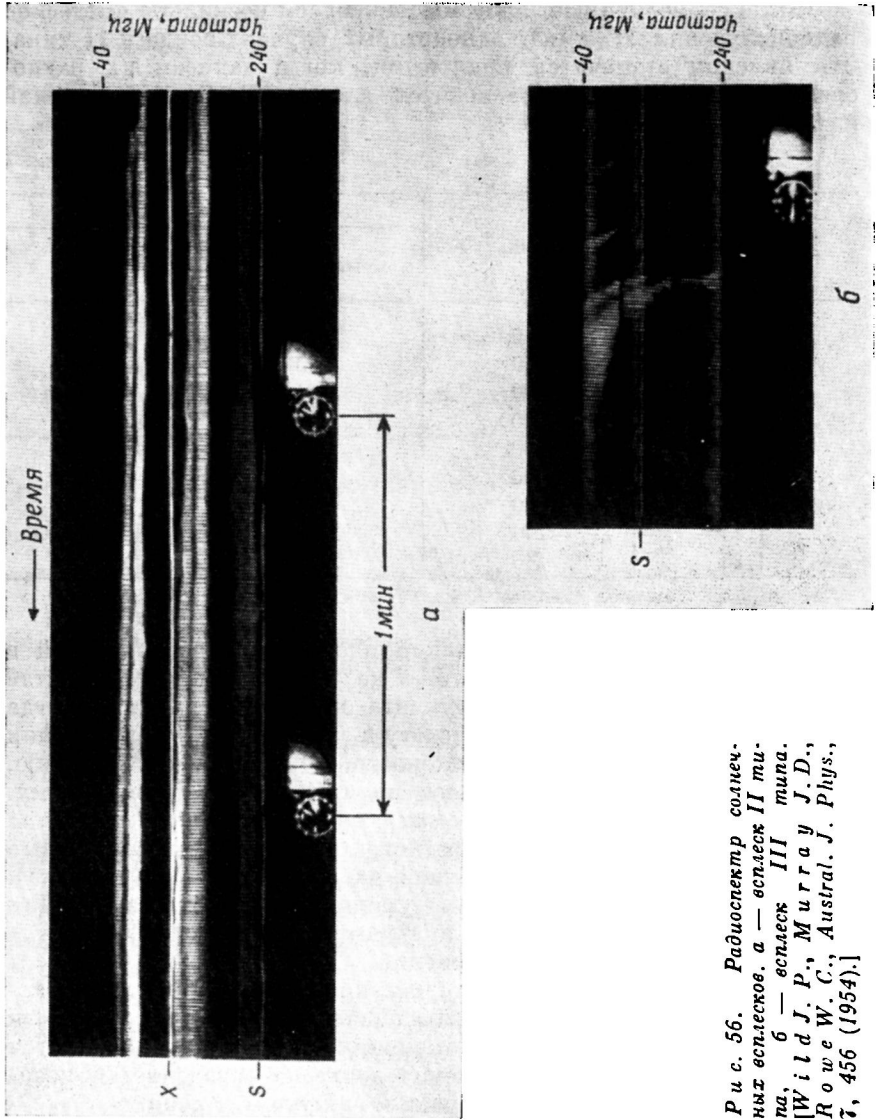
Рис. 56 является частью такой пленки, воспроизведенной в масштабе ~1 : 1. Масштаб рис. 56,б на 10% меньше, чем масштаб рис. 56,а. Шкала частот инструмента определена раз и навсегда (табл. I); нанесите на график частоту в зависимости от отклонения для обоих рисунков. Явления сложные, а масштаб, к сожалению, мал. Однако приведенные записи являются одними из лучших.

Выполнение задачи. *Всплески радиоизлучения III типа* (рис. 56,б). На этом кадре зарегистрировано 3 всплеска, левый из которых заметен на удвоенной частоте (вторая гармоника). В каждом из них частота быстро уменьшается со временем. Для изучения мы выберем самую низкую частоту, которую можно проследить на большом протяжении.

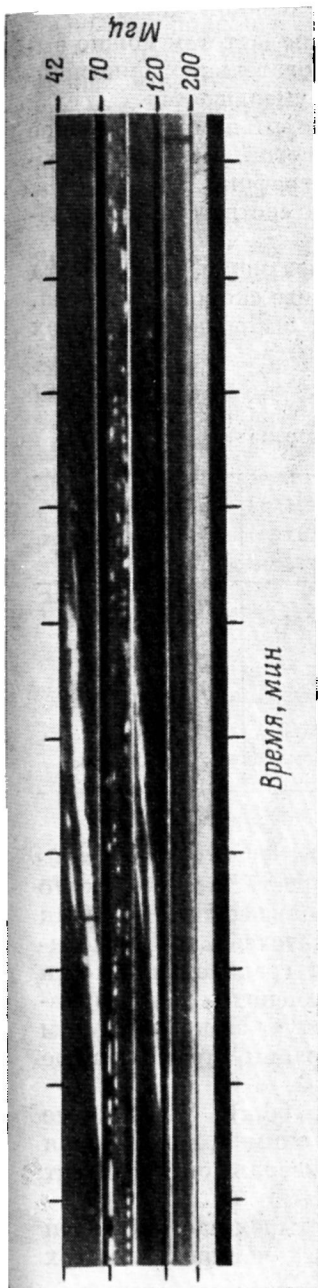
1. Определите как можно точнее координаты нескольких точек светящейся полосы, всегда отыскивая наиболее яркие части и самые низкие частоты. Перед окончанием всплеска появляется непрерывная эмиссия и положение всплеска определяется ненадежно. Не продолжайте измерения слишком далеко!

2. Выразите отклонения в миллиметрах и частоты в мегагерцах (табл. I).

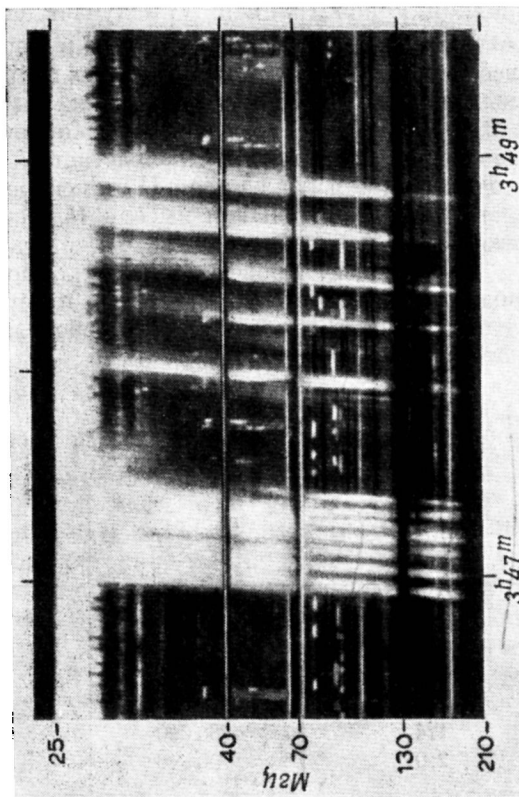
3. Уменьшение частоты объясняется следующим образом: поток быстрых частиц выбрасывается вверх сквозь корону и воз-



Р и с. 56. Радиоспектр солнечных всплесков, а — всплеск II типа, б — всплеск III типа. [W i l d J. P., M u r r a y J. D., R o w e W. C., Austral. J. Phys., 7, 456 (1954).]



Р и с. 56в. Радиоспектр солнечного всплеска II типа [Roberis J. A., Austral. J. Phys., 12, 357 (1959).]



Р и с. 56 г. Радиоспектр солнечного всплесков III типа. (Wild J. P., The Solar Corona, ed. J. W. Evans, 1963, p. 115.)

буждает радиокосебания в последовательных слоях. Газ с электронной концентрацией N излучает на плазменной частоте $\nu = 9,0 \cdot 10^{-3} \sqrt{N}$ Мгц. Теперь по измеренным частотам можно вывести электронную концентрацию в последовательных эмиссионных центрах. Как вы увидите, она быстро уменьшается.

4. Распределение яркостей в короне говорит нам о характере зависимости, по которой возрастает N с высотой. Возьмите необходимые данные из табл. II и постройте график.

Теперь можно найти высоту H , которая соответствует значениям ν и N .

5. Наконец, проведите кривую, показывающую, как высота возмущений растет со временем, и определите скорость выброса. Это возмущение представляет собой поток выброшенных вверх электронов.

Таблица II

Электронная концентрация в короне

$\rho = r/r_0$	h , км	$\lg N$	$\lg N$ (потока) (по Вейсу)
1,011	7 500	9,05	
1,014	10 000	8,6	
1,03	21 000	8,2	
1,1	70 000	7,9	9,1
1,4	280 000	7,1	8,3
2,0	700 000	6,25	7,4

(6.) *Замечание.* По прямым интерферометрическим наблюдениям Уайлд (1959) нашел, что средняя скорость выброса около $0,4 c$ (c — скорость света). Если вы нашли большее значение (как это часто получается у большинства наблюдателей), то это показывает, что в возмущенной области короны градиент плотности меньше, чем в невозмущенной короне. Как изменится ваш результат, если предположить, что возмущение следует за корональным потоком, и если принять значение концентрации, предложенное Вейсом (табл. II)?

Всплески радиоизлучения II типа (рис. 56,а). Уменьшение частоты происходит гораздо медленнее. Часть снимка, подлежащая исследованию, представляет собой лишь небольшой фрагмент записи.

7. Всплеск проявился одновременно на четырех частотах. При тщательном рассмотрении вы найдете на всех четырех частотах

слабые нерегулярности и изгибы. Значения частот дают возможность предположить, что одна пара является первой гармоникой другой пары. Большое сходство указывает на то, что, вероятно, основная частота, так же как и первая гармоника, расщепляется, возможно, магнитным полем (эффект Зеемана).

Для наших измерений выберем самую низкую частоту. Для какой-нибудь частоты проверьте, подтверждается ли отношение 2 : 1 между основной частотой и первой гармоникой.

8. Измерьте последовательные сдвиги для нескольких моментов времени, сначала по величине, затем по частоте, в электронной концентрации и, наконец, по высоте.

9. Нанесите на график положение возмущений в функции времени и вычислите скорость выброса. Для всплеска II типа предполагается, что возмущения вызываются магнитогидродинамическими ударными волнами, возникшими в фазе вспышки.

(10.) Вы можете аналогично изучить рис. 56в и 56г, которые являются частью другой записи, показывающей всплески II и III типов. На этих записях время возрастает слева направо.

Замечание. Мы молчаливо предполагали, что возмущение распространяется вертикально вверх вдоль радиуса Солнца. Но оно также может двигаться по наклонной линии. Как при этом изменится скорость, выведенная по измерениям?

Составление таблицы

Время, мм	Время, сек	Отклонение, мм	ν , МГц	$\lg \nu$	$\lg N$	h , км
--------------	---------------	-------------------	----------------	-----------	---------	----------

ЛИТЕРАТУРА

K u n d u M. R., Solar Radio Astronomy, Interscience Publ., New York, 1965. Изучите спектры, обратите внимание на графики на стр. 297, 324, 325, 342, 357, 374, 376, 378.

* С л ы ш В. И., Спорадическое радиоизлучение Солнца, Земля и Вселенная, № 4, 19 (1968).

ЗВЕЗДЫ

Б15. ЗАРИСОВКА СОЗВЕЗДИЙ

При выходе из хорошо освещенной комнаты глаза не сразу выкают к темноте; для этого необходимо по меньшей мере четверть часа. Когда глаза привыкнут к темноте, вы сможете наслаждаться красотой звездного неба.

Заметьте существенные различия в блеске звезд. Обратите внимание на различия в цвете, лучше всего заметные у ярких звезд. Сириус, Вега, Спика, Ригель — белые звезды; Капелла и Арктур — желтые; Бетельгейзе, Альдебаран, Антарес, β Андромеды — оранжевые. Гораздо слабее «гранатовая звезда» μ Цефея; ее цвет лучше всего оценить в бинокль, сравнивая с соседней α Цефея. Различие в цвете указывает на различие поверхностных температур звезд.

Выполнение задачи. 1Н. Выберите какое-либо интересное созвездие не слишком высоко над горизонтом (скажем, Орион). Сядьте в удобной позе и осветите альбом слабым красным светом.

2Н. Рисуйте в довольно большом масштабе. Сначала укажите самые яркие звезды с учетом соотношения расстояний и направления вертикала. Используйте метод прямых линий (рис. 11). Затем нанесите более слабые звезды. Попробуйте по крайней мере в пределах ограниченной области отметить все звезды, которые вы в состоянии увидеть. Рисуйте звезды не в виде окружностей, а в виде черных кружков. Их размеры должны давать представление о блеске звезд.

3Н. Укажите на своем рисунке направление горизонта, положение планет, запишите дату и час наблюдения.

4Л. Сравните свой рисунок со звездным атласом. Напишите обозначение звезды греческой буквой или ее номер.

5Н. Сравните атлас с небом и попробуйте различить еще более слабые звезды.

(6Н.) Вновь зарисуйте ту же область неба, рассматривая ее в полевой бинокль. а) Сначала сфокусируйте общим винтом окуляр для одного глаза, глядя в фиксированный (обычно левый) окуляр, б) затем отрегулируйте независимо фокусирующийся окуляр для второго глаза, в) установите правильное расстояние между окулярами (соответствующее расстоянию между центрами зрачков глаз). Заметьте, насколько больше звезд видно.

(7Н.) Посмотрите на то же самое поле в учебный телескоп.

(8Н.) Выберите несколько звезд различного блеска; найдите их звездные величины в Каталоге ярких звезд (Catalogue of Bright Stars). Запишите их. Постарайтесь запомнить приблизительно, как выглядят звезды различных звездных величин, оцените звездные величины некоторых других звезд и проверьте свои оценки.

ЛИТЕРАТУРА

- Bečvář A., Atlas Coeli, 1958; Catalogue, Praha, 1964.
 Schürig R., Götz P., Himmelsatlas (Tabulae Caelestes), Mannheim, 1960.
 * Михайлов А. А., Звездный атлас, 3-е изд., изд-во «Наука», М., 1969.
 * Ullrich K., Nachts am Fernrohr, Berlin, 1963. (Русский перевод: К. Уллерих, Ночи у телескопа, изд-во «Мир», М., 1966.)

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: звездный атлас, слабую красную лампу, учебный телескоп.

Несколько копий Catalogue of Bright Stars; данные о цветах звезд можно найти в книге R. Henseling, Astronomisches Handbuch, Stuttgart, 1921, S. 206.

Несколько полевых биноклей.

Примечание. Эта задача частично является повторением задачи А1; она предназначена для студентов, которые не выполняли упражнений раздела «Солнечная система».

Б16(Н). ВИДИМЫЕ ЗВЕЗДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗВЕЗД

Введение. Блеск звезд, воспринимаемый глазом, выражается в шкале звездных величин. Разность в одну величину соответствует отношению блесков K . Постоянная K выбрана так, что разность в 5 величин соответствует различию в блеске в 100 раз.

Таким образом, $100 = K^5$, $\lg K = 0,40$ и $K = 2,51$.

Общие указания. Чтобы найти координаты и блеск сравнительно ярких звезд, всегда следуйте стандартной методике:

- найдите звезду в звездном атласе,
- определите прямое восхождение,
- найдите ее по звездному каталогу, в котором звезды расположены по прямому восхождению,
- проверьте, достаточно ли согласуются с атласом данные каталога о склонении и звездной величине.

Каталоги самых ярких звезд имеются в Астрономическом Ежегоднике (средние места звезд), а также в книгах: Yale Catalogue of Bright Stars, 3-d ed., ed. D. Hoffleit, 1964; П. Г. Куликовски й, Справочник любителя астрономии, изд-во «Наука», М., 1971.

Наблюдения невооруженным глазом. 1Л. Составьте список нескольких видимых в данное время года и легко отыскиваемых на

небе звезд, так чтобы получить шкалу звездных величин между 0^m и 5^m . Если возможно, выберите звезды в одной и той же области неба.

2Н. Оцените блеск 6 других звезд по отношению к этим звездам сравнения и запишите свои оценки.

3. Вглядитесь внимательно в слабую звезду, фиксируя на ней взгляд. Заметна ли она теперь более или менее отчетливо? Какова величина самых слабых звезд, которые вы можете различить, применяя этот метод наблюдений? Сравните с более ранними результатами. Вы будете поражены тем, насколько значителен этот эффект!

4. Каково наименьшее различие в звездных величинах, которое вы можете заметить?

Сравните α и β UMa, $\Delta m = 0^m,6$;

ϵ и η UMa, $\Delta m = 0^m,2$.

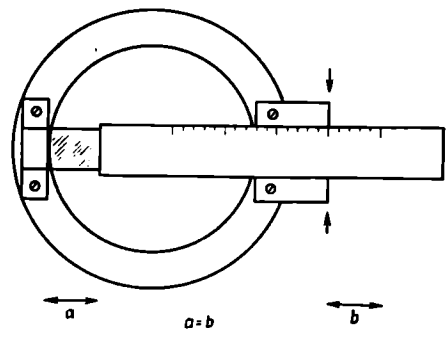
Какая звезда ярче? (Или в каком смысле взяты эти разности?)

Наблюдения с простым фотометрическим устройством. Чтобы сравнить блеск двух звезд, мы укрепим перед объективом нашего телескопа небольшую стеклянную призму с очень малым углом преломления (около $20'$). Эта призма закрывается скользящей металлической пластинкой; по делениям мы определяем, какая часть призмы свободна и пропускает свет (рис. 57).

Значительная часть света звезды будет проходить по обе стороны полосы и обычным путем образовывать изображение. Однако небольшая часть света падает на призму и образует более слабое изображение, смещенное вверх приблизительно на $10'$. Отношение интенсивностей двух изображений определяется отношением площадей, дающих изображения. Площадь, дающая основное изображение, составляет в нашем случае $6,3 \text{ см}^2$. (Сделайте грубую оценку и удостоверьтесь, что это приблизительно верно.) Эффективная открытая поверхность призмы есть b — число делений шкалы, умноженное на ширину $w = 1 \text{ см}$. Отношение, следовательно, составляет $6,3/b$, что соответствует разности звездных величин изображений в $2,5 \lg(6,3/b)$.

5. Сначала совсем закройте призму металлической пластинкой. Направьте телескоп на Мицар (ζ UMa) и Алькор. Теперь медленно отодвигайте металлическую пластинку все дальше и дальше, постепенно открывая призму. Вы увидите добавоч-

Р и с. 57.



ные изображения. Смещая пластинку, вы можете изменять их блеск. Попробуйте сделать блеск добавочного изображения Мицара равным блеску основного изображения Алькора. Фотометрическую головку перед объективом вращайте всегда таким образом, чтобы дополнительное изображение было как можно ближе к основному изображению звезды, с которым оно должно быть сравнено.

Пытаясь достичь равенства блеска, вы поймете, что это не так-то просто. Тщательно установите фокус, иначе основное изображение будет двойным, так как оно образуется двумя пучками света, приходящими от двух частей поверхности объектива, разделенного пластинкой. Добавочное и основное изображения, которые вы должны сравнить, имеют не совсем одинаковый вид: первое более отчетливое, чем второе, потому что призма действует как диафрагма, которая скрадывает некоторые aberrации. К счастью, выбранные нами звезды имеют почти одинаковый цвет (спектральные классы A2 и A5). Вы увидите, что сказывается даже направление линии визирования.

Установите металлическую пластинку, закрывающую призму, так, чтобы дополнительное изображение было ярче, чем нужно, затем переместите ее так, чтобы изображение стало слабее, чем нужно. Наконец, найдите точное положение, при котором достигается равенство блеска дополнительного и главного изображений. Смотрите спокойно и внимательно, но не слишком долго, чтобы не утомить глаз.

Сделайте несколько независимых измерений, всегда беря результаты такими, как они есть, и не пытайтесь исправить их потом. Найдите среднее значение и разность звездных величин этих двух звезд. Сравните с каталогом ($\Delta m = 1^m,4$).

(6.) Подобные измерения можно выполнить для группы ярких звезд в Плеядах. Применение призмы удваивает видимое число звезд в поле и делает скопление еще более красивым. Сравните γ Тау и 27 Тау; 27 Тау и 28 Тау. (Отождествите звезды при помощи подробной карты скопления, например, в «Справочнике любителя астрономии», 1971, стр. 507.)

Избегайте сравнивать звезды, отличающиеся более чем на 2^m .

(7.) По своим измерениям найдите среднюю ошибку фотометрических оценок и выразите ее в звездных величинах. Даже с прелюбопытными инструментами и для опытных наблюдателей эта ошибка порядка $0^m,1$.

(8.) Установите призму так, чтобы получить разность звездных величин 1^m . Попробуйте запомнить, как выглядит различие блеска в 1^m .

9. Получите из ваших измерений число K , дающее отношение интенсивностей, соответствующее 1^m .

Составление таблицы

Название звезды	α	δ	m из каталога	m оцененное	Разность
...		
...		
...		
...
...
...

Сравнение пары Мицар — Алькор

 b — свободная площадь приамы

...

...

...

 $\bar{b} = \dots$ $\Delta m = \dots$ Δm по каталогу = ...

ЛИТЕРАТУРА

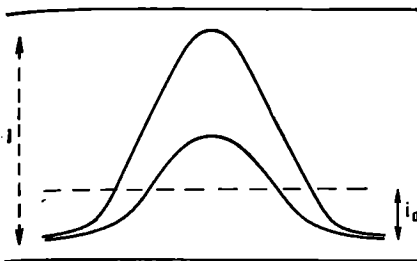
Becker W., Sterne und Sternsysteme, Dresden und Leipzig, 1950, § A12.
 Sauer M., Strassl H., Veröffentl. Sternw. Bonn., 46, p.10, 11 (1957).
 Номограммы в книге Landolt-Börnstein, p. 319.

* Мартынов Д. Я., Курс практической астрофизики, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1967.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: учебный телескоп с фотометрической головкой (см. стр. 156), Астрономический Ежегодник, электрический фонарь, звездный атлас.

Б17(Л). ДИАМЕТР ЗВЕЗДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ КАК МЕРА БЛЕСКА (СТРУКТУРА ЗВЕЗДНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ)

Задача. Посмотрите на фотографию рассеянного скопления Ясли (М 44) в созвездии Рака. Обратите внимание на то, как различны размеры изображений звезд. Эти различия не имеют ничего общего с различием истинных диаметров звезд, а связаны с видимыми звездными величинами, которые изменяются от 6 до 13^m. Вследствие инструментальных aberrаций и главным образом атмосферных мерцаний изображение звезды всегда несколько размыто. Порог чувствительности фотографической пластинки (вполне) достигается около центрального максимума изображения для



Р и с. 58.

слабых звезд, тогда как бoльшая часть изображения яркой звезды выше этого порога. Диаметры изображений можно использовать для грубой оценки блеска. Кроме того, мы найдем распределение интенсивности в изображении звезды.

Выполнение задачи. 1. Сравните фотографию с картой из обзора Гердшпрунга, дающей звездные величины. Отождествите некоторые звезды.

2. Измерьте при помощи шкалы и лупы диаметры ряда звездных изображений с точностью до 0,1 или 0,05 мм. Чтобы исключить возможный астигматизм, измерьте каждое изображение дважды во взаимно перпендикулярных направлениях и возьмите среднее значение. Особенно тщательно измерьте самые слабые звезды.

3. Теперь попробуем найти эмпирическое соотношение между диаметром D и видимой звездной величиной m . Сделаем это графически. Правда, во многих случаях удобнее иметь также простую интерполяционную формулу. Попробуйте применить к вашему графику последовательно следующие формулы:

$$m = a - bD,$$

$$m = a - b\sqrt{D},$$

$$m = a - b \lg D.$$

4. Какая формула дает наилучшее согласие?

Оцените остаточные отклонения в звездных величинах. Как объяснить, что для различных пластинок требуются разные формулы?

5. По найденной формуле получите распределение интенсивности света в каждом изображении звезды $i = If(r)$, где I — интенсивность в центре, i — интенсивность на расстоянии r от центра (рис. 58).

Пороговая интенсивность i_0 достигается при радиусе r_0 , где $i_0 = If(r_0) = \text{const}$. Если перейти от звездных величин к интенсивностям, то эмпирически найденную функцию можно представить в виде $I = \varphi(r_0)$, так как интенсивность в центре пропорциональна полной интенсивности.

Следовательно,

$$f(r_0) = \frac{\text{const}}{\varphi(r_0)}$$

и вообще

$$f(r) = \frac{\text{const}}{\varphi(r)}.$$

Постройте график распределения интенсивности изображений звезд на вашей фотографии.

ЛИТЕРАТУРА

Lundmark K., Handbuch der Astrophysik, Vol. V¹, 1932, S. 296.
 Stock J., Williams D., Stars and Stellar Systems, vol. II, Astronomical Techniques, ed. W. A. Hiltner, Univ. of Chicago Press, 1962, p. 393.
 (Русский перевод: Методы астрономии, ред. В. А. Хилтнер, изд-во «Мир», М., 1967, стр. 321.)

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: фотографию скопления Ясли (копия на стекле), репродукцию на бумаге карты из обзора Герцшпрунга [Astron. Nachr., 203, 268 (1917)], фоторепродукцию на стекле микрошкалки для измерения диаметров мелких объектов (рис. 10), лупу, два листа миллиметровой бумаги.

Это упражнение дает студентам некоторое представление о структуре фотографических изображений звезд. Аргумент, по которому получено распределение света, кажется простым, но не всегда легко схватывается.

В18(Л). ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МИКРОФОТОМЕТРИЯ ЗВЕЗДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Задача. Это стандартный метод сравнения звездных изображений на фотографиях. Каждое изображение помещается в узкий пучок света, и измеряется изменение интенсивности. При этом не требуется измерять поглощение в каждой точке изображения, а нужно получить интегральный эффект. Ясно, что чем выше блеск звезды, тем больше диаметр ее изображения и его почернение, а следовательно, и интегральное поглощение. Отношение между обеими переменными величинами (блеском звезды и интегральным поглощением) нельзя предсказать теоретически, и его надо определять эмпирически для каждой пластинки.

Выполнение задачи. 1. Вы получите астронегатив созвездия Ориона* на обычной, очувствленной к синим лучам пластинке. Сравните эту фотографию со звездным атласом, отождествите некоторые характерные звезды.

2. Положите пластинку на столик микрофотометра эмульсией вниз. Никогда не нажимайте на пластинку, чтобы не поцарапать эмульсию. Положите ее осторожно на бумагу, которая покрывает

* Или какой-нибудь другой области неба. — Прим. ред.

столлик. Включите микрофотометр. (Описание его см. на стр. 18 и 104.) Слегка поворачивайте нижнюю линзу до тех пор, пока отклонение стрелки амперметра не станет максимальным. Сначала определите отклонение, когда пучок лучей проходит сквозь часть пластинки без звездных изображений. Повторите это измерение в двух-трех прозрачных местах пластинки. Обратите внимание на то, что самая незначительная вуаль на пластинке немедленно влияет на отсчет. Кроме того, возможны флуктуации, возникающие вследствие нестабильности напряжения в электросети.

3. Теперь подведите достаточно резкое, одиночное звездное изображение, уже отождествленное вами. Оно должно как можно точнее совпадать с центром отверстия в пересечении осей OX и OY столика микрофотометра. Это не так легко, поскольку приходится смотреть на пластинку несколько сбоку, например вдоль оси OY . Слегка перемещая столлик к себе или от себя, найдите такое положение, при котором микроамперметр дает наименьший отсчет и где, следовательно, интегральное поглощение максимально. Эту процедуру необходимо повторить несколько раз, пока не будет найдено наилучшее положение. Пусть один из вас следит за стрелкой и уловит точный минимум.

4. Повторите это измерение для звезд различных звездных величин. Используйте только хорошо отождествленные и изолированные звездные изображения, обозначенные номером или буквой в атласе. Более слабые звезды отождествляются путем сравнения с атласом А. Ве́свâř, Atlas Coeli.

5. Найдите *фотографические* звездные величины в Йельском каталоге ярких звезд: в последнем (третьем) издании даются визуальные звездные величины V и показатели цвета $B - V$. Более слабые звезды можно найти по картам Bonner Durchmusterung (BD) и каталогам Astronomische Gesellschaft (AG), но их отождествление много труднее.

6. Нанесите отсчеты микроамперметра против звездных величин. Если некоторые точки явно уклоняются от основной кривой, то проверьте отождествление! Определите качество этих изображений при помощи лупы и проверьте, не имеют ли они слабых спутников и не вытянуты ли они (на краю поля).

7. Оцените точность измерений в долях звездной величины.

ЛИТЕРАТУРА

- Stock J., Williams D., Stars and Stellar Systems, vol. II, Astronomical Techniques, ed. W. A. Hiltner, Univ. of Chicago Press, 1962. (Русский перевод: Методы астрономии, ред. В. А. Хилтнер, изд-во «Мир», М., 1967, гл. 17.)
- * Мартынов Д. Я., Курс практической астрофизики, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1967.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: микрофотометр; фотографию легко отождествляемого звездного поля (Плеяды, Орион); нарисованную по трафарету шкалу фотографических звездных величин для легко отождествляемых звезд ярче 6^m в той же области; звездный атлас; несколько копий атласа А. Вебба, Atlas Coeli, 1950. 00 для этой части неба.

Экспозиция, с которой получена пластинка, диафрагма микрофотометра, температура его лампы и кривая чувствительности фотоэлемента должны быть подобраны так, чтобы калибровочная кривая оставалась достаточно крутой во всех областях звездных изображений. Это легко достигается на практике.

Б19. АТМОСФЕРНАЯ ЭКСТИНКЦИЯ

Из-за поглощения и рассеяния в земной атмосфере свет звезд ослабляется по экспоненциальному закону $i = i_0 e^{-k \sec z}$, где z — зенитное расстояние. Коэффициент k можно определить, сравнивая звезды на больших и на малых высотах.

Выполнение задачи (в ясные ночи). 1Л. На высотах больше 60° все звезды имеют практически одну и ту же экстинкцию. Будем называть их «зенитными звездами». По звездному атласу выберите примерно 10 таких звезд очень различного блеска; с этими звездами вы будете сравнивать все другие, расположенные на меньших высотах.

2Н. Пронаблюдайте на небольшой высоте звезду A и поищите среди ваших зенитных звезд такую, которая имеет точно такой же блеск. Если такой звезды не найдется, то интерполируйте между двумя зенитными звездами z_1 и z_2 . Отождествите звезду A со звездным атласом и определите приблизительно ее высоту h при помощи высотомера (рис. 6 и задача А7).

3Н. Повторите это наблюдение для нескольких звезд, находящихся на небольших высотах. Постарайтесь пронаблюдать хотя одну звезду на высоте $3-5^\circ$.

4Л. Поищите звездные величины использованных зенитных звезд в Каталоге ярких звезд или Астрономическом Ежегоднике. Низкие звезды окажутся слабее, чем указано в каталоге. Обозначим различие блеска через $\Delta m = m - m'$, где m' — звездная величина зенитных звезд.

5Л. Вычислим теперь коэффициент экстинкции.

Для низкой звезды

$$\lg i = \lg i_0 - 0,434k \cdot \sec z,$$

$$2,5 \lg i = 2,5 \lg i_0 - 1,08k \cdot \sec z,$$

$$m = m_0 + 1,08 \sec z.$$

Для зенитной звезды

$$m' = m'_0 + 1,08k.$$

Составление таблицы

Звезда	h	$\cos h$	$\frac{1}{\cos h} = \sec z$	$m_{\text{наб.1}}$	$m_{\text{каталог}}$	Δm
z_1					—	
z_2					—	
A	—	—	—	—	—	—

Если обе звезды имеют одинаковый блеск, то $\Delta m = m'_0 - m_0 = 1,08 k (\sec z - 1)$. Нанесите на график Δm против $\sec z$ и по наблюдаемым точкам проведите наилучшим образом прямую линию. По наклону прямой определите k (сравните с рис. 48 в задаче Б2).

Б1. На сколько (в звездных величинах) ослаблен свет зенитной звезды земной атмосферой? (Очевидно, это можно определить по пересечению нашей прямой с осью Δm .)

ЛИТЕРАТУРА

Allen C. W., *Astrophysical Quantities*, London, 1963, p. 122. (Русский перевод 1-го изд.: К. У. Аллен, *Астрофизические величины*, ИЛ, М., 1960.)
 H a r d i e R. H., *Stars and Stellar Systems*, vol. II, *Astronomical Techniques*, ed. W. A. Hiltner, Univ. of Chicago Press, 1962, p. 184. (Русский перевод: *Методы астрономии*, под ред. В. А. Хилтнера, изд-во «Мир», М., 1967, стр. 157.)
 L u n d m a r k K., *Handbuch der Astrophysik*, vol. I, Berlin, 1932, S. 566.
 * М а р т ы н о в Д. Я., *Курс практической астрофизики*, 2-е изд., изд-во «Наука», 1967.

Б20(Л). СПЕКТРЫ ЗВЕЗД

Перед вами репродукции спектров, полученных на Мичиганской обсерватории. Тщательно изучите эти спектры. Ориентируйте их так, чтобы фиолетовый конец был слева, красный — справа. Если необходимо, используйте лупу. Луна имеет плоско-выпуклую линзу; поверните ее к себе выпуклой стороной и поднесите совсем близко к глазу.

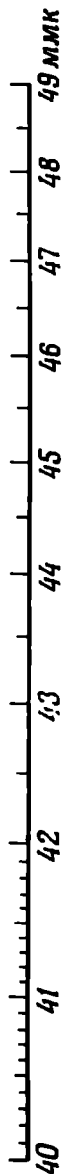
Выполнение задачи. 1. Рассмотрите увеличенный позитивный отпечаток спектрограммы, на котором видны темные фраунгоферовы линии. Почему спектр не простирается дальше вправо и влево? На рис. 59 помещен образец неравномерной шкалы, на которой отмечены длины волн. Приведите в соответствие спектр и шкалу.

2. Сравните спектр с фотографиями характерных спектральных классов, приведенных на рис. 59а—г, и предварительно определите спектральный класс. Грубо говоря, чем слабее фиолетовый конец, чем больше спектральных линий, тем более поздний спектральный класс. Сравните относительные интенсивности линий водорода, гелия, металлов и полос спектра. (Сопоставьте ваши результаты с таблицей определений интенсивностей линий в спектрах разных спектральных классов и разных классов светимости, приведенной в конце этой задачи.)

3. Теперь изучите детальное описание более позднего и более раннего спектральных классов, чем ваша звезда, и уточните вашу классификацию. Сравните интенсивности соседних линий с сильно отличающимися состояниями возбуждения и ионизации. Оцените интенсивность некоторых характерных линий в следующей шкале: 3 — сильная, 2 — довольно сильная, 1 — слабая, 0 — отсутствует. И наконец, решите, какого же спектрального класса эта звезда.

4. На пластинке, содержащей звезды существенно отличающихся спектральных классов, изучите некоторые из них.

5. Обычная спектральная классификация отражает в основном различие в поверхностной температуре звезд. Примерно в 1943 г. Морган, Кинан и Келман ввели еще один параметр — *светимость*, который отражает различие плотностей звездных атмосфер (или гравитационных потенциалов). Оказалось возможным путем исследования отношений интенсивности некоторых линий различать звезды разных классов светимости в пределах одного спектрального класса или подкласса. Классы светимости обозначаются римскими цифрами



Ia, Ib, II, ..., V, причем I соответствует сверхгигантам, а V — карликам*.

Попробуйте применить эти критерии к некоторым спектрам. Исследуйте спектр ϵ Ori, в котором признаки класса светимости проявляются особенно четко. Используйте линии $\lambda\lambda$ 4089 (Si IV), 4009 (HeI), 4144 (HeI).

Ia	III	V
4009 < 4089	4009 = 4089	4009 > 4089
4072 < 4089	4072 = 4089	4072 > 4089
4144 < 4119	4144 = 4119	4144 > 4119

В спектре δ Gem сравним λ 4172 с λ 4226 (резонансная линия a1):

Ia	III	V
4172 > 4226	4172 = 4226	4172 < 4226

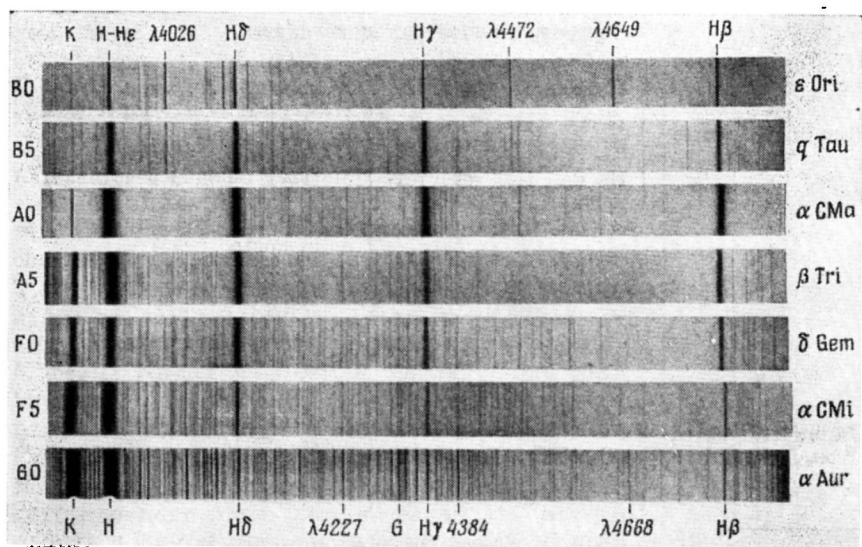
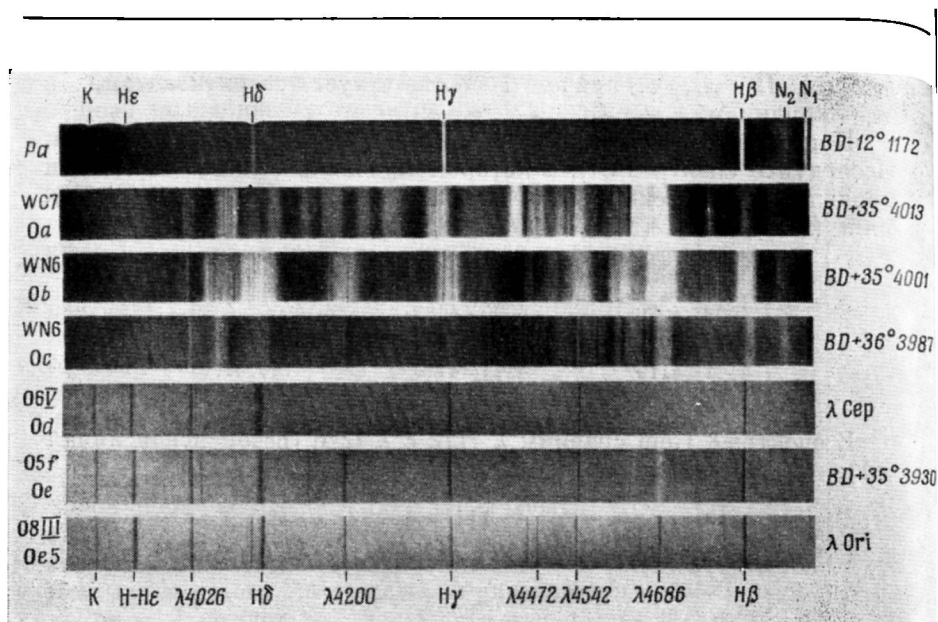
(6.) Поучительно изучить спектры с низкой дисперсией, полученные с объективной призмой (рис. 59 д), или, напротив, спектры с большой дисперсией, полученные в фокусе кудэ.

Таблица

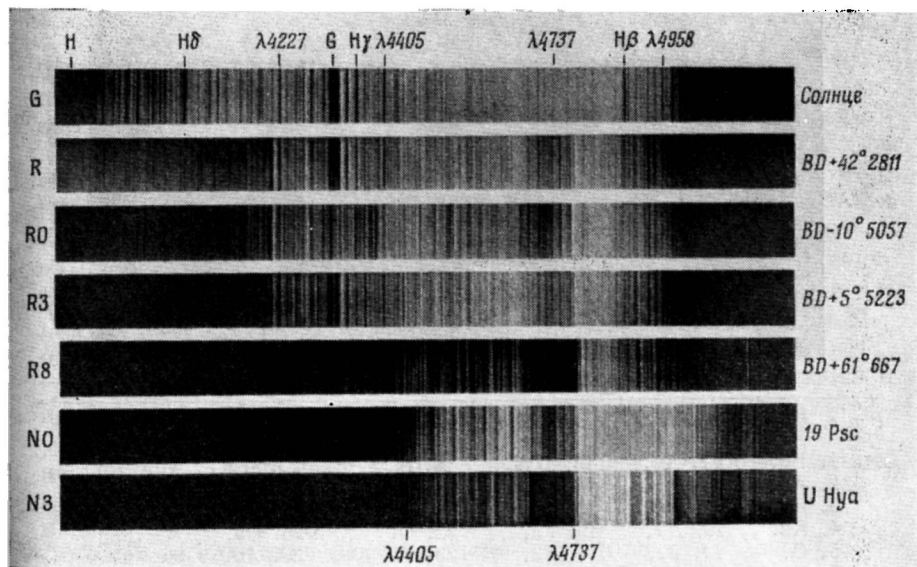
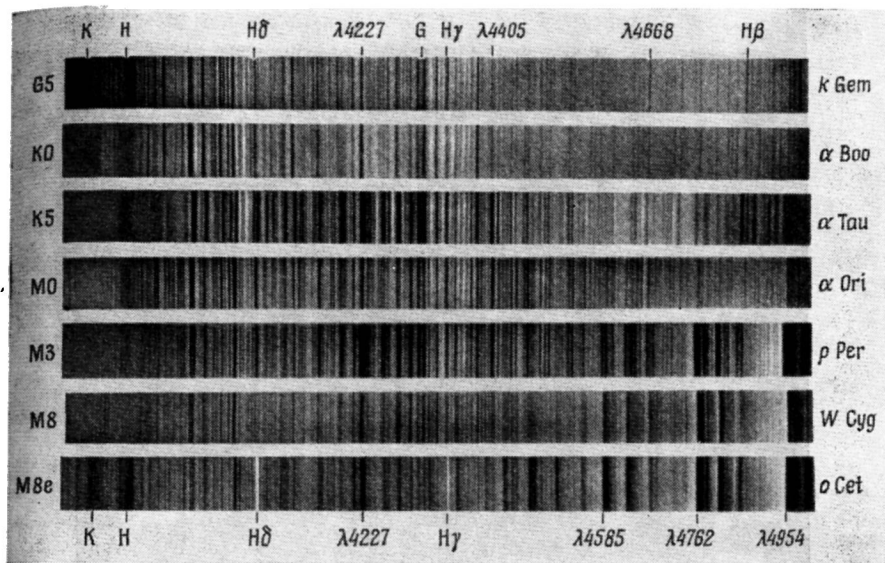
Определение спектрального класса

Линии H самые сильные	$\left\{ \begin{array}{l} \text{He или He}^+ \text{ видны} \\ \text{He или He}^+ \text{ отсутствуют} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{He} + \text{Ca II } 3969 \gg \text{Ca II } 3934 \\ (\text{Ca } 4226 \text{ почти невидима,} \\ \text{G } 4310 \text{ отсутствует,} \\ \text{MgII } 4481 \text{ видна отчетливо)} \end{array} \right.$	B
		$\left\{ \begin{array}{l} \lambda\lambda 3969 \text{ и } 3934 \text{ примерно} \\ \text{одинаковы} \\ (\text{Ca } 4226 \text{ слабая,} \\ \text{G } 4310 \text{ выделяется)} \end{array} \right.$	F
			A
Линии H не самые сильные	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ca } 4226 \text{ того же порядка, что H}\gamma \text{ и H}\beta \\ \text{Ca } 4226 > \text{H}\gamma \text{ и H}\beta \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Слабые молекулярные} \\ \text{полосы} \end{array} \right.$	G
		$\left\{ \begin{array}{l} \text{Отчетливые молекулярные} \\ \text{полосы (4582, 4762)} \end{array} \right.$	M
			K

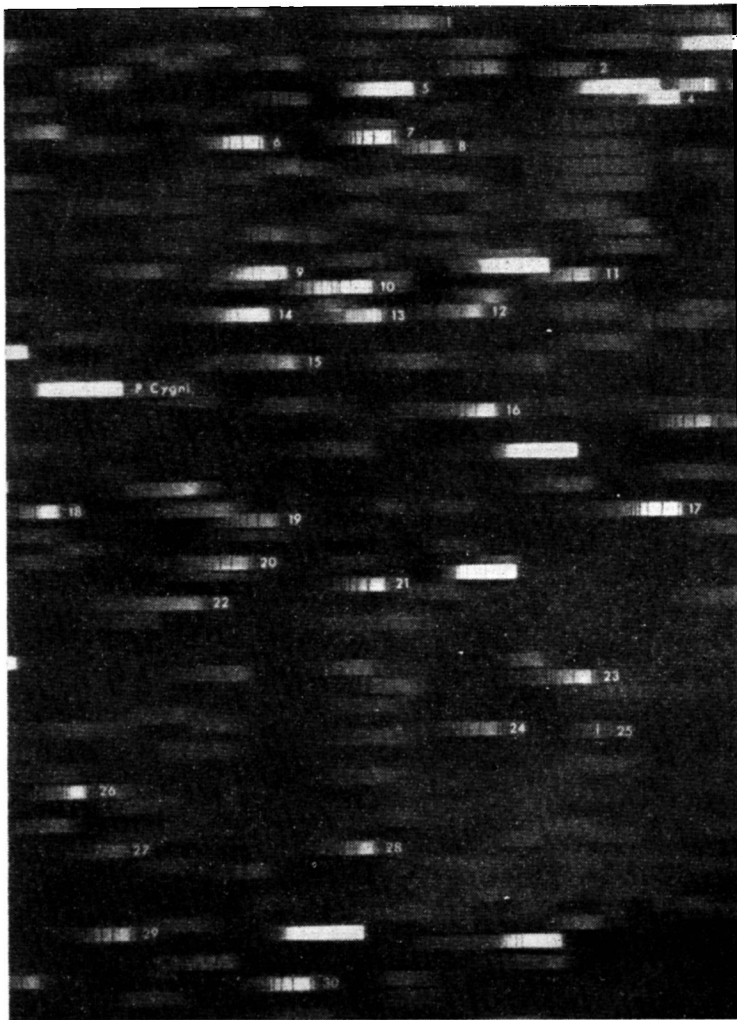
* Некоторые авторы употребляют еще цифру VI для обозначения субкарликов и VII — белых карликов различных спектральных классов. — Прим. ред.



Р и с. 59 а—г. Спектры, иллюстрирующие Гарвардскую спектральную классифика-



Чжоу (Publ. of Michigan Obs., IV, 1924). Pa — спектр планетарной туманности.



Р и с. 59 д. Снимок с объективной призмой:

- | | | | | |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1. B0, | 7. A0, | 13. WN, | 19. A2, | 25. WN, |
| 2. A0, | 8. A0, | 14. B0, | 20. B8, | 26. K0, |
| 3. WC, | 9. B0, | 15. F2, | 21. A5, | 27. G5, |
| 4. K2, | 10. A7, | 16. F5, | 22. O, | 28. G5, |
| 5. O, | 11. F2, | 17. F2, | 23. F0, | 29. A0, |
| 6. F2, | 12. G8, | 18. K0, | 24. A5, | 30. A0. |

[O. Gingerich, *Sky and Telescope*, 40, № 2 (1970).]

Характерные линии некоторых элементов

	H	HeI	HeII	CaI	CaII	MgII
η	3835	4026	3924	4226	3934	4481
ξ	3889	4472	4026		3969	
ϵ	3970		4200			
δ	4102		4542			
γ	4340		4686			
β	4861					

ЛИТЕРАТУРА

The Henry Draper Catalogue, Harvard Annals, 91—99, 1918—1924, особенно 91, pp. 5—11.

Детальное описание спектральных классов дается во многих книгах, например:

Stratton F. J. M., *Astronomical Physics*, London, 1924 p. 110;

Curtis H., *Handbuch der Astrophysik*, V¹, Berlin, 1932, S. 44;

Trans. Intern. Astron. Union, vol. V, 1935, p. 181; Landolt-Börnstein, p. 285.

Детальное описание спектральных классов и классов светимости можно найти в чрезвычайно ценном издании: Morgan, Keenan, Kellman, *Atlas of Stellar Spectra*, Chicago, 1943. Его использование облегчается при сопоставлении со статьей Ch. Fehrenbach, *Handbuch der Physik*, 50, 1958, p. 44, где сразу видно, какие линии следует сравнивать, но репродукции в этом издании, к сожалению, неудовлетворительны.

* Курс астрофизики и звездной астрономии, ред. А. А. Михайлов, Гостехиздат, т. I, 1951.

Что приготовить для выполнения задачи. Репродукции из работы Rufus, Publ. Michigan, 1924, p. 258—259, по которым устанавливаются признаки спектрального класса (рис. 59а—г). Описание гарвардских (спектральных) классов (см. Куликовск и й П. Г., *Справочник любителя астрономии*, 4-е изд., изд-во «Наука», 1971, стр. 123). Несколько репродукций из атласа Моргана, Кинана, Келмана и соответствующие иллюстрации из статьи Ференбаха. Несколько репродукций спектров, полученных с объективной призмой; см. Gingrich O., *Sky and Telescope*, 28, 80 (1964). Репродукции спектров с большой дисперсией (1 м.м./Å), полученных в фокусе куда на обсерватории Маунт Вилсон и Маунт Паломар, изданы в Калифорнийском технологическом институте (Pasadena, № 304); серия из 15 снимков включает также и несколько примеров различия между гигантами и карликами.

Контактные отпечатки должны давать такие же достоверные, не усиленные и не ослабленные спектры звезд, как изготовленные в Йеркской обсерватории. Для них будут необходимы станок с подсветкой (стр. 22) и лупа.

Укажем еще одно недавнее ценное издание: *An Atlas of Low-Dispersion Grating Stellar Spectra*, Kitt Peak National Observatory, Tucson, Arizona, 1968.

Б21(Л). ЦВЕТА ЗВЕЗД

Введение. В задаче Б15 мы уже обратили внимание на различие цветов звезд. В научных исследованиях цвета изучаются количественно при помощи фотографии (или путем фотоэлектрических измерений). В зависимости от того, какие пластинки мы используем: синие или ортохроматические (очувствленные к желтой области спектра) с желтым фильтром, мы получаем *фотографические* или *фотовизуальные* звездные величины. Их эффективные длины волн приблизительно λ_{4400} Å и λ_{5450} Å соответственно. Чем выше температура звезд, тем больше отношение i_{4400}/i_{5450} и меньше показатель цвета $c = m_{pg} - m_{pv}$. Следовательно, показатель цвета является мерой «желтизны» звезды и ее температуры. Мы будем изучать фотографии двойных, компоненты которых имеют очень различные температуры. Если перед объективом установить *объективную решетку*, дающую по два дифракционных изображения по обе стороны от центрального изображения каждой звезды, то эти изображения будут примерно на $1^m,0$ слабее главного. Путем небольших сдвигов пластинок можно получить ряд последовательных экспозиций. (О дифракционной решетке см. задачу А19, п. 12.)

Выполнение задачи. 1. Сначала бегло сравните фотографическую и фотовизуальную пластинки, используя лупу и отмечая сильные различия. С фотографическими пластинками обращайтесь осторожно! Не касайтесь поверхности, держите пластинки за края. Когда слой желатины повернут к вам, вы видите прямое изображение неба*.

2. Оцените разность звездных величин обоих компонентов на фотографической и на фотовизуальной пластинках. При этом опирайтесь на интервал звездных величин, данный объективной решеткой; сравните центральное изображение слабой звезды с первым дифракционным изображением более яркой звезды. Не спутайте знак разности звездных величин! Запомните, что чем больше m , тем слабее звезда.

Составьте список спектральных классов звезд в том же порядке, в каком оценивали звездные величины. Пусть каждый студент получит независимую оценку. Сравните результаты и об average среднее.

3. Теперь можно определить разность показателей цвета двух звезд, ибо

$$(m_{pg} - m'_{pg}) - (m_{pv} - m'_{pv}) = (m_{pg} - m_{pv}) - (m'_{pg} - m'_{pv}) = c - c'.$$

Вычислите ее для всех имеющихся пластинок.

* Прямое изображение звездного неба на снимке, сделанном с астрографом, получится при разглядывании сквозь стекло. Снимки с рефлекторами приходится рассматривать со стороны слоя. — *Прим. ред.*

4. Мы знаем спектральные классы звезд, сфотографированных на пластинке. В порядке убывания температуры это

B0, B1, ..., A0, A1, ..., F0, F1, ..., G0, G1, ...,
K0, K1, ..., M0, M1,

Посмотрим, как показатель цвета зависит от температуры. Отложите по оси абсцисс спектральный класс, а по оси ординат показатель цвета. Помните, что по соглашению для звезд A0 показатель цвета принят равным нулю, поэтому сначала нанесите показатель цвета для пары A0 — G7. Для других двойных вы знаете только разности показателей цвета; нанесите каждое из значений для этих пар так, чтобы кривая прошла плавно через все наблюдаемые точки.

(5.) Чтобы понять сущность этого графика, мы заменим спектральные классы на соответствующие температуры T или лучше на $1/T$ (табл. I в задаче Б24). Если бы звезды излучали как абсолютно черные тела, а фильтры были монохроматическими, то из элементарной теории следует, что показатели цвета можно было бы представить в виде $c = a + b(1/T)$. Проверьте, насколько это справедливо.

Составление таблицы

Звезда	$m'_{pg} - m_{pg}$	$m'_{pv} - m_{pv}$	$c - c'$	Спектр
⋮	⋮	⋮		⋮
⋮	⋮	⋮		⋮

ЛИТЕРАТУРА

Allen C. W., *Astrophysical Quantities*, London, 1963, p. 201. (Русский перевод 1-го изд.: К. У. Аллен, *Астрофизические величины*, ИЛ, М., 1960, стр. 210.)
Johnson H. L., Morgan W. W., *Astrophys. J.*, 117, 350 (1953).
Landolt-Börnstein, p. 298.

Что приготовить для выполнения задачи. Фотографии 7 двойных звезд, полученные с дифракционной решеткой в синих лучах, в желтых лучах с фильтром. Позитивные контактные отпечатки фотографий распределяются между студентами. Затем студенты обмениваются материалами. Каждый отпечаток на стекле имеет размер 2×2 см.

Для каждой пары студентов: станок для (просматривания) стеклянных отпечатков, лупу, миллиметровую бумагу.

B22(Л). ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА *UBV*

Введение. Чтобы охарактеризовать цвет звезды одной величиной, использовали показатель цвета $m_{pg} - m_{pv}$. Этого было бы достаточно, если бы распределение энергии в спектре звезды соответствовало распределению энергии в спектре абсолютно черного тела. Однако наблюдения показывают значительные отклонения, вызванные наложением фраунгоферовых линий, влиянием межзвездного покраснения и различием химических составов звезд.

Форма кривой распределения энергии определяется лучше, если использовать два показателя. Джонсон и Морган после тщательного исследования ввели для этой цели широко используемую в настоящее время систему *UBV*. Фотоэлектрические измерения излучения звезд делаются с тремя фильтрами, эффективные длины волн которых приблизительно соответствуют $\lambda 3650 \text{ \AA}$ (*U*), $\lambda 4400 \text{ \AA}$ (*B*), $\lambda 5500 \text{ \AA}$ (*V* — визуальная). Данные измерений выражаются в звездных величинах, и в качестве характеристик данного спектра используются два показателя $m_U - m_B$, $m_B - m_V$, или проще $U - B$, $B - V$.

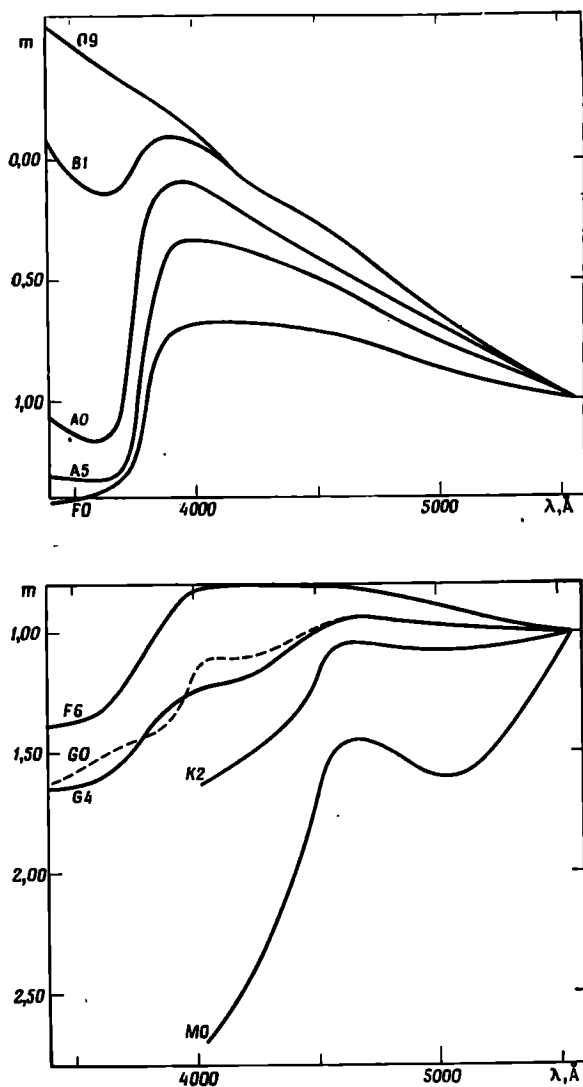
Цели, задачи и материал. Изучим, как изменяются показатели $U - B$, $B - V$ в зависимости от спектрального класса вдоль главной последовательности.

Используем материал (рис. 60), полученный путем фотоэлектрического сканирования, дающего интенсивность излучения звезды в функции длины волны. Спектр сканируется широкой щелью, поэтому нельзя измерить истинный непрерывный спектр, не искаженный влиянием фраунгоферовых линий. Интенсивность измеряется на единицу интервала длин волн $\Delta\lambda$ и, как обычно, выражается в звездных величинах. Возрастание звездной величины соответствует уменьшению интенсивности. Отберем звезды V класса светимости, но исключим из их числа звезды в галактических широтах между -10° и $+10^\circ$, где велико межзвездное покраснение.

Рассмотрены следующие звезды:

10 Lac O9 V	π^3 Ori F6 V
γ UMa B3 V	λ Ser G0 V
α Lyr A0 V	51 Peg G4 V
β Ari A5 V	ϵ Eri K2
ρ Gem F0 V	HD 202 560 M0

Выполнение задачи. 1. Сравните кривые распределения энергии в спектрах непокрашенных звезд (рис. 60) с кривыми для аб-



Р и с. 60. Кривые透射ности — длина волны для непокрасневших звезд главной последовательности [по C o d e A. D., *Stars and Stellar Systems*, vol. VI, 1960, p. 83. (Русский перевод: *Звездные атмосферы*, ред. Дж. Л. Гринстейн, ИЛ, М., 1963, стр. 67.) M e l b o u r n e W. G., *Astrophys. J.*, 132, 101 (1960), дополнено по Willstrop R. V., *Mem. Roy. Astron. Soc.*, 69, 83 (1965)].

солютно черного тела и обратите внимание на большие расхождения, причину которых легко понять.

2. Допустим теперь, что фотоэлектрические измерения этих звезд сделаны с фильтрами с эффективными длинами волн примерно 3650, 4400, 5400Å. Конечно, фильтр пропускает излучение в пределах некоторой полосы, так что результат нужно вычислять путем интегрирования. Чтобы сэкономить время, предположим, что каждый фильтр строго монохроматичен. Найдите величины U , B , V для каждого спектра. Экстраполируйте в случае необходимости.

3. Вычислите для каждой звезды показатели $U - B$, $B - V$.

4. Приведите их к значениям $U - B = 0$, $B - V = 0$ для звезд A0 V. (Подумайте, почему к системе показателей цвета всегда можно прибавить постоянное число.)

5. Нанесите показатели цвета на диаграмму и проведите через эти точки сглаженную кривую. Пусть, как обычно, показатели цвета возрастают вниз и направо.

6. Сравните с аналогичными кривыми из опубликованных работ и объясните, почему существуют некоторые различия.

(7.) Нанесите на график показатели $U - B$, $B - V$ для звезд одного и того же спектрального класса, например B0,5 V, свет от которых в различной степени подвергся покраснению при прохождении сквозь облака межзвездного вещества.

Подходящий материал можно найти в Каталоге ярких звезд (3-е изд.), созвездия Лебедя, Стрельца, Единорога; в каталоге Хилтнера [Astrophys. J. Suppl., II, 389 (1956)]; в 4-м издании «Справочника любителя астрономии» П. Г. Куликовского. Нанесите кривую межзвездного покраснения.

ЛИТЕРАТУРА

Johnson H. L., Stars and Stellar Systems, Vol. III, 1963, p. 204.

Johnson H. L., Morgan W. W., Astrophys. J., 17, 313 (1953).

См. также данные для скоплений, задача Б33.

Johnson H. L., Ann. Astrophys., 18, 292 (1955).

* Мартынов Д. Я., Курс практической астрофизики, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1967.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: миллиметровую бумагу, измерительную шкалу, логарифмическую линейку, несколько копий Каталога ярких звезд и каталога Хилтнера.

Замечание. Другая серия данных о сглаженном распределении энергии в спектре звезд находится в справочнике Ландольта-Бернштейна (стр. 388, исправленные данные Ламла).

Б23(Л). МЕЖЗВЕЗДНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ

Задача. Многие данные наблюдений стали понятными лишь после того, как астрономы осознали, что в межзвездном пространстве существуют огромные облака газа и пыли, которые вызывают ослабление и покраснение света далеких звезд. Чтобы учесть этот эффект, мы должны определить, как зависит поглощение от длины волны. Наши результаты также дадут возможность уяснить природу межзвездной пыли.

Выберем две звезды одного спектрального класса, причем одна из звезд пусть испытает большее покраснение, чем другая*.

Сравнивая интенсивность непрерывного спектра в ряде точек, найдем зависимость поглощения от длины волны. Наиболее подходящими для этой цели являются звезды классов О и В, спектры которых бедны спектральными линиями. Пусть спектр одной из звезд ослаблен межзвездным поглощением, и вместо интенсивности i_0 на длине волны λ мы наблюдаем $i_\lambda = i_{0\lambda} \cdot 10^{-A}$. Таким образом**,

$$\lg i = \lg i_0 - A = \lg i_0 - \kappa_\lambda M,$$

где κ_λ — коэффициент поглощения на грамм межзвездного вещества, M — полная масса межзвездного вещества на луче зрения.

Для другой звезды мы аналогично имеем

$$\lg i' = \lg i'_0 - A' = \lg i'_0 - \kappa_\lambda M'.$$

Отношение интенсивностей дается выражением

$$\lg i' - \lg i = \lg i'_0 - \lg i_0 + \kappa_\lambda (M - M') = C + \kappa_\lambda (M - M').$$

Итак, с точностью до постоянных C и $(M - M')$ мы нашли закон поглощения $\kappa(\lambda)$.

Выполнение задачи. Путем очень тщательных спектральных исследований Диван нашла несколько пар звезд точно одного и того же спектрального класса и класса светимости, но с сильно отличающимся покраснением. Отберем из них две пары и выпишем значения $\lg i' - \lg i$, найденные Диван для ряда длин волн (табл. I). Таким образом, мы имеем два определения $\kappa(\lambda)$ с точностью до постоянных.

* При небольшом различии спектров можно ввести поправку.

** В последующих формулах i , i_0 , i' , i'_0 относятся к монохроматическому излучению и являются функцией длины волны λ ; при этом λ одно и то же во всех уравнениях.

Таблица 1

По Диван

$\lambda, \mu\text{к}$	$1/\lambda$	$\lg i' - \lg i$	
0,313	3,20	+0,642	+0,345
0,322	3,11	+0,571	+0,298
0,333	3,00	+0,499	+0,245
0,365	2,74	+0,374	+0,105
0,402	2,49	+0,204	-0,018
0,443	2,26	+0,054	-0,142
0,488	2,05	-0,076	-0,257
0,562	1,76	-0,343	-0,428
0,611	1,64	-0,428	-0,552

{ HD 188 209 S Mon
 { HD 195 592 HD 205 196

Таблица 11

По Уитфурду

$\lambda, \text{Å}$	$1/\lambda$	$\lg i' - \lg i$
3200	3,12	+0,550*
3530	2,83	+0,502*
4220	2,37	+0,400
4880	2,05	+0,324
5700	1,75	+0,256
7190	1,39	+0,140
10300	0,97	+0,000
20800	0,48	-0,056

* Исправлено согласно данным Диван.

1. Проверим, совпадают ли две функции $\chi(\lambda)$. Нанесите на график $(\lg i' - \lg i)_1$ в зависимости от $(\lg i' - \lg i)_2$.

2. Какова зависимость между этими двумя величинами? Если зависимость линейная, то это означает линейное соотношение между величинами $C_1 + \chi(\lambda) (M - M')_1$ и $C_2 + \chi(\lambda) (M - M')_2$. К какому вы пришли заключению о χ_{λ_1} , χ_{λ_2} и об отношении

$(M - M')_1 / (M - M')_2$. Найдите наилучшее значение этого отношения.

3. Чтобы объединить результаты по обоим парам звезд, нанесите $(\lg i' - \lg i)_1$ и $(\lg i' - \lg i)_2 (M - M')_1 / (M - M')_2$ в зависимости от $1/\lambda$. (Мы берем в качестве абсциссы $1/\lambda$ потому, что тогда зависимость будет ближе к линейной.) Если обе функции $\kappa(1/\lambda)$ одинаковы, то оба графика можно объединить перемещением их вдоль оси ординат. Возьмите среднее и найдите $\kappa(1/\lambda)$ с точностью до неизвестного коэффициента пропорциональности и неизвестной постоянной.

4. Попытаемся избавиться от неизвестной постоянной. Это можно сделать, если продолжить нашу кривую до $\lambda \rightarrow \infty$ или до $(1/\lambda) \rightarrow 0$, где, очевидно, поглощение исчезает. Используем фотозлектрические наблюдения Уитфорда [Astrophys. J., 107, 48 (1948)], который сравнивал ϵ Per с ϕ Per в области спектра от 3200 до 21 000 Å. Сравните его результаты со своими графиками, полученными в п. 3. Найдите функцию $\kappa(1/\lambda)$ и проэкстраполируйте до $\lambda \rightarrow \infty$. (Для этой экстраполяции можно воспользоваться законом Рэлея $(1/\lambda)^4$, который применим в области наибольших длин волн.)

5. Теперь, после того как постоянная (или нуль-пункт) определена, можно заново нанести шкалу графика $\kappa(1/\lambda)$. Многие астрономы считают, что в фотографической и визуальной областях κ пропорционально $1/\lambda$. Подтверждается ли это?

6. Теперь нетрудно найти очень важное соотношение между общим поглощением в визуальной области A_V и *избытком цвета* E_{B-V} . Найдите A_V / E_{B-V} по своей кривой, причем длины волн $\lambda\lambda$ 4350 и 5430 Å наиболее характерны.

7. Покажем, как используется эта величина. Рассмотрим звезду № 229 из каталога Хилтнера. Спектральный класс B1a, $B - V = +1^m,20$, $U - B = -0^m,01$, $m = 4,23$. Для подобных, не обнаруживающих покраснения звезд $(B - V)_0 = -0^m,26$, светимость $M = -6^m,5$. M , m , A относятся к видимой области. Вычислите модуль расстояния без учета межзвездного поглощения. Затем учтите этот эффект, вычислите E_{B-V} , A , $m - A$ и исправьте модуль расстояния. Эта звезда имеет галактическую широту $b = -0^\circ,1$.

Замечание. В этом упражнении мы приняли, что поглощение в межзвездном пространстве одинаково зависит от длины волны во всех направлениях. В общем это правильно, но бывают и исключения.

ЛИТЕРАТУРА

- Shapley S., Stars and Stellar Systems, vol. III, 1963, p. 225.
Hiltner W. A., Astrophys. J., Suppl. II, 389 (1956).

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: миллиметровую бумагу, логарифмическую линейку.

Много дополнительных данных можно найти в работе D i v a n, Ann. Astrophys., 17, 456 (1954).

Б24(Л). БЛИЖАЙШИЕ ЗВЕЗДЫ

Задача. Для выполнения задачи мы приводим список примерно 40 звезд с наибольшими параллаксами, для которых измерены некоторые параметры (табл. II). По этим хорошо известным звездам мы определим некоторые другие характеристики и затем исследуем всю совокупность (звезд). Каждая пара студентов обрабатывает 5 звезд, а затем все результаты объединяются.

Выполнение задачи. 1. Вычислите для каждой звезды расстояние $D = 1/p$ в парсеках, где p , как обычно, выражается в секундах дуги.

2. Посмотрите по табл. II, в какой степени видимые звездные величины являются мерой расстояний до звезд.

3. Для каждой звезды вычислите абсолютную величину по формуле

$$M = m + 5 + 5 \lg p.$$

4. Для наших дальнейших вычислений необходимо сначала привести абсолютные визуальные звездные величины M_V к *болометрическим звездным величинам*, которые дают представление о полном излучении звезд. Необходимая болометрическая поправка (BC) приводится ниже в табл. I. (Постарайтесь разобраться, почему поправка таким сложным образом зависит от температуры.) Итак, вычислите

$$M_{\text{bol}} = M_V - (M_V - M_{\text{bol}}) = M_V - BC.$$

5. Напишите около каждого спектрального класса соответствующую эффективную температуру T_e (см. табл. I). Затем вычислите диаметры этих звезд, выразив их в солнечных диаметрах. Используйте для этого выражения

$$I_{\text{bol}} = C \cdot 4\pi R^2 \sigma T_e^4 \quad \text{и} \quad \left(\frac{I}{R}\right)_{\text{bol}} = \left(\frac{R}{R_{\odot}}\right)^2 \left(\frac{T_e}{T_{e\odot}}\right)^4.$$

При вычислениях пользуйтесь таблицами логарифмов или арифмометром.

6. Постройте диаграмму Герцшпрунга — Рессела (H — R) для этих 40 ближайших звезд. По оси абсцисс откладываете не спектральные классы, а $\lg T_e$ (табл. II). Сильно ли ваша диаграмма

отличается от привычных очертаний диаграмм Н — R, которые можно найти в учебнике? Обратите внимание на некоторые поразительные свойства этой группы звезд. Как распределяются на диаграмме диаметры? Можете ли вы провести линию равных диаметров?

(7.) Каково (приблизленно) среднее расстояние между соседними звездами? Сколько процентов составляют члены двойных или кратных систем? Сколько процентов белых карликов?

(8.) Постройте функцию светимости $\varphi(M)$ для этих звезд. Для этого подсчитайте число звезд в пределах $M_V - \frac{1}{2}$ и $M_V + \frac{1}{2}$ и по нему определите число звезд в кубическом парсеке. Сравните ваш результат с данными, приведенными в книгах.

Составление таблицы

№ звезды	$D=1/\rho$, пс	M_V	BC	M_{bol}	T_e	$10 \lg T_e$	$M+10 \lg T_e$	$\frac{M+10 \lg T_e}{5}$	$\lg \frac{R}{R_\odot}$	R
...

Таблица 1

Болометрическая поправка и температура звезд V класса светимости
(C. W. Allen, Astrophysical Quantities, 2nd ed., 1963, p. 201)

Спектральный класс	BC	T_e , °K
O5	4,6	35 000
B0	3,0	21 000
B5	1,6	13 500
A0	0,68	9 700
A5	0,30	8 100
F0	0,10	7 200
F5	0,00	6 500
G0	0,03	6 000
G5	0,10	5 400
K0	0,20	4 700
K5	0,58	4 000
M0	1,20	3 300
M5	2,1	2 600

Ближайшие звезды
(Gliese W., Landolt-Börnstein, VI, Bd. I, 598, 1963)

№	Название	$\alpha_{1950.0}$	$\delta_{1950.0}$	ρ''	п."/год	θ°	$v_r \cdot \text{км/час}$	m_D	Спектральный класс
1	Солнце								
2 ^a	Proxima Cen	14 ^h 26 ^m ,3	-62°28'	0",762	3",85	282°	-25	-26 ^m ,73	G2 V
	α Cen A	14 36 ,2	-60 38	0 ,751	3 ,68	281		10 ,68	M5c
	α Cen B							0 ,02	G2 V
3 ^a	Звезда Барнарда	17 55 ,4	+ 4 33	0 ,545	10 ,34	356	-21	1 ,35	K5 V
4 ^a	Wolf 359	10 54 ,1	+ 7 19	0 ,427	4 ,71	235	-108	9 ,54	M5 V
5 ^a	BD + 36° 2147	11 00 ,6	+36 18	0 ,396	4 ,78	187	+ 13	13 ,66	dM6e
6	α CMa A	6 42 ,9	-16 39	0 ,375	1 ,32	204	-86	7 ,47	M2 V
4	α CMa B							- 1 ,47	A1 V
7	L 726-8A	1 36 ,4	-18 13	0 ,371	3 ,36	80	+ 29	8 ,67	DA
6	L 726-8B(UV Cet)							12 ,45	dM6e
8 ^a	Ross 154	18 46 ,7	-23 53	0 ,340	0 ,72	104	- 4	12 ,95	dM6e
9	Ross 248	23 39 ,4	+43 55	0 ,316	1 ,60	176	- 81	10 ,6	dM4e
10	ϵ Eri	3 30 ,6	- 9 38	0 ,303	0 ,98	271	+ 45	12 ,24	dM6e
11	Ross 128	11 45 ,1	+ 1 06	0 ,298	1 ,40	153	- 13	3 ,73	K2 V
12	L 789-6	22 35 ,8	-15 36	0 ,298	3 ,25	45	- 60	11 ,13	dM5
13 ^a	61 Cyg A	21 04 ,7	+38 30	0 ,292	5 ,22	52	- 64	12 ,58	dM6c
	61 Cyg B							5 ,19	K5 V
14	α CMi A	7 36 ,7	+ 5 21	0 ,287	1 ,25	214	- 64	6 ,02	K7 V
4	α CMi B							0 ,34	F5 IV-V
15	ϵ Ind	21 59 ,6	-57 00	0 ,285	4 ,69	123	- 40	10 ,7	DF
								4 ,73	K5 V

II родоженние

№	Название	$\alpha_{1950,0}$	$\delta_{1950,0}$	ρ''	$\mu'',$ /год	θ°	$v_r \cdot \text{км/сек}$	m_V	Спектральный класс
16 ¹	BD + 4 3°44A BD + 4 3°44B	0 ^h 15 ^m ,5	+43°44'	0",278	2",90	82°	+14	8 ^m ,07	M1 V
17	BD + 59°1915A BD + 59°1915B	18 42 ,2	+59 33	0 ,278	2 ,29	325	+21	11 ,04	M6 V
18	τ Cet	1 41 ,7	-16 12	0 ,275	1 ,92	297	+14	8 ,90	dM4
19	CD-36°15693	23 02 ,6	-36 09	0 ,273	6 ,90	79	+16	9 ,69	dM5
20	CD + 5°1668	7 24 ,7	+5 23	0 ,266	3 ,73	171	+10	3 ,50	G8 Vp
21	CD - 39°14192	21 14 ,3	-39 04	0 ,255	3 ,47	251	+26	7 ,39	M2 V
22 ^a	CD - 45°1841	5 09 ,7	-45 00	0 ,251	8 ,72	131	+21	9 ,82	dM4
23 ^a	Krüger 60 A Krüger 60 B	22 26 ,2	+57 27	0 ,249	0 ,87	245	+242	6 ,72	M0 V
24	(DO Cep) Ross 614 A Ross 614 B	6 26 ,8	-2 46	0 ,248	1 ,00	131	-24	8 ,8	sdM0
25 ¹	BD - 12°4523	16 27 ,5	-12 32	0 ,244	1 ,18	183	+28	9 ,82	M4 V
26 ¹	Звезда ван Ма- анена	0 46 ,5	+5 09	0 ,236	2 ,98	155	-28	11 ,4	M6 Ve
27	Wolf 424 A Wolf 424 B	12 30 ,9	+9 18	0 ,228	1 ,78	280	+24	11 ,2	dM4e
28	BD + 50°1725	10 08 ,3	+49 42	0 ,222	1 ,45	249	-13	14 ,8	(M)
29	CD - 37°15492	0 02 ,5	-37 36	0 ,219	6 ,11	112	?	10 ,13	dM4
30 ¹	BD + 20°2465 (AD Leo)	10 16 ,9	+20 07	0 ,213	0 ,49	264	-5	12 ,36	DG
								12 ,7	dM7e
								12 ,7	dM7e
								6 ,59	dM0
								8 ,59	dM3
								9 ,43	M4,5 Ve

Продолжение

№	Название	$\alpha_{1950.0}$	$\delta_{1950.0}$	ρ''	$\mu''/\text{год}$	θ°	v_r , км/час	m_b	Спектральный класс
31	CD - 46°11540	17 ^h 24 ^m ,9	-46°51'	0,213	1,06	147		9 ^m ,34	M4
32	CD - 44°11909	21 30 ,2	-44 17	0,209	1,15	217		11 ,2	M5
33	CD - 49°13515	17 33 ,5	-49 13	0,209	0,81	184	+ 18	8 ,9	M3
34	BD - 15°6290	22 50 ,6	-14 31	0",206	1",12	124°	+ 9	10 ,17	dM5
35	BD + 68°946	17 36 ,7	+68 23	0,205	1,31	196	- 17	9 ,15	M3,5 V
36 ⁴	L 145 - 141	11 43 ,0	-64 34	0,203	2,68	97		11 ,47	DC
37	σ^3 Eri A	4 13 ,0	- 7 44	0,202	4,08	213	- 42	4 ,48	K1 V
4	σ^3 Eri B						- 42	9 ,50	DA
	σ^3 Eri C						- 45	11 ,1	dM4e
38	BD + 15°2620	13 43 ,2	+15 10	0,202	2,30	129	+ 15	8 ,47	M4 V
39	α Aql	19 48 ,3	+ 8 44	0,198	0,66	54	- 26	0 ,78	A7 IV, V
40 ⁵	BD + 43°4305 (EV Lac)	22 44 ,7	+44 05	0,197	0,83	237	- 2	10 ,05	dM5e
5	AC + 79°3888	11 44 ,6	+78 58	0,196	0,87	57	-119	10 ,9	sdM4

⁵ Полюсовый угол вектора собственного движения.

- ¹ Спектральная двойная.
- ² Белый спутник, названный по приращению.
- ³ Вероятно, входящий ближайший спутник.
- ⁴ Белый карлик.
- ⁵ Субкарлик.
- ⁶ Вспыхивающая звезда.

ЛИТЕРАТУРА

- Jenkins L. F., General Catalogue of Trigonometric Parallaxes, (with Supplement 1963), New Haven, 1952.
 См. номограммы в книге Landolt-Börnstein, VI, Bd. 1, 1965, S. 282—283 и последняя страница суперобложки.
- Struve O., Stellar Evolution, Princeton, 1950, p. 33. (Русский перевод: Струве О., Эволюция звезд, ИЛ, М., 1954.)
- * Куликовский П. Г., Справочник любителя астрономии, 4-е изд., изд-во «Наука», М., 1971.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: миллиметровую бумагу, таблицы логарифмов,

Б25(Л). ДВИЖЕНИЕ ГИАД

Задача. Это знаменитое скопление близ Альдебарана представляет особый интерес, потому что его звезды разбросаны на необычайно большой площади неба, и их собственные движения значительны и измерены очень точно. Кроме того, хорошо определены лучевые скорости ряда звезд.

Поскольку звезды скопления движутся в пространстве по параллельным траекториям, можно найти направление этого движения и отсюда — надежное расстояние до скопления.

Выполнение задачи. 1. На рис. 61 представлен график зависимости δ от $\alpha \cos \delta$ для главной части скопления. Компоненты собственного движения $\mu_\alpha \cos \delta$ и μ_δ показаны стрелками*. В какой точке векторы сходятся?

Желательно было бы нарисовать стрелки в большем масштабе, но это не поможет, так как разброс, вызванный ошибками измерений, весьма заметен. Выберите звезды, собственное движение которых достаточно характерно для группы ближайших к ним звезд, и продолжите их векторы влево. Эти линии сойдутся в некоторой ограниченной области, положение центра тяжести которой можно оценить. Определите координаты *радианта*.

При точных научных исследованиях необходимо иметь в виду, что мы должны проводить дуги на сфере, а не прямые линии на плоскости. А сам радиант определяется по методу наименьших квадратов.

Найдите в литературе координаты радианта и сравните со значением, полученным вами по методу наименьших квадратов. Для всех последующих вычислений используйте общепринятое положение радианта.

2. В таблице приведены необходимые данные для нескольких звезд скопления, определенные с очень маленькими вероятными ошибками. Выберите одну из звезд. Ее угловое расстояние θ до

* В масштабе, который соответствует собственным движениям за ~ 30 000 лет. — *Прим. ред.*

радианта можно приближенно определить по диаграмме. Однако при более точном рассмотрении мы должны принять во внимание, что имеем дело не с плоскостью, а с поверхностью сферы. Вычислите расстояние по основным формулам сферической тригонометрии (А3). Чтобы облегчить вычисления, расстояние θ приводится в таблице.

3. Для нескольких звезд по лучевой скорости вычислите пространственную скорость $V = V_r / \cos \theta$. Результаты сходны для всех звезд скопления; остаточные уклонения являются следствием лишь ошибок измерений. В настоящее время принимается среднее значение $V = 44,0$ км/сек.

4. Вычислите тангенциальную скорость $V \sin \theta$ для звезды, которую вы выбрали.

Таблица

Некоторые данные о звездах Гиад

№	$\alpha_{1950.0}$	$\delta_{1950.0}$	m_V	$15\mu_a \cos \delta$	μ_δ	μ	θ	V_r , км/сек
				0",001/год				
6	3h50m15s	17°10'47"	5,96	149±2	-28±2	151	37°,5	-31,6±0,6
14	4 08 40	5 23 40	5,71	152±2	+10±2	152	32,5	-35,8±2,6
33	4 17 46	14 58 38	5,27	112±2	-23±2	114	30,5	-36,1±0,8
74	4 25 55	17 10 35	8,2	106±5	-46±6	115	29,0	-40,5±1,4
104	4 35 22	12 24 44	4,30	103±3	-11±2	103	26,0	-44,4±2,1
112	4 43 15	11 36 57	5,43	74±4	- 4±3	74	24,0	-38,2±1,4
129	5 00 06	21 31 13	4,70	68±1	-42±1	79	23,5	-42,5±1,4
131	5 06 37	27 58 07	6,1	62±4	-70±3	94	26,5	-41,3±0,9

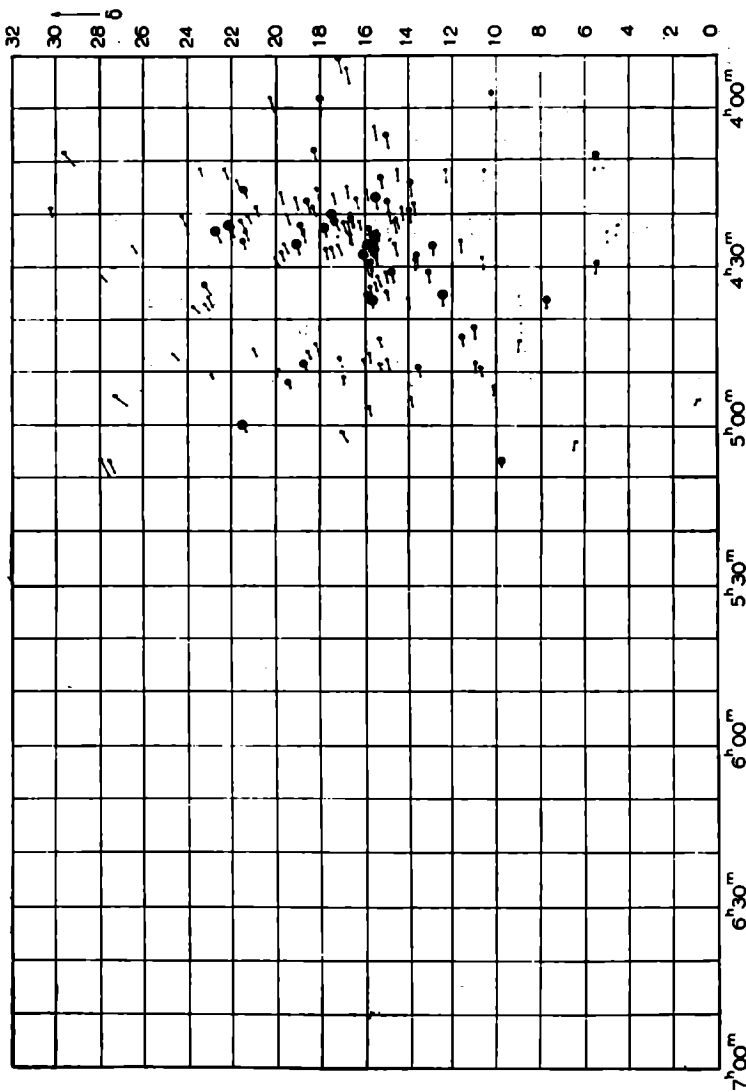
5. Для этой же звезды собственное движение в секундах дуги в год можно найти по формуле $\mu = \sqrt{(15\mu_a \cos \delta)^2 + \mu_\delta^2}$. Переведите μ в тангенциальную скорость по формуле $V_t = 4,74\mu/p$ км/сек, где p — параллакс в секундах дуги.

6. Приравняв результаты п. 4 и 5, вы получите

$$p = 4,74 \frac{\mu}{V \sin \theta}.$$

(7.) Повторив эти вычисления для нескольких звезд скопления, вы получите сходные результаты, по которым выводится среднее расстояние до скопления. Вычислите также средний модуль расстояния. Эти результаты имеют точность, вполне достаточную для того, чтобы обнаружить различия расстояний до отдельных звезд и оценить размер скопления вдоль луча зрения. Наиболее удалены от центра звезды № 14 и 112.

Вычислите расстояние до них. Сравните размер скопления по лучу зрения и поперек луча зрения.



Р и с. 61. Собственные движения Гиаф. Н. Ван Виеген, Bull. Astron. Inst. Neth., 11, 392 (1952).

ЛИТЕРАТУРА

- Smart W M., Stellar Kinematics, London, 1965, ch. 7.
 Van Bueren H., Bull. Astron. Inst. Neth., 11, 385 (1952).
 Wooley R., Stars and Stellar Systems, Vol. V, 1965, p. 95.
 * Паренаро П. П., Курс звездной астрономии, 3-е изд., Гостехиздат, 1954.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: логарифмическую линейку, линейку, таблицы тригонометрических функций.

B26(Л). СРЕДНЯЯ КРИВАЯ БЛЕСКА ЦЕФЕИДЫ

Материал. Классические ряды фотоэлектрических наблюдений получены Стеббинсом и его сотрудниками. При помощи соответствующих фильтров изменения блеска наблюдались в шести различных цветах. Мы изучим измерения η Aql, одной из первых открытых переменных звезд — прототипа цефеид с «горбом» на кривой блеска. Реальность подобных горбов была окончательно доказана фотоэлектрическими измерениями. Это требует некоторой осторожности при получении точной кривой блеска, но и делает задачу особенно интересной. Мы отобрали ультрафиолетовые измерения, соответствующие средней длине волны 3530 Å, потому что в этой области спектра амплитуда изменения блеска наибольшая. В следующей таблице приводится полный ряд наблюдений. Величина в скобках ненадежна, и при обработке ее надо отбросить. Дни считаются от юлианской эры, введенной в 1583 г. Скалигером. Это непрерывный счет дней, который начинается с полудня первого января 4712 г. до новой эры. Такое датирование очень удобно и обычно используется в исследованиях по переменным звездам. В Астрономическом Ежегоднике* имеются таблицы, показывающие, каким юлианским датам соответствуют даты нашего календаря.

Задача. 1. Используем сначала наблюдения, полученные с JD 2 433 070,947 по 2 433 225,704. Нанесите их на график в подходящем масштабе; пусть шкала звездных величин возрастает вниз, как принято. Необходимо нанести все данные. Хотя колебания блеска выявляются не очень отчетливо, видно, что они превосходят 1^m . Данные охватывают несколько циклов, но ряды наблюдений часто прерываются из-за облачной погоды, невозможности наблюдать днем и т. д. Однако, поскольку известно, что переменность подобных звезд носит почти строго периодичный характер, попытаемся объединить все наблюдения в *среднюю кривую* за один цикл. Это загадка, которая будет отгадываться шаг за шагом.

* И многих других изданиях, например в Постоянной части Астрономического календаря, в «Справочнике любителя астрономии» П. Г. Куликовского. — *Прим. ред.*

Таблица

Фотоэлектрические измерения η Aq1

JD 2 430 000+	U 3530 Å	JD 2 430 000+	U 3530 Å
1998,947	+1,07	3140,829	+0,52
1999,945	+0,28	3144,859	+0,40
2000,946	-0,42		
2001,936	-0,11	3151,823	+0,26
		3158,822	+0,22
2031,908	+0,16	3172,801	+0,22
2032,912	+0,60	3177,709	-0,34
2054,799	+0,74	3177,804	-0,39
2055,784	+1,00		
		3177,842	-0,41
		3179,685	+0,16
3070,947	-0,20	3192,690	-0,31
3074,916	+1,05	3192,756	-0,30
3076,914	-0,05	3193,679	+0,09
3082,841	+0,96		
3083,894	+0,09	3193,719	+0,10
		3200,689	+0,03
3084,880	-0,34	3200,722	+0,02
3090,869	+0,24	3206,684	-0,39
3098,859	-0,36	3206,718	-0,38
3104,876	+0,66		
3117,783	+1,02	3207,682	-0,07
		3217,644	+0,78
3123,741	+0,63	3221,644	-0,24
3123,871	+0,64	3225,640	+1,04
3131,791	+0,88	3225,704	(+1,02)

Выполнение задачи. 2. Сначала найдите несколько восходящих ветвей, по которым можно определить в первом, грубом приближении значение периода p_0 . Затем найдите несколько более далекую восходящую ветвь; поскольку расстояние между двумя восходящими ветвями содержит целое число периодов, можно получить более точное значение периода p_1 .

3. Из всех дат наблюдений второго цикла вычтите p_1 , из дат третьего цикла $2p_1$ и т. д. Теперь все наблюдения предварительно приведены к одному циклу.

4. Нанесите на график в большом масштабе все редуцированные точки. Если величина p_1 переоценена или недооценена, то кривые, соответствующие последовательным циклам, будут постепенно смещаться либо в одну, либо в другую сторону вдоль оси

времени. Чтобы различать отдельные циклы, обозначьте их разными значками: точками, крестиками и т. д.

Если наблюдается систематический сдвиг, он будет продолжаться увеличиваться со временем. Определите поправку Δp к значению p_1 , разделив величину сдвига на число протекших эпох (периодов); $p_1 + \Delta p = p_2$ — новое значение периода. Теперь можно считать надежно установленными еще два десятичных знака.

5. Сравнением ранних измерений за период JD 2 431 998, 947—2 432 055,784 с более поздними измерениями можно найти период с точностью в $0^d,001$, а то и точнее.

6. Наконец, снова исправьте даты всех наблюдений, используя окончательное значение периода p , нанесите все редуцированные значения моментов на график и проведите среднюю кривую блеска. Критически рассмотрите реальность горба. Сравните с семейством кривых блеска, данным Герцшпрунгом.

(7.) Как можно точнее определите момент максимума. Для этого проведите несколько горизонтальных хорд, пересекающих среднюю кривую блеска. На каждой хорде отметьте середину M и соедините точки M_1, M_2, \dots гладкой кривой. Ее пересечение с кривой блеска дает положение максимума.

Составление таблицы

	n	np_1	np
$p_0 = \dots$	1	...	...
$p_1 = \dots$	2	...	...
$p_2 = \dots$	3	...	...
$p = \dots$	4	...	...

JD	m	JD — np_1	JD — np
...
...
...

ЛИТЕРАТУРА

- Hertzsprung E., Bull. Astron. Inst. Neth., 3, 115 (1926).
 Stebbins J., Kron G. E., Smith J. L., Astrophys. J., 115, 292 (1952).

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: несколько листов миллиметровой бумаги, арифмометр для вычисления произведений nr_1 , nr_2 , nr .

Б27(Н). НАБЛЮДЕНИЯ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД

Двойные звезды можно подразделить на физические двойные, компоненты которых расположены близко друг к другу в пространстве и обращаются вокруг общего центра масс, и оптические двойные, которые находятся на большом расстоянии друг от друга, но с Земли случайно видны в одном направлении. По наблюдениям физических двойных звезд можно определить их орбиты. Их также используют для проверки качества телескопов.

Для последней цели отберем главным образом такие пары, компоненты которых отличаются по блеску не более чем на 2 или 3^m. Список подходящих двойных звезд дается ниже. Звезды, которые очень легко найти на небе, отмечены звездочкой; пары, компоненты которых сильно различаются по цвету, отмечены «цв».

Выполнение задачи. 1. Прежде всего запишите номер своего телескопа, диаметр его объектива и использованный окуляр. Направьте телескоп на какую-нибудь яркую звезду и отфокусируйте его.

2. Бегло просмотрите, какая часть неба и какое созвездие легко наблюдаемы в данный момент и находятся на удобной для наблюдений высоте над горизонтом. Выберите подходящую широкую пару из списка двойных звезд, изучите ее окрестности по звездному атласу и сделайте набросок этого участка неба. Если телескоп имеет разделенный круг, воспользуйтесь им для наведения на объект.

3. Направьте телескоп на двойную звезду и посмотрите, разделяются ли компоненты четко, плохо разделяются или не разделяются вовсе. Обратите внимание на цвета обоих компонентов; различие в цвете соответствует различию спектральных классов, усиленному влиянием контраста. Удостоверьтесь в том, что вы правильно отождествили звезду! Запишите название звезды, расстояние между компонентами и их звездные величины.

4. Пронаблюдайте еще несколько пар, пока не будете в состоянии оценить разрешающую силу вашего телескопа.

5. Пронаблюдайте одну-две пары со значительным различием блеска.

6. Сравните ваши результаты с теоретическим разрешением $d'' = 13/p$, где p — диаметр объектива в сантиметрах. Эта формула применима только в случае компонентов почти равного блеска. Более общим является эмпирическое выражение $d'' = 13(1 + 0,2\Delta m^2)/p$, где Δm — разность звездных величин компонентов.

Список широких пар

Название	$\alpha_{1950.0}$	$\delta_{1950.0}$	$m_1 - m_2$	d''
ψ^1 Psc	1 ^h 03 ^m ,0	+21°, 2	5,6—5,8	30"
ζ Psc	1 11,1	+ 7,3	5,6—6,5	24
* $\gamma^{1,2}$ Ari	1 50,8	+19,0	4,8—4,8	8,4
* γ And	2 00,8	+42,1	2,3—5,1	10
* 59 And	2 07,8	+38,8	6,0—6,7	17
32 Eri= w Eri	3 51,8	— 3,1	5,0—6,3	7
* θ Tau	4 25,6	+15,8	3,6—4,0	336
* σ Tau	4 36,2	+15,8	4,9—5,3	426
* λ Ori	5 32,4	+ 9,9	3,7—5,6	4
* δ Ori	5 29,4	— 0,3	2,0—6,8	53
* ι Ori	5 33,0	— 5,9	2,9—7,3	11
* σ Ori	5 36,2	— 2,6	3,8—7,2	13
γ Lep	5 40,3	—22,5	3,8—6,4	95
41 Aur	6 07,8	+48,7	6,1—6,8	8
β Mon	6 26,4	— 7,0	4,7—5,2	7
19 Lyn	7 18,8	+55,4	5,6—6,5	15
ζ Cnc	8 09,3	+17,8	5,1—6,0	6
ι Cnc	8 43,7	+29,0	4,2—6,6	31 цв.
* 6 Vul	9 26,9	+24,6	4,6—6,0	403
* γ Leo	10 17,2	+20,1	2,6—3,8	4
* 54 Leo	10 52,9	+25,0	4,5—6,3	6
τ Leo	11 25,5	+ 3,6	5,4—7,0	90
* γ Vir	12 39,1	— 1,2	3,6—3,6	6
α CVn	12 53,7	+38,6	2,9—5,4	20 цв
17 CVn	13 07,8	+38,8	5,0—6,0	290
* ζ UMa	13 21,9	+55,2	2,4—4,0	14
α Boo	14 11,7	+52,0	4,6—6,6	13
Σ 1835=ADS9247Boo	14 20,9	+ 8,7	5,1—6,6	6
π Boo	14 38,4	+16,6	4,9—5,8	6
α Lib	14 47,8	—15,8	2,9—5,3	228
Σ 1962=ADS9728Lib	15 36,0	— 8,6	6,5—6,6	12
* β Sco	16 02,5	—19,7	2,9—5,2	14 цв.
α Her	16 05,8	+17,2	5,3—6,5	29
σ CrB	16 12,8	+34,0	5,7—6,7	6
ν Dra	17 31,2	+55,2	5,0—5,0	62
* ψ Dra	17 42,8	+72,2	4,9—6,1	30
95 Her	17 59,4	+21,6	5,1—5,2	6
100 Her	18 05,8	+26,1	5,9—6,0	14

Продолжение

Название	$\alpha_{1950,0}$	$\delta_{1950,0}$	$m_1 - m_2$	d''
* ϵ Lyr	18 42,7	+39,6	4,8—4,4	210
* ζ Lyr	18 43,0	+37,5	4,3—5,9	44
* β Lyr	18 48,2	+33,3	3,4—6,7	46
θ Ser	18 53,8	+4,1	4,5—5,4	22
* β Cyg	19 28,7	+27,9	3,2—5,4	35 цв.
α Cap	20 15,1	-12,7	3,8—4,6	378
* γ Del	20 44,3	+16,0	4,5—5,5	10
61 Cyg	21 04,7	+38,5	5,5—6,3	25
μ Cyg	21 41,9	+28,5	4,7—6,1	216
ξ Ser	22 02,3	+64,4	4,6—6,5	7

ЛИТЕРАТУРА

Aitken R. G., The Binary Stars, Dover Publications, New York, 1964.
 Groosmuller J. H., Hemel en Dampkring, 38, 210, 390, 425 (1935);
 35, 57 (1937).

* Курс астрофизики и звездной астрономии, ред. А. А. Михайлов, Физматгиз, М., т. II, 1962.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: учебный телескоп, электрический фонарь, звездный атлас.

Подходящие пары можно также найти в A. Večvář, Atlas Coeli II, Katalog 1950,0, Praha, 1964, p. 131.

Roth G. D., Handbuch für Sternfreude, Berlin, 1960.

Цветовые контрасты даны в книге: П. Г. Куликовской, Справочник любителя астрономии, изд-во «Наука», М., 1971, стр. 527.

Б28(Л). ОРБИТА ВИЗУАЛЬНО-ДВОЙНОЙ ЗВЕЗДЫ (МЕТОД ЦВИРСА)

Введение. Обрабатываем сводку визуальных наблюдений, полученных рядом наблюдателей в XIX и XX вв. Более яркий компонент F всегда принимается за начало отсчета. Наблюдатели измеряли угловое расстояние ρ более слабого компонента B от F и определяли направление прямой FB (его позиционный угол θ). Мы рассматриваем только *относительную орбиту*, полагая главную звезду неподвижной*.

* Хотя в действительности обе они обращаются вокруг общего центра масс. — Прим. ред.

Возьмите лист миллиметровой бумаги и нанесите наблюдаемые точки. Проведите через эти точки эллипс; это *видимая орбита*, которая соответствует истинной орбите, искаженной проекцией на картинную плоскость (т. е. на плоскость, перпендикулярную лучу зрения). Вы заметите, что, как правило, главная звезда не находится в фокусе видимой орбиты.

Нашей задачей будет воссоздание истинной орбиты по видимой графическим методом. Чтобы получить результаты с достаточной точностью, чертите очень аккуратно.

Выполнение задачи (рис. 62).

1. Центр видимой орбиты является также центром истинной орбиты. Чтобы найти его, проведем произвольно несколько очень тонких параллельных линий, а затем прямую, делящую эти линии на равные части (сопряженный диаметр). Середина этой прямой даст положение центра эллипса C .

2. Проведя прямую CFP , которая является проекцией большой оси, мы найдем проекцию *периастра* P — точки, в которой расстояние между компонентами минимально на истинной орбите.

3. *Эксцентриситет* e равен CF/CP , ибо отношение этих отрезков является инвариантным при ортогональном проецировании.

4. *Малая ось* — это диаметр, сопряженный с большой осью. Это остается справедливым и для проекции; поэтому вы можете легко построить проекцию малой оси DE как диаметр, сопряженный PA .

5. *Вспомогательная окружность и вспомогательный эллипс.* Истинная орбита с ее пока еще неизвестными осями a и b может быть в принципе получена введением вспомогательной окружности радиуса a , у которой все хорды, параллельные малой оси, сокращаются в отношении b/a . Мы можем провести на нашем чертеже несколько хорд, параллельных проекции малой оси, и увеличить их в отношении $a/b = 1/\sqrt{1 - e^2}$. Через их концы пройдет вспомогательный эллипс, начерченный на рис. 62 штриховой линией. Он является проекцией вспомогательной окружности. (Неточность данных или неаккуратность в выполнении чертежа окажут существенное влияние на результаты и последующие выводы; поэтому необходима тщательная работа и критическое рассмотрение исходных данных.)

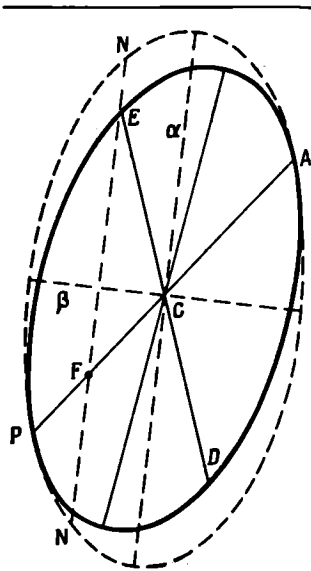


Рис. 62.

6. Теперь мы должны определить положение вспомогательного эллипса в пространстве. Ясно, что большая ось эллипса — это прямая, вокруг которой повернута плоскость орбиты. Постройте две оси α и β вспомогательного эллипса. Для этого проведите окружность с центром в точке C , которая пересечет эллипс. Соединив соседние точки пересечения, вы найдете направления α и β . Теперь проведите через центр прямые, параллельные этим направлениям; вы получите большую и малую оси вспомогательного эллипса. Измерьте α и β и из отношения $\beta/\alpha = \cos i$ определите наклон i плоскости орбиты к картинной плоскости (см. п. 13).

7. Единственный диаметр вспомогательной окружности, который остался не искаженным проецированием, это a ; следовательно, он равен большой оси a истинной орбиты. Выразите его в секундах дуги.

8. Линия узлов NN проходит через F и должна быть параллельна a . Отсчитайте позиционный угол узла Ω ; выберите узел, для которого $0 < \Omega < 180^\circ$ (рис. 63).

9. Долготой ω периастра P является угол NFP между большой осью и линией узлов, измеренный в плоскости истинной орбиты в направлении движения спутника (рис. 62); он наблюдается в проекции как угол λ (рис. 63). Вообразите, что вокруг F описана сфера, и рассмотрите плоскость, касательную к небесной сфере. Вычислите ω по формуле для прямоугольного сферического треугольника $\operatorname{tg} \lambda = \operatorname{tg} \omega / \cos i$.

10. Наконец, из наблюдений определите приблизительно период обращения T и момент прохождения через периастр t . Можно ли найти их более точно путем интерполирования?

11. Сравните элементы, найденные вами, с элементами, определенными самим наблюдателем или приведенными в литературе.

12. Проверьте период следующим образом (рис. 64). Пусть BB' — концы малой оси истинной орбиты, а T_1 и T_2 — интервалы времени, необходимые, чтобы пройти участки BPB' и $B'AB$ орби-

Рис. 63.

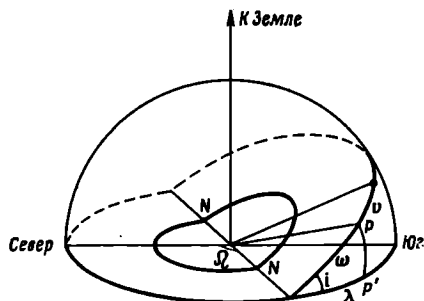
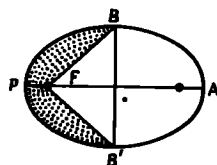


Рис. 64.



ты. Заштрихованная площадь равна $PBB' - FBB' = \pi ab/2 - abe$. Оставшаяся часть площади равна $PBB' + FBB' = \pi ab/2 + abe$. По закону Кеплера мы имеем

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\frac{1}{2} \pi ab - abe}{\frac{1}{2} \pi ab + abe} = \frac{\frac{\pi}{2} - e}{\frac{\pi}{2} + e}.$$

Следовательно, если известно только T_1 или T_2 и найдено значение e , то все же можно найти период $T = T_1 + T_2$.

(13.) Если вспомогательный эллипс имеет небольшой эксцентриситет, измерьте диаметры в различных направлениях через интервалы в 15° . Через эти точки проведите синусоиду, определите нулевые точки, которые расположены симметрично относительно максимума и минимума.

(14.) Зная параллакс, вы можете вычислить a , b , FP , FA в астрономических единицах.

ЛИТЕРАТУРА

- Aitken R. G., The Binary Stars, New York, 1935. (Перезадаано Dover Publ., 1964.)
 Binnewijck L., Properties of Double Stars, Philadelphia, 1960, ch. II.
 McLeod N. W., Astron. J., 48, 119 (1939).
 Van de Kamp P., Handbuch der Physik, 50, 1958, p. 187, 196.
 * Курс астрофизики и звездной астрономии, ред. А. А. Михайлов, Физматгиз, М., т. II, 1962.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: лист миллиметровой бумаги.

Результаты наблюдений для нескольких подходящих пар представлены в масштабе, удобном для использования, в монографии T. J. J. See, Researches on the Evolution of Stellar Systems, vol. I, Lupp, 1896, а также в работе А. Стрэнда, но диаграммы последней нужно увеличить, прежде чем раздавать студентам.

Рекомендуем для работы звезды:

- ζ Her = Σ 2084 = ADS 10157; данные Си, более поздние измерения — Astron. J., 60, 39 (1955). $p = 0'',105$.
 § UMa = Σ 1523 = ADS 8119; данные Си и Astron. J., 46, 193 (1955). $p = 0'',124$.
 η CrB = Σ 1937 = ADS 9617; данные Си. $p = 0'',066$.
 γ Vir = Σ 1670 = ADS 8630; данные Си и Стрэнда, Ann. Obs. Leiden, 18², 89 (1937). $p = 0'',103$.
 70 Oph = Σ 2272 = ADS 11046, данные Си и Стрэнда, Ann. Obs. Leiden, 18², 137 (1937). $p = 0'',196$.

$\text{Вoo} = \Sigma 1888 = \text{ADS } 9413$; данные Си и главным образом Стрэн-да, *Ann. Obs. Leiden*, 18^a, 97 (1947). $p = 0'',029$.

Численные значения можно нанести на график в прямоугольных или полярных координатах в зависимости от того, как опубликованы координаты. В качестве демонстрации студенту нужно дать возможность измерить позиционный угол и угловое расстояние какой-нибудь двойной звезды при помощи микрометра, установленного на телескопе.

Б29 (Л). ДИНАМИЧЕСКИЙ ПАРАЛЛАКС ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД

Пусть μ_1 и μ_2 — массы компонентов двойной звезды, выраженные в солнечных массах. По закону Ньютона

$$\mu_1 + \mu_2 = \frac{a^3}{P^2 p^3},$$

где a — большая полуось относительной орбиты, выраженная в угловой мере, p — параллакс в секундах дуги, P — период обращения в годах.

Можно вычислить параллакс по этой формуле, если известны массы звезд. Их можно получить по зависимости масса — светимость при условии, что видимая звездная величина приведена к абсолютной звездной величине при помощи приближенного значения параллакса p . Очевидно, для этого нам придется воспользоваться методом последовательных приближений. Наши уравнения следующие:

$$\left. \begin{aligned} \mu_1 + \mu_2 &= \frac{a^3}{P^2 p^3}, \\ M &= m + 5 + 5 \lg p \\ M &= f(\mu). \end{aligned} \right\}$$

Выполнение задачи. Сначала изучите двойную, орбиту которой вы уже определили в задаче Б28. Затем возьмите одну или две из следующих пар:

Звезда	m_{v_1}	m_{v_2}	P , годы	a	Спектральный класс	$P_{\text{триг}}$
α Cen	—0,04	1,38	79,9	17'',58	G2 K5	0'',751
γ Cas	3,47	7,22	480,0	11,99	G0 M0	0,176
ϵ Hya	3,7	4,8	15,0	0,21	G0 dF7	0,014

1. Предположите сначала, что масса каждого компонента равна массе Солнца, т. е. $\mu_1 = \mu_2 = 1$. Используя первую формулу, вычислите предварительное значение p .

2. Определите предварительные значения абсолютных звездных величин компонентов по формуле

$$M = m + 5 + 5 \lg p.$$

3. Приведите эти визуальные звездные величины к болометрическим, введя болометрические поправки BC , приведенные в табл. I задачи Б24. Затем по зависимости масса — светимость определите новые, более точные значения μ_1 и μ_2 или найдите эти значения по визуальной абсолютной звездной величине в таблице «Зависимость масса — светимость».

4. Повторите вычисления п. 1.—3 с этими уточненными величинами. Продолжайте этот процесс последовательных приближений до тех пор, пока получающиеся значения p , μ_1 и μ_2 перестанут заметно изменяться.

5. Сравните свои результаты с тригонометрическим параллаксом, приведенным в таблице.

(6.) Интересно оценить, как быстро сходится метод последовательных приближений. Возьмите за исходное предположение $\mu_1 = \mu_2 = 10$ и повторите все вычисления.

Таблица

Зависимость масса — светимость

(C. W. Allen, *Astrophysical Quantities* 2nd ed., 1963, p. 203.)

$\lg \mu$	M_{bol}	M_{\odot}	$\lg \mu$	M_{bol}	M_{\odot}
-1,0	+11,3	+14,8	+0,6	-0,9	-0,1
-0,8	+10,3	+13,7	+0,8	-2,4	-1,2
-0,6	+ 9,4	+12,4	+1,0	-3,9	-2,5
-0,4	+ 8,1	+10,6	+1,2	-5,4	-3,7
-0,2	+ 6,6	+ 7,8	+1,4	-6,8	-4,8
0,0	+4,7	+4,8	+1,6	-8,1	-5,9
+0,2	+2,7	+2,8	+1,8	-9,5	-7,0
+0,4	+0,8	+1,2			

ЛИТЕРАТУРА

По данному вопросу имеется монография Russell H. N., Moore Ch. E., *The Masses of the Stars*, 1940. В ней показано, как рассмотренный метод был распространен на случай, когда наблюдалась только часть орбиты (стр. 3), и содержится каталог динамических параллаксов 2529 звезд (стр. 180 и 183).

Allen C. W., *Astrophysical Quantities*, London, 1963, p. 203. (Русский перевод 1-го изд.: К. У. Аллен, *Астрофизические величины*, ИЛ, М., 1960.)

Что приготовить для выполнения задачи. Много примеров можно найти в работе Worley Ch. E., *Publ. U. S. Naval Obs.*, 18, part 3 (1963).

Б30(Л). ОРБИТА СПЕКТРАЛЬНО-ДВОЙНОЙ ЗВЕЗДЫ (2-й МЕТОД АНРОТО)

Задача. Дан ряд измерений лучевой скорости одного компонента спектральной двойной относительно другого. Исходные данные уже приведены к нормальным местам и исправлены за движение Земли относительно Солнца и за движение двойной относительно Солнца. Определите орбиту в пространстве.

Выполнение задачи. 1. Нанесите на график лучевую скорость в функции времени $v_r(t)$ (*кривая лучевой скорости*). При этом примите во внимание вес измерений, размеры точек сделайте примерно пропорциональными весу. Выберите удобный масштаб по обоим осям координат! Кривая должна быть сглаженной: конец одного периода должен плавно переходить в начало следующего. В дальнейшем мы будем считать, что наклон i равен 90° , т. е. что луч зрения лежит в плоскости орбиты. В действительности мы получим не A , а величину $A \sin i$.

Период T находится прямо из таблицы лучевых скоростей.*

2. Под кривой лучевых скоростей проведем *интегральную кривую*

$$z = \int_0^t v_r dt,$$

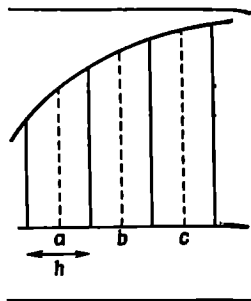
которая дает положение звезды на луче зрения z в функции времени. Чтобы получить ее, определим сначала увеличение площади под кривой за интервалы в 2 дня, а затем простым сложением последовательных ординат, соответствующих средним моментам каждого интервала h (рис. 65), умноженных на величину интервала $h(a + b + c + \dots)$, получим величину z .

В тех случаях, когда кривизна очень велика, интервалы следует уменьшать до одного дня, а то и меньше. [Если вы раньше не имели дела с графическим интегрированием, начните с той части кривой, где ординаты положительны! (рис. 66).]**

* Из совокупности измерений v_r , иногда охватывающей десятки и сотни дней, период определяется так же, как для периодической переменной (см. задачу Б26). После того как период определен, вычисляются фазы точек средней кривой лучевых скоростей. Они могут быть выражены в днях (как в таблице) либо в долях периода. — *Прим. ред.*

** При этом должно соблюдаться условие $\int_0^P z dt = 0$, т. е. горизонтальная ось (γ -ось) делит площадь под кривой на равные части. — *Прим. ред.*

3. Вообразим орбиту (пока не известную), которая является эллипсом, симметричным относительно его центра. Интегральная кривая дает расстояние z вдоль луча зрения, пройденное второй звездой, движущейся в плоскости орбиты. Мы будем теперь рассматривать одновременно кривую лучевой скорости, интегральную кривую, орбиту и луч зрения, соответствующий направлению координаты z^* (рис. 67).



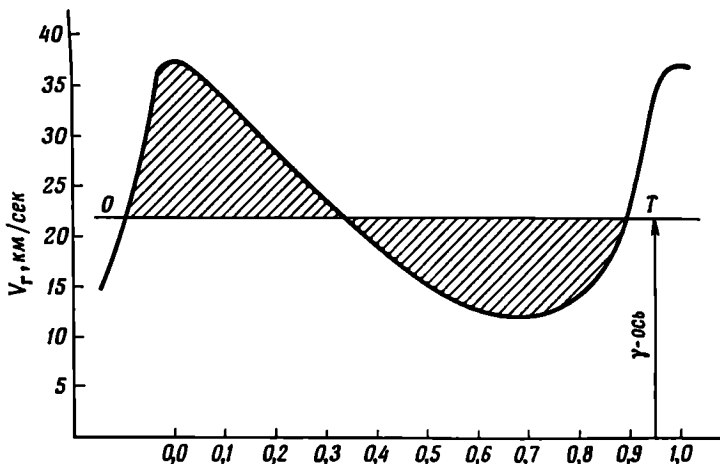
Р и с. 65.

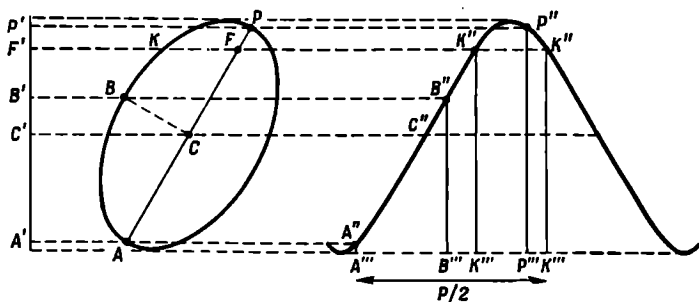
Центру эллипса соответствуют точки C' или C'' — половина пути между максимумом и минимумом интегральной кривой.

4. Из закона Кеплера можно показать, что лучевая скорость приобретает наибольшие значения в узлах. Таким образом, максимумы кривой лучевой скорости соответствуют моментам, когда звезда достигает узлов K . В эти моменты ординаты $K'''K''$ точек K'' интегральной кривой, очевидно, должны быть равны. Это условие может не выполняться в результате неуверенности в определении моментов максимума и минимума скорости. Выберите наилучшую среднюю величину. Момент, когда на орбите достига-

* Это проекция орбиты со всеми ее точками на ось z . — *Прим. ред.*

Р и с. 66





Р и с. 67.

ется узел K , является также моментом, когда на линии $P'A'$ (рис. 67) достигается проекция фокуса F .

5. Апоастр A и периастр P удовлетворяют двум условиям: их абсциссы находятся на расстоянии $T/2$; их координаты z , измеренные от линии CC' , равны, но имеют противоположные знаки. Найдите методом проб и ошибок точки, которые удовлетворяют этим условиям. Между ними всегда должен быть максимум или минимум интегральной кривой. Это поможет узнать, что периастр всегда на той же стороне от прямой CC' , где и F , и располагается на той стороне интегральной кривой, где наклон круче.

6. Определите эксцентриситет

$$e = \frac{CF}{CP} = \frac{C'F'}{C'P'}$$

7. Определите теперь конец малой оси B , вычислив интервал времени $t - t_0$, необходимый для того, чтобы звезда прошла дугу PB орбиты.

В точке B эксцентрисическая аномалия E равна $\pi/2$. По уравнению Кеплера

$$M = \frac{\pi}{2} - e = \frac{2\pi}{T} (t - t_0),$$

или

$$t - t_0 = \frac{T}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{e}{\pi} \right).$$

Таким образом, мы знаем расстояние $P'''B'''$ и точки B'' , B' .

8. Мы должны найти еще долготу периастра (PFK или KFC)

$$P' C' = PC \sin \omega,$$

$$B' C' = BC \cos \omega,$$

$$\operatorname{ctg} \omega = \frac{B' C'}{P' C'} \frac{PC}{BC} = \frac{B' C'}{P' C'} \frac{1}{\sqrt{1 - e^2}}.$$

9. Наконец, мы найдем большую ось $a = PC = P' C' / \sin \omega$.

10. Прокалибруйте шкалу z , учитывая, что элементы площади под кривой лучевой скорости представляют собой элементы скорости, умноженные на время. Определите величину большой оси a . В действительности определяем величину $a \sin i$; угол i невозможно определить из одних только спектральных наблюдений.

(11.) Нарисуйте определенную таким образом эллиптическую орбиту (положив $i = 90^\circ$).

ЛИТЕРАТУРА

Aitken R. G., The Binary Stars, New York, 1935, ch. 6. (Перезадаано Dover Publ., 1964.)

Binnendijk L., Properties of Double Stars, Philadelphia, 1960, ch. IV.

Henrotteau F. C., Handbuch der Astrophysik, Bd. 6, 1928, S. 369.

Struve O., Huang S. S., Handbuch der Physik, Bd. 50, Springer, 1958, S. 243.

* Курс звездной астрономии и астрофизики, ред. А. А. Михайлов, Физматгиз, М., т. II, 1962, стр. 87—95.

* Astronomical Techniques, ed. W. A. Hiltner, Univ. of Chicago Press, 1962. (Русский перевод: Методы астрономии, ред. В. А. Хилтнер, изд-во «Мир», М., 1967, гл. 23.)

Что приготовить для выполнения задачи. Классическим широко применяемым методом является метод Лемана-Филеса. Однако для этого упражнения мы предпочли метод Анрото, потому что он не требует глубоких знаний и достаточно нагляден.

Богатый материал можно найти в Publ. of the Dominion Astrophys. Obs. Мы избегаем тех случаев, когда кривые лучевых скоростей очень симметричны и менее интересны. Приводим тома и страницы этого издания, где можно найти хорошие примеры: 1, 153, 233, 281; 2, 167, 263; 3, 145, 151 (с Aur1), 204, 335, 349; 4, 39, 85, 97, 108, 183; 6, 88; 7, 105, 415; 11, 241.

Фотографические репродукции спектров, показывающих смещение, соответствующее переменной скорости, издавались Йеркской обсерваторией; в каталоге репродукций они имеют обозначения SS 171—179 и SS 191.

Данные для двух спектральных двойных

Звезда HR 6385
Publ. Domin. Astrophys. Obs.,
1, 199 (1920)

Скорость относительно центра
системы

$$\gamma = +3,51 \text{ км/сек}$$

Фаза	v_r	Вес
0 ^d ,26	-26,0	1,5
0,94	-38,3	1,5
1,42	-34,5	2,0
2,56	-29,2	2,5
4,42	-19,5	3,0
6,46	-6,9	3,5
7,80	-0,9	3,0
10,12	+5,2	2,5
13,46	+14,9	3,5
16,02	+18,5	5,0
17,49	+19,1	3,5
19,69	+19,6	3,5
21,34	+4,0	2,0
21,84	-0,3	1,0
22,43	-10,7	3,5
23,50	-26,0	1,5
24,18	-38,3	1,5
24,66	-34,5	2,0
25,80	-29,2	2,5
27,66	-19,5	3,0
29,70	-6,9	3,5
31,04	-0,9	3,0
33,36	+5,2	2,5
36,70	+14,9	3,5
39,26	+18,5	5,0
40,73	+19,1	3,5
42,93	+19,6	3,5

При нанесении на график брать
следующий масштаб:
2 дня — 1 см, 10 км/сек — 2 см.

Звезда HR 8800
Publ. Domin. Astrophys. Obs.,
1, 241 (1920)

Скорость относительно центра
системы

$$\gamma = +15,13 \text{ км/сек}$$

Фаза	v_r	Вес
0 ^d ,203	-99,7	1
0,527	-113,5	0,25
0,570	-76,8	1,5
0,976	-42,8	0,5
0,987	-34,4	1
1,114	-24,8	0,5
1,331	+7,1	1
1,584	+46,4	0,25
1,747	+40,6	0,5
1,986	+64,3	0,5
2,016	+63,8	1
2,590	+64,1	0,5
2,681	+70,0	1,5
2,976	+22,3	1,5
3,234	-32,3	0,75
3,325	-70,5	0,5
3,540	-99,7	1
3,864	-113,5	0,25
3,907	-76,8	1,5
4,313	-42,8	0,5
4,324	-34,4	1
4,451	-24,8	0,5
4,668	+7,1	1
4,921	+46,4	0,25
5,084	+40,6	0,5
5,323	+64,3	0,5
5,353	+63,8	1
5,927	+64,1	0,5
6,018	+70,0	1,5

При нанесении на график брать
следующий масштаб:
1 день — 4 см, 10 км/сек — 0,5 см.

Б31(Л). ОРБИТА ЗАТМЕННОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

Задача. Кривая блеска затменной переменной дает обилие информации о геометрических и физических свойствах звезд, составляющих пару. Возьмем в качестве примера прекрасные измерения W Del, выполненные Уэнделом с поляризационным фотометром. 500 наблюдений были объединены в нормальные точки, из которых мы отобрали около 25 (табл. А). Для анализа мы применим классический метод Рессела. Для простоты предположим, что звезды имеют равномерно яркие диски.

Таблица А

Кривая блеска W Del, нормальные точки
[Russel H. N., Astrophys. J., 86, 134 (1912)]

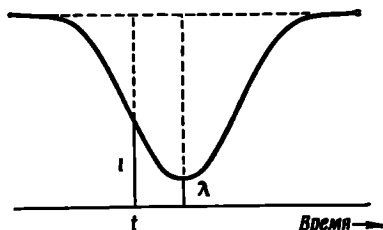
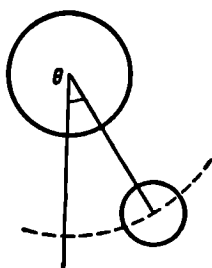
$t-t_0$	m	$t-t_0$	m
-0 ^d ,2894	9,41	0 ^d ,0356	12,02
-0,2306	9,59	0,0460	11,87
-0,1911	9,88	0,0659	11,58
-0,1506	10,23	0,1036	10,88
-0,1121	10,78	0,1445	10,31
-0,0715	11,51	0,1847	9,91
-0,0313	12,05	0,2242	9,63
-0,0169	12,08	0,2708	9,48
-0,0082	12,07	0,94	9,42
0,0060	12,16	1,90	9,35
0,0139	12,09	2,04	9,41
0,0269	12,03	2,67	9,38

Выполнение задачи. 1. Нанесите на график наблюдаемые звездные величины в зависимости от времени. Как обычно в таких работах, направление вниз соответствует росту звездных величин (и уменьшению блеска). Аккуратно проведите сглаженную кривую через нормальные точки. Вторичный минимум не наблюдался. Кривая выглядит почти идеально симметричной.

2. Легко заметить, что блеск остается практически постоянным более одного часа в течение главного минимума. Это означает, что затмение либо полное, либо кольцеобразное. Позже мы убедимся в том, что оно полное: меньший компонент скрывается за большим.

Период равен $P = 4^d,8061$. Для таких тесных пар относительно орбиту можно считать круговой (рис. 68).

Время $t - t_0$, прошедшее после середины затмения, соответствует углу $\theta = 360^\circ [(t - t_0)/P]$. Преобразуем абсциссу в этот угол с



Р и с. 68.

Р и с. 69.

четырьмя десятичными знаками, что уже сделано в табл. В. Для ряда значений m (порядка десятка) найдите соответствующие значения $t_1 = t - t_0$ на нисходящей ветви, t_2 — на восходящей ветви кривой блеска.

Таблица В

Анализ кривой блеска W Del

α	$1-l$	m	t_1	t_2	θ	$\sin^2 \theta$	$\frac{\sin^2 \theta - \lambda}{-A}$	$\psi(k, \alpha)$	k
0,0	0,0000	9,400	-0 ^d ,304	0 ^d ,300	0,394				
0,1	0,0917	9,505	-0,2540	0,2515	0,3304				
0,2	0,1834	9,620	-0,2285	0,2258	0,2968				
0,3	0,2750	9,749	-0,2075	0,2030	0,2681				
0,4	0,3667	9,896	-0,1884	0,1830	0,2426				
0,5	0,4584	10,066	-0,1682	0,1644	0,2173				
0,6	0,5500	10,266	-0,1486	0,1470	0,1931				
0,7	0,6417	10,514	-0,1270	0,1274	0,1661				
0,8	0,7334	10,835	-0,1070	0,1048	0,1381				
0,9	0,8250	11,292	-0,0824	0,0788	0,1054				
0,95	0,8709	11,624	-0,0655	0,0624	0,0836				
0,98	0,8985	11,884	-0,0505	0,0462	0,0632				
0,99	0,9076	11,985	-0,0430	0,0390	0,0536				
1,00	0,9168	12,100	-0,021	0,019	0,026				

Соответствующие значения θ и $(1 - \theta)$ практически равны, и взято среднее. Проверьте несколько точек.

3. Теперь преобразуйте ординаты (рис. 69). Максимум светимости (общая светимость обоих компонентов вне затмения) положим равным 1, минимум — равным λ , светимость в момент t —

равной l . Потеря интенсивности света от звезды, которая загораживается, составляет $1 - \lambda$ для середины затмения, $1 - l$ в момент частной фазы. Величина $a = (1 - l)/(1 - \lambda)$, называемая *фотометрической фазой*, соответствует части звезды, находящейся в затмении, выраженной в долях площади ее поверхности*. Чтобы облегчить вычисления a , имеются таблицы, при помощи которых интервал звездных величин Δm преобразуется в $1 - l$. В табл. В найдете столбец значений a ; понятно, что звездные величины m в третьем столбце были выбраны таким образом, чтобы получались простые округленные значения a . Проверьте несколько точек $1 - l$ и a .

4. Форма кривой блеска зависит от следующих параметров: i — наклона плоскости орбиты к картинной плоскости, всегда близкого к 90° ; r_1 и r_2 ** — радиусов большей и меньшей звезд соответственно или от r_1 и $r_2/r_1 = k$, где $k < 1$.

Если бы эти три параметра были известны, то вычисление кривой блеска $a(\theta)$ было бы довольно простой геометрической задачей. Вычислив ряд кривых блеска для различных значений параметров, мы можем сравнить их с наблюдаемой кривой и найти, которая лучше всего подходит. Однако ясно, что число возможных кривых весьма велико, поэтому надо исключить два параметра из трех.

Если даны эти три параметра, то светимость системы будет зависеть от Δ — проекции расстояния между центрами C_1 и C_2 звезд. Из геометрии задачи (рис. 70) мы видим, что $\cos D = \cos \theta \sin i$; следовательно,

$$\Delta^2 = \sin^2 D = 1 - \cos^2 \theta \sin^2 i = \cos^2 i + \sin^2 i \sin^2 \theta. \quad (1)$$

Запишем $\Delta/r_1 = \varphi(k, a)$. Для величин $a, k, \Delta/r_1$ существуют соотношения, не зависящие от абсолютных размеров системы; так, например,

$$r_1^2 [\varphi(k_1, a)]^2 = \cos^2 i + \sin^2 i \sin^2 \theta.$$

Применим это уравнение к двум фиксированным точкам, а затем к переменной точке a кривой блеска. Выберем $a_2 = 0,6$ и $a_3 = 0,9$.

Мы получаем

$$r_1^2 [\varphi(k, a_2)]^2 = \cos^2 i + \sin^2 i \sin^2 \theta_2, \quad (a)$$

$$r_1^2 [\varphi(k, a_3)]^2 = \cos^2 i + \sin^2 i \sin^2 \theta_3, \quad (b)$$

$$r_1^2 [\varphi(k, a)]^2 = \cos^2 i + \sin^2 i \sin^2 \theta. \quad (c)$$

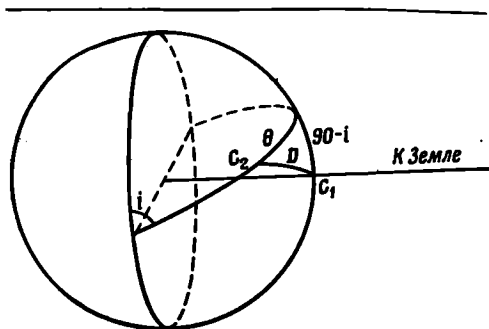
Вычислив

$$\begin{aligned} \frac{(c) - (b)}{(a) - (b)} &= \frac{[\varphi(k, a)]^2 - [\varphi(k, a_3)]^2}{[\varphi(k, a_2)]^2 - [\varphi(k, a_3)]^2} = \psi(k, a) = \frac{\sin^2 \theta - \sin^2 \theta_3}{\sin^2 \theta_2 - \sin^2 \theta_3} = \\ &= \frac{\sin^2 \theta - A}{B}, \end{aligned} \quad (2)$$

мы исключаем переменные r_1 и i . Остается только параметр k .

* Как правило, закрытая площадь диска звезды, находящейся в затмении, выражается в долях площади меньшей звезды. — *Прим. ред.*

** Выраженные в долях радиуса круговой относительной орбиты. — *Прим. ред.*



Р и с. 70.

Таким образом, вместо того чтобы изучать зависимость между α и θ , мы рассмотрим зависимость между α и $\psi = (\sin^2\theta - \sin^2\theta_2)/(\sin^2\theta_2 - \sin^2\theta_3)$, которая содержит только один параметр k .

Для нашей цели достаточно ввести новую переменную ψ для нескольких «чувствительных» точек α : 0,20; 0,40; 0,80; 0,95. Вычисления просты: θ_2 и θ_3 — фиксированные

числа (соответствующие α 0,60 и 0,90), а величины A и B постоянны. В нашем случае $A = 0,0369$; $B = 0,0258$.

Теперь сравним результаты. В табл. С приводится функция $\psi(k, \alpha)$ для ряда значений k . Для каждого из пяти значений α найдите путем интерполяции наиболее подходящее значение k . Все эти значения должны быть одинаковы, но в действительности они

Таблица С

Функция $\psi(k, \alpha)$

k	α						
	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	0,90	0,95
1,00	9,350	3,852	1,455	0,000	-0,805	-1,000	-1,048
0,95	8,309	3,474	1,333	0,000	-0,783	-1,000	-1,068
0,90	7,470	3,170	1,236	0,000	-0,764	-1,000	-1,085
0,85	6,779	2,291	1,155	0,000	-0,749	-1,000	-1,098
0,80	6,196	2,709	1,087	0,000	-0,736	-1,000	-1,111
0,75	5,696	2,528	1,028	0,000	-0,725	-1,000	-1,122
0,70	5,262	2,371	0,977	0,000	-0,715	-1,000	-1,132
0,65	4,881	2,232	0,932	0,000	-0,706	-1,000	-1,142
0,60	4,542	2,109	0,892	0,000	-0,698	-1,000	-1,150
0,55	4,239	1,998	0,856	0,000	-0,690	-1,000	-1,158
0,50	3,965	1,898	0,823	0,000	-0,683	-1,000	-1,165
0,45	3,716	1,806	0,792	0,000	-0,676	-1,000	-1,172
0,40	3,489	1,722	0,764	0,000	-0,670	-1,000	-1,179
0,35	3,281	1,644	0,738	0,000	-0,664	-1,000	-1,185

будут несколько различаться, так как результаты очень чувствительны к ошибкам наблюдений (и предположение об однородной яркости поверхности неверно). Возьмите среднее значение k .

5. Для определения других элементов орбиты прежде всего следует найти точный момент начала затмения и точный момент начала полного затмения (1-й и 2-й контакты). Это моменты, когда $\alpha = 0$ или $\alpha = 1$, тогда как $\Delta = r_1 + r_2$ или $\Delta = r_1 - r_2$. Применяя уравнение (1), получим

$$\begin{aligned}(r_1 + r_2)^2 &= \cos^2 i + \sin^2 i \sin^2 \theta_1, \\ (r_1 - r_2)^2 &= \cos^2 i + \sin^2 i \sin^2 \theta_2,\end{aligned}\tag{3}$$

Уравнение (2) дает

$$\sin^2 \theta = A + B\psi.$$

Тогда уравнения (3) принимают вид

$$\begin{aligned}r_1^2 (1 + k)^2 &= \cos^2 i + A \sin^2 i + B \sin^2 i \psi(k, 0), \\ r_1^2 (1 - k)^2 &= \cos^2 i + A \sin^2 i + B \sin^2 i \psi(k, 1).\end{aligned}$$

Чтобы определить i и r_1 , разделите первое уравнение на второе, тем самым исключив r_1 . Решите относительно $\sin^2 i$, затем найдите r_1 .

Останется неизвестным, в каком направлении наклонена на угол i плоскость орбиты по отношению к небесной сфере.

6. Наконец, нарисуйте систему в масштабе в момент середины затмения.

7. Мы еще должны решить, имеет ли место наблюдаемый минимум, когда меньший компонент был позади или впереди большего компонента (полное или кольцеобразное затмение). Предположим, что меньший компонент был позади во время вторичного минимума, который не наблюдался и глубина которого существенно меньше чем 0,03. Что можно сказать о светимости меньшей звезды? Какую часть света большей звезды она экранирует, когда находится перед ней? Каково должно быть отношение $k = r_2/r_1$? Согласуется ли это с вашим определением?

(8.) Сравните светимости, радиусы и поверхностные яркости обеих звезд. Их спектральные классы A0 и G5.

ЛИТЕРАТУРА

- B i n n e n d i j k L., Properties of Double Stars, Philadelphia, 1960, ch. VI.
R u s s e l l H. N., Astrophys. J., 35, 315; 36, 133 (1912).
S h a r p l e y H., Astrophys. J., 36, 269 (1912).
Ц е с е в и ч В. П., Переменные звезды, М., 1947, т. 3, гл. 5.

Что приготовить для выполнения задачи. Затменные переменные с похожими кривыми блеска S Сnc, SW Cyg, U Cep; все они рассмотрены в работе Шепли. Таблицы логарифмов и тригонометрических функций (четырёхзначные); миллиметровую бумагу.

Б32(Н) НАБЛЮДЕНИЯ ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЙ И ТУМАННОСТЕЙ

Наблюдения большинства перечисленных ниже объектов, особенно туманностей, совершенно невозможны при лунном свете. Перед наблюдениями отыщите объект в звездном атласе. Запомните конфигурацию окрестных звезд; если необходимо, сделайте набросок.

1. Пронаблюдайте некоторые из следующих объектов сначала в полевой бинокль, затем в телескоп:

	α	δ
Плеяды (уже изучены в задаче Б16)	3 ^h 44 ^m	+24°,0
Ясли в созвездии Рака	8 37	+20,2
Гиады около Альдебарана	4 17	+15,5
Двойное скопление в Персее (η и χ)	2 17	+56,9
Скопление в созвездии Волосы Вероники	12 40	+24,0
М 31 — туманность Андромеды	0 37	+40°19'
М 42 — диффузная туманность в Орионе	5 30	— 5 27
М 35 в созвездии Близнецов	6 05	+24 21
Скопление в созвездии Единорога налево от ϵ Mon	6 30	+ 4 54
М 67 в созвездии Рака	8 48	+12 00

2. Пронаблюдайте некоторые из следующих объектов в телескоп:

	α	δ
М 52 рассеянное скопление в Кассиопее посредине между γ и k Cas	0 ^h 40 ^m	+61°31'
М 34 рассеянное скопление в созвездии Персея	2 39	+42 32
М 38 рассеянное скопление в созвездии Возничего	5 25	+35 48
М 37 рассеянное скопление там же	5 49	+32 33
М 41 рассеянное скопление в созвездии Большого Пса	6 44,9	—20 42
М 3 шаровое скопление в созвездии Гончих Псов	13 40	+28 38
М 5 шаровое скопление в созвездии Змеи	15 15,9	+ 2 16
М 13 шаровое скопление в созвездии Геркулеса	16 39,9	+36 33
М 6 рассеянное скопление в созвездии Скорпиона	17 36,7	—32 10
М 8 диффузная туманность в созвездии Стрельца («туманность Лагуна»)	18 00,6	—24 23
М 22 шаровое скопление там же	18 33,3	—23 57
М 15 шаровое скопление в созвездии Пегаса	21 27,6	+11 57
М 2 шаровое скопление в созвездии Водолея	21 30,9	— 1 04

Всегда сначала устанавливайте телескоп по склонению, но не закрепляйте его до конца, чтобы можно было подрегулировать.

Если можно, наблюдайте некоторые из этих скоплений (особенно шаровые) в телескоп средней мощности.

3. Тщательно зарисуйте Плеяды. Укажите направление восток — запад. Отметьте, каким типом телескопа вы пользовались.

Затем сравните свой рисунок с картой, напишите названия наиболее ярких звезд.

ЛИТЕРАТУРА

(о наиболее интересных объектах)

Звездный атлас Нортона.

Большинство книг содержит очень много объектов, подходящих для нашей цели. Нам необходимо выбрать несколько характерных объектов, которые легко найти.

Ahnert P., Beobachtungsobjecte für Liebhaberastronomen, Leipzig, 1961.

McKeady K., A Beginner's Star Book, London, 1912.

McKeady K., Sternbuch für Anfänger, Leipzig, 1913.

Более подробные списки имеются во многих книгах для любителей астрономии, см., например,

Bailey S. I., Harvard Annals, 60, № 8 (1908), воспроизведено в книге Plassman J., Hevelius, Berlin, 1922, p. 357.

Brandt R., Himmelswunder im Feldstecher, Leipzig, 1956.

Vehrenberg H., Atlas of Deep Sky Splendors, Cambridge, Mass., 1968.

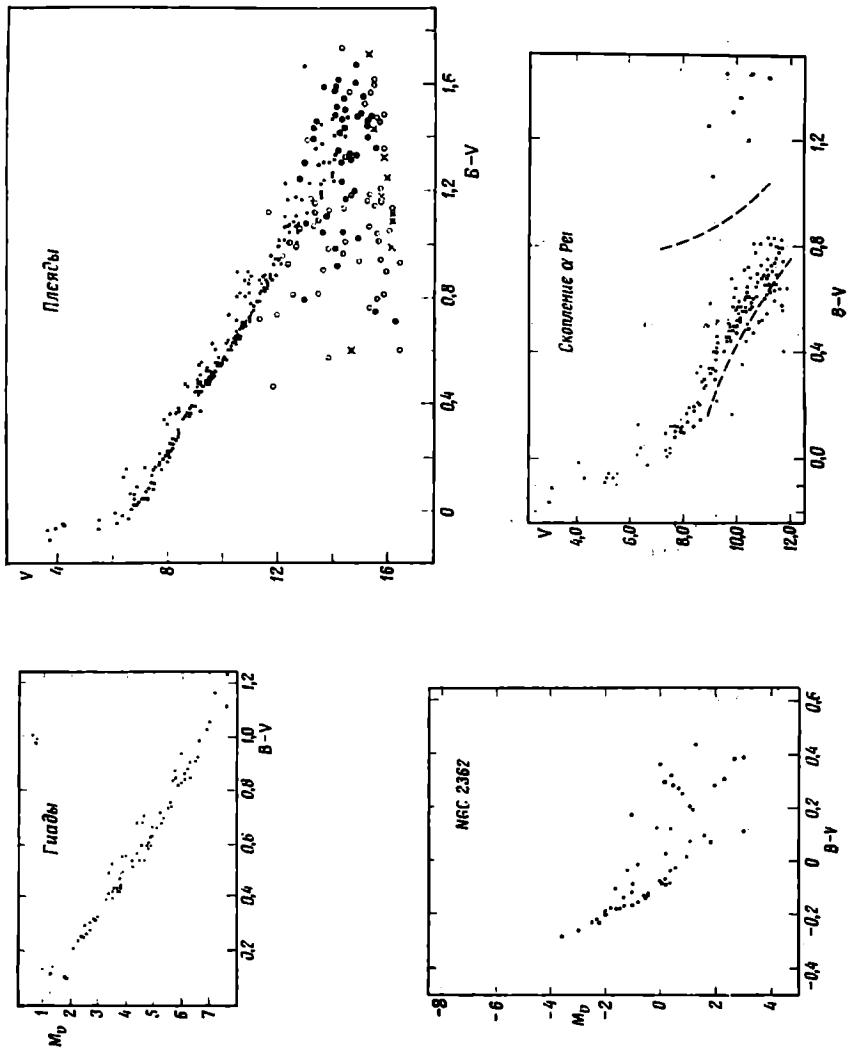
Очень ценные карты окрестностей помещены в книгах Мак-Креди и Брандта.

Карта Плеяд имеется в звездном атласе Нортона (карта 5); в книге П. Г. Куликовского «Справочник любителя астрономии», 4-е изд., изд-во «Наука», М., 1971; L. Vinnendijk, Ann. Obs. Leiden, 19, 1946, p. 119.

Б33(Л). РАССЕЯННЫЕ СКОПЛЕНИЯ

Задача. Сравнить диаграммы цвет — звездная величина нескольких рассеянных скоплений (рис. 71). Конечно, эти диаграммы будут отличаться из-за различия расстояний. Однако можно надеяться найти у всех скоплений одну и ту же зависимость между цветом и звездной величиной, пока звезды в процессе своей эволюции не отошли еще от «главной последовательности нулевого возраста» в результате изменений их внутреннего строения. Познакомимся с этим очень интересным эволюционным эффектом.

Выполнение задачи. 1. За исходную мы возьмем диаграмму цвет — величина Гиад (рис. 71). Блеск звезд измерялся в системе *UBV*; поправка за межзвездное покраснение несущественна. Расстояние до этого движущегося скопления очень точно известно по собственным движениям и лучевым скоростям (см. задачу Б25); можно было даже определить расстояния до отдельных звезд и их абсолютные величины M_v . Это более современные и немного более точные данные, чем использованные в задаче Б25. Над главной последовательностью на расстоянии не более $0^m,75$ от ее средней



Р и с. 71.

линии проходит полоса, вероятно, соответствующая еще не известным двойным звездам.

Аккуратно отметьте на кальке среднюю линию диаграммы и скопируйте также оси координат.

2. Теперь рассмотрим диаграмму для Плеяд (рис. 71). В области показателей цвета больше $+0^m,8$ имеется некоторый разброс и измерения нельзя придать большой вес. Точками представлены звезды, принадлежность которых к скоплению наиболее вероятна. Покраснение и поглощение незначительны.

Перенесите диаграмму Гиад на диаграмму Плеяд в таком же, как и Плеяды, масштабе по обеим координатам. Теперь постарайтесь добиться наилучшего совпадения кривых путем сдвига в вертикальном направлении. Этот сдвиг будет учитывать различие в расстояниях. Если кривые никак не совмещаются целиком, то совместите их в правой части диаграммы, так как в левой части расположены более массивные звезды, уже проэволюционировавшие от главной последовательности. Проведите как можно дальше влево среднюю линию для Плеяд. Аккуратно отметьте на шкале звездных величин сдвиг диаграммы Плеяд относительно диаграммы Гиад.

3. Перенесите на кальку диаграмму скопления α Персея (рис. 71). Штриховые линии на этой диаграмме отделяют звезды скопления от звезд, не участвующих в собственном движении скопления. Следовало бы ввести поправки в $0^m,08$ за покраснение и $0^m,24$ в $B - V$ за поглощение, но они пренебрежимо малы в нашем масштабе.

(4.) Добавьте диаграмму скопления NGC 2362 (рис. 71) и нескольких других рассеянных скоплений. Для скопления NGC 2362 поправки за покраснение и поглощение уже введены, а на диаграмме даны абсолютные звездные величины. Можно использовать эту диаграмму так же, как диаграмму Гиад, для установления главной последовательности нулевого возраста в шкале абсолютных звездных величин. Следите, чтобы все переносимые вами на кальку диаграммы были нарисованы в одном и том же масштабе.

5. Теперь вы определили главную последовательность нулевого возраста на большом протяжении. Сравните ее с другими источниками [например, S a n d a g e A., *Astrophys. J.*, 135, 351 (1962)].

Кроме того, вы обнаружили признаки эволюции звезд в скоплениях. Точка, где диаграмма скопления отклоняется от главной последовательности, является характеристикой возраста скопления. У звезды, которая только что покинула главную последовательность, заметно меняется ее внутреннее строение, так как около 13% водорода превращается в гелий. Это происходит через t лет после рождения звезды. По таблице, приведенной ниже, вы теперь можете определить приблизительный возраст изученных вами четырех скоплений.

6. Мы нашли превосходный метод определения расстояний скоплений. Абсолютные звездные величины Гиад известны очень точно (рис. 71). Сдвиги наших диаграмм каждый раз соответствовали величине $m - M$, называемой *модулем расстояния*. Определите шкалу визуальных абсолютных величин для нескольких скоплений.

7. Приняв, что среднее значение модуля расстояния Гиад $3^m,0$, а расстояние 40 *пс*, вычислите расстояния до других скоплений.

Возраст звезд главной последовательности

O7,5	$2 \cdot 10^6$ лет	A5	$6 \cdot 10^8$
B0	$1 \cdot 10^7$	F0	$1,5 \cdot 10^9$
B5	$5 \cdot 10^7$	F5	$3,5 \cdot 10^9$
A0	$2 \cdot 10^8$	G0	$9 \cdot 10^9$

ЛИТЕРАТУРА

- B a a d e W., Evolution of Stars and Galaxies, 1963, ch. 9 and 10. (Русский перевод: В. Бааде, Эволюция звезд и галактик, изд-во «Мир», М., 1966.)
- B l a u w A., Stars and Stellar Systems, vol. III, 1963, p. 406.
- S a n d a g e A., Galaxies and the Universe, Columbia University Press, 1968.
- S a w y e r-H o g g H., Handbuch der Physik, Bd. 53, 1959, (Русский перевод: Строение звездных систем, ИЛ, М., 1962, стр. 166.)
- S e a r s R. L., B r o w n l e e R. R., Stars and Stellar Systems, vol. VIII, Stellar structure, eds. L. H. Aller, D. B. McLaughlin, Univ. of Chicago Press, 1965, p. 619. (Русский перевод: Внутреннее строение звезд, ред. Л. Аллер, Д. Б. Мак-Лафлин, изд-во «Мир», М., 1970, стр. 290.)

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждого студента: миллиметровую бумагу.

Подходящие скопления, для которых сделаны хорошие фотометрические измерения:

Гиады — О. Н е с к м а н н, Н. L. J o h n s o n, Astrophys. J., 124, 477 (1956).

Плеяды — Н. L. J o h n s o n, R. M i t c h e l l, Astrophys. J., 128, 31 (1958).

Скопление α Per — R. I. M i t c h e l l, Astrophys. J., 132, 68 (1960).

Ясли — Н. L. J o h n s o n, Astrophys. J., 116, 640 (1952).

NGC 2362 — Н. L. J o h n s o n, W. A. H i l t n e r, Astrophys. J., 123, 269 (1956). η и χ Per — там же.

Волосы Вероники — Н. L. J o h n s o n, K n u c k l e s, Astrophys. J., 122, 214 (1955).

Наиболее удобны диаграммы, приведенные к одному масштабу, опубликованные К. А. Бархатовой и В. В. Сыровым. См. также Е. Е. М е н д о з а, Boletin Tonantzintla, 4, 149 (1967).

- Демонстрация. G. Alter, J. Ruprecht, The System of Open Star Clusters and Galaxy, Atlas, Praha, New York, London, 1963.
- G. Alter et al., Catalogue of Star Clusters and Associations, Praha, 1958.
- Маркарян Б. Е., Атлас открытых скоплений, Изд-во АН СССР, М., 1952.

Б34(Л). РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗВЕЗД В ШАРОВОМ СКОПЛЕНИИ

Задача. Вы получили фотографию шарового скопления. Забудьте, что в проекции на плоскость звезды концентрируются в очень компактную группу около центра, тогда как внешние части значительно разрежены. Закон распределения звезд, описывающий эту концентрацию, имеет большое значение для понимания динамики системы и ее происхождения. Распределение в пространстве в функции радиуса r отличается от распределения в проекции на плоскость. Найдём пространственное распределение, опираясь на видимое распределение звезд скопления.

Выполнение задачи. 1. Разделим фотографию приблизительно симметрично относительно центра на равные по ширине горизонтальные полосы, сделав карандашом слабые метки на ее краях. Примем высоту этих полос за единицу длины. В этих же единицах измерим среднее расстояние (по вертикали) каждой полосы от центра. Говоря о пространственной звездной плотности, мы будем иметь в виду число звезд внутри куба со стороной, равной этой же единице.

2. Теперь последовательно подсчитаем число звезд F в полосах. Чтобы сэкономить время, можно рассмотреть только четные полосы. В одной или двух центральных полосах счет будет ненадежным (звездные изображения сливаются), и эти полосы мы не будем учитывать при обработке. Кроме того, полезно осреднять числа для двух полос, симметрично расположенных относительно центра.

3. Начертите теперь функцию $F(r)$, которая дает изменение числа звезд в зависимости от r — расстояния от центра C до середины полосы.

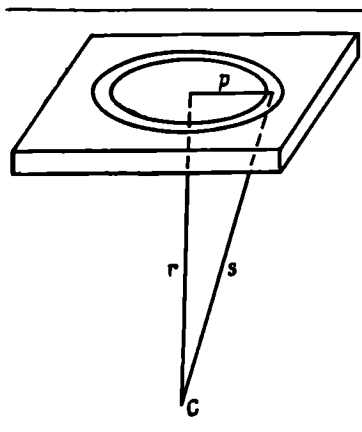
4. Согласно рис. 72,

$$F(r) = \int_{p=0}^{p=R} 2\pi p f(s) dp.$$

Поскольку $s^2 = r^2 + p^2$, мы имеем $pdp = sds$; а

$$F(r) = \int_r^{\sqrt{R^2+r^2}} 2\pi s f(s) ds,$$

где R можно принять очень большим, так что $\sqrt{R^2+r^2} \approx R$.



Р и с. 72.

Производная этого определенного интеграла по r есть

$$\frac{dF}{dr} = 2\pi Rf(R) - 2\pi rf(r) \approx -2\pi rf(r)$$

(предполагая, что $Rf(R) \rightarrow 0$ при $R \rightarrow \infty$). Следовательно,

$$f(r) = -\frac{1}{2\pi r} \frac{dF}{dr}.$$

5. Найдите теперь графически производную dF/dr и вычислите функцию

$$f(r) = -\frac{1}{2\pi r} \frac{dF}{dr},$$

которая представляет пространственную плотность звезд. Не забудьте указать единицы!

6. Начертите $f(r)$ на логарифмической бумаге и найдите показатель степени при r , который приблизительно представляет убывание плотности от центра. Если у вас нет логарифмической бумаги, то отложите $\lg f$ против $\lg r$ на обычной миллиметровой бумаге.

7. Найдите абсолютное значение принятой вами единицы длины (зная масштаб снимка и расстояние до шарового скопления) и определите число звезд в 1 пс^3 .

8. Приближаются ли числа $F(r)$ около границы скопления к какому-либо определенному пределу? На какое расстояние простирается скопление?*

ЛИТЕРАТУРА

- С а m m G. L., Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 112, 169 (1952).
 S a y e r-H o g g H. S., Handbuch der Physik, Bd. 53, 1959, (Русский перевод: Строение звездных систем, ИЛ, М., 1962, стр. 166.)
 S h a p l e y H., Star Clusters, Cambridge, 1930.
 T e n B r u g g e n c a t e P., Sternhaufen, Berlin, 1927.
 V a n B u e r e n H. G., Bull. Astron. Inst. Neth., 11, 403 (1952).

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: фотографию соответствующего скопления; бумагу с двумя логарифмическими шкалами.

* Более детальная методика определения $F(r)$, учитывающая возможную несферичность скопления и различие функций плотности для ярких и для слабых членов скопления, разработана и многократно применена к скоплениям разных типов П. Н. Холоповым в ГАИШ, Москва. — *Прим. ред.*

- Фотографии скоплений можно найти в следующих работах: Struve O., *Elementary Astronomy*, New York and Oxford, 1959, p. 275. (Русский перевод: О. Струве, Б. Линдс, Э. Пилланс, *Элементарная астрономия*, 2-е изд., изд-во «Наука», М., 1967.)
- Publ. Yerkes Obs., plate 19; Publ. Lick. Obs., plate 54; Contr. MtWilson Obs., № 177, plate 7.
- Roberts I., *Photographs of Stars etc.*, vol. 2, London, plate 9, 1899.
- Gauzit J., *Images du Ciel*, Paris, plates 39 and 40, 1960.
- Hoyle F., *Astronomy*, London, 1962, p. 264.
- Eisenhuth A., *Das Weltall im Bild.*, Graz, 1967.

Б35(Л). ПЕРЕМЕННАЯ ТИПА RR ЛИРЫ В ШАРОВОМ СКОПЛЕНИИ

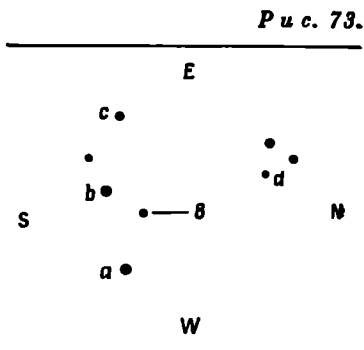
Задача. Фотографии шарового скопления ω Cen В были получены в Иоганнесбурге и изучены Мартином (W. Chr. Martin, *Ann. Sterrew. Leiden*, 1937). Вы будете работать с контактными копиями этих пластинок и по ним получите кривую блеска переменной звезды, принадлежащей скоплению.

Всегда держите пластинку фоточувствительным слоем вниз, не делайте царапин! Область, которая должна быть изучена, обведена красными чернилами.

Первый вечер: оценка звездных величин. 1. Ориентируйте пластинку так же, как ориентирован рис. 73. отождествите переменную (переменная № 8 Мартина) и четыре звезды сравнения a , b , c , d . Если необходимо, сравните с оригинальной работой Мартина (стр. 166, фото I).

2. Оцените звездную величину переменной v по отношению к звездам сравнения, пользуясь общепринятыми обозначениями типа $a3v2b$. Запишите номер пластинки, написанный чернилами вдоль ее края. Сделайте аналогичные оценки по другим пластинкам.

3. Когда все 18 пластинок просмотрены, проинтерполируйте звездную величину переменной между величинами звезд сравнения. Для каждого наблюдения найдите юлианскую дату (т. е. юлианский день JD и долю дня, соответствующую моменту наблюдения, выраженного в среднем гринвичском времени, считаемом от полудня). Звездные величины звезд сравнения следующие:



$$\begin{aligned}
 a &= 14^m,09, & c &= 14^m,80, \\
 b &= 14,55, & d &= 15,35.
 \end{aligned}$$

4. Сравните свои результаты с результатами, полученными опытным наблюдателем по оригинальным пластинкам при помощи фотометра Схилта.

Второй вечер: определение периода. 5. Здесь мы используем оценки звездных величин, полученные Мартином (см. таблицу). Отложите на графике звездные величины против дат наблюдений (взяв масштабы $1^d = 0,5$ см; $1^m = 2$ см). Направление вверх должно соответствовать возрастанию блеска, т. е. уменьшению звездных величин. Наблюдения дают маленькие участки кривой блеска, причем некоторые включают моменты быстрого возрастания блеска. Прежде всего установите, к какой части кривой блеска относится каждое наблюдение — восходящей или нисходящей; пометьте это на своем графике. Интервалы времени можно измерить достаточно надежно только от одного восходящего участка до другого восходящего или от одного нисходящего участка до другого нисходящего.

6. Сравните наблюдения JD ... 37 и ... 38. Нанесите их на график в масштабе $1^d = 10$ см; $1^m = 2$ см. Измерьте как можно точнее интервал времени между этими сериями; он оказывается равным приблизительно 1^d . Следовательно, период равен либо 1^d , либо $0^d,5$. Окончательный выбор сделать трудно, так как по местным условиям звезду можно было наблюдать только около верхней кульминации.

7. Сравните теперь наблюдения JD ... 41 и ... 52 (используя только наблюдение в момент 41,466, для которого блеск является промежуточным между точками JD ... 52). Опять нанесите эти наблюдения на график в таком же масштабе, но сдвиньте один участок на 10 дней по направлению к другому; при измерении остающихся небольших расстояний весь интервал 41—52 определяется точнее.

8. Теперь постараемся установить период. Поделите три интервала (37—38, 41—52 и 28—38) на подходящие целые числа и сравните полученные три значения периода. Предпочтение следует отдать тому значению, при котором три найденных периода дают наименьшие расхождения. Решение можно уточнить привлечением наблюдений JD ... 1495. Покажите преподавателю определенный вами период.

9. Теперь, сменяя наблюдения вдоль оси абсцисс на число периодов, объедините наблюдения так, чтобы все они совпали с наблюдениями, полученными в JD ... 52. Нанесите на график точки в большом масштабе, например $0^d,5 = 10$ см и $1^m = 10$ см. Прежде всего переместите точку JD ... 41,466. Если она не попадет точно на восходящую ветвь кривой, надо слегка изменить период.

10. Из полученного значения периода и формы кривой следует, что эта звезда — типичная переменная типа RR Лиры и что абсолютная звездная величина $\bar{M}_{pg} \approx -0^m,2$. Зная видимую величину \bar{m} , определите расстояние до ω Центавра в парсеках.

(11.) Координаты ω Cen: $\alpha = 13^h 20^m,8$, $\delta = -46^\circ 47'$. Найдите это скопление на картах фотографического атласа Франклина — Адамса и оцените его диаметр сначала в миллиметрах, затем в радианах и, наконец, в парсеках.

Таблица

Блеск переменной № 8 типа RR Луг в скоплении ω Cen (по Мартину)

JD	m	JD	m	JD	m
2426400+					
28,4480	13,86	41,4239	15,20	59,3639	14,81
28,4771	14,09	41,4452	15,02	59,3857	14,94
28,4989	14,23	41,4523	14,69	59,4009	15,01
35,4295	15,04	41,4660	14,14	59,4151	15,09
35,4513	15,18	52,3849	15,05	60,3612	14,64
35,4731	15,27	52,3994	14,63	60,3916	14,81
37,4235	14,60	52,4140	14,08	60,4138	14,97
37,4380	14,76	52,4285	13,89	63,3674	13,97
37,4599	14,87	52,4357	13,94	63,3887	13,90
38,4287	14,38	53,3878	15,33	63,4031	14,15
38,4498	14,51	53,3951	15,36	1495,4535	14,62
38,4716	14,63	53,4242	15,25	1506,4093	14,68
41,4168	15,35	53,4314	15,01		

ЛИТЕРАТУРА

Martin W., Ann. Leiden Obs., 17 (1937).

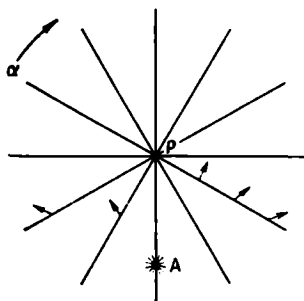
В статье имеется более длинный ряд измерений этой переменной. См. также литературу к задаче Б34.

Что приготовить для выполнения задачи. Контактные отпечатки 18 оригинальных фотографий ω Cen, карты Франклина — Адамса этой области.

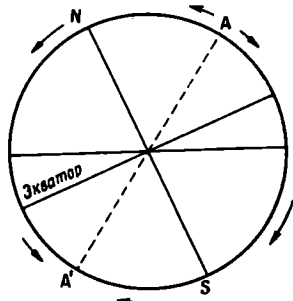
Для каждой пары студентов: станок для пластинок (рис 8), лупу.

Б36(Л). ОПРЕДЕЛЕНИЕ АПЕКСА СОЛНЕЧНОГО ДВИЖЕНИЯ

1. По собственным движениям. Поскольку Солнце (вместе с Землей) движется по направлению к апексу, все звезды кажутся движущимися по направлению к антиапексу. Однако этот эффект



Р и с. 74.

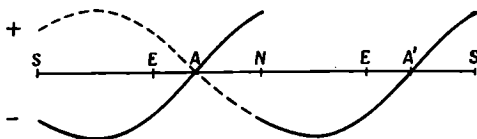


Р и с. 75.

сочетается с пекулярными движениями звезд, которые в первом приближении можно считать случайными. Рассмотрите область неба, расположенную на том же круге склонения, что и апекс (рис. 74). Среди звезд этой области будет примерно одинаковое число объектов с возрастающими и убывающими прямыми восхождениями. В областях, расположенных по одну сторону от этого круга склонения, будут преобладать звезды с возрастающими α , а по другую сторону — с убывающими α . Следовательно, статистическая обработка компонентов μ_α собственного движения должна дать возможность определить круг склонений апекса. Статистическая обработка компонентов μ_δ вдоль этого круга склонений должна дать склонение апекса. Рис. 75 и 76 показывают, что для звезд, движущихся от апекса, знак μ_δ внезапно меняется, когда мы пересекаем Северный или Южный полюс; этого можно избежать, если изменить знак всех μ_δ на дуге NAS и сохранить его на дуге $NA'S$.

Прямое восхождение апекса. 1. Из каталогов собственных движений *General Catalogue* (GC) или *Yale Catalogue of Bright Stars* (BS) выберем группу из 50 звезд, расположенных как можно ближе к кругам склонения 3^h , 6^h , 9^h и т. д. Сосчитайте, сколько из них имеет положительные (P) компоненты μ_α и сколько — отрицательные (N). Для нас существен только знак μ_α , а не его величина.

Р и с. 76.



2. Нанесите на график относительные избытки $(P-N)/(P+N)$ как функцию прямого восхождения. Нулевые значения этой функции соответствуют апексу и антиапексу; установите, где апекс, где антиапекс! Если прямые восхождения различаются не на 12^h , возьмите среднее. Объединив числа P и N , полученные всеми студентами, можно вывести общую кривую, которая даст более точное значение прямого восхождения апекса.

Склонение апекса. 3. Теперь возьмите звезды в пределах полюсы по обе стороны от круга склонения, который проходит через апекс и антиапекс. Образуйте 12 групп по склонению, чтобы каждая группа охватывала участок в 30° . В каждой группе подсчитайте число положительных и отрицательных значений μ_δ . Один студент пусть называет склонения звезд, имеющих $\mu_\delta > 0$, другой ставит крестик в соответствующей группе. То же сделайте и для $\mu_\delta < 0$. (Около полюсов приемлемо любое значение α .)

4. Нанесите на график значения $(P-N)/(P+N)$ как функцию δ . Не забудьте о нашем замечании, относящемся к изменению знака μ_δ около полюсов; измените знак на одной половине круга склонения. Эта функция также имеет два нулевых значения, склонения которых должны отличаться на 180° .

5. Теперь вы нашли прямое восхождение и склонение апекса. Посмотрите по звездному атласу, в каком созвездии он находится, сравните с данными из литературы. Эти данные показывают, что результат зависит от того, относительно каких звезд определялся апекс.

II. По лучевым скоростям. Чтобы найти скорость Солнца, надо определить три компонента его скорости (рис. 77):

z, z' в направлении на полюса ($\delta = 90^\circ, \delta = -90^\circ$),

x, x' в плоскости экватора к $\alpha = 0^h, \alpha = 12^h$,

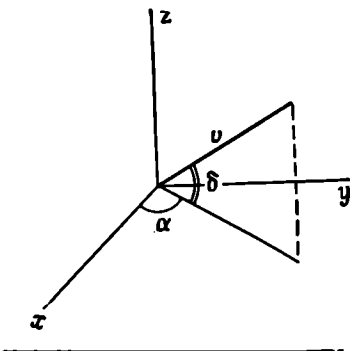
y, y' в плоскости экватора к $\alpha = 6^h, \alpha = 18^h$.

1. Возьмите каталог лучевых скоростей, посмотрите, как он составлен и что в нем приводится.

2. Определите средние значения лучевых скоростей для шести групп звезд, расположенных близ тех точек, куда направлены выбранные оси координат. В каждой группе должно быть по крайней мере 25 звезд; уклонения на $20-30^\circ$ от направления осей можно считать допустимыми. Обозначьте эти средние значения через x, x', y, y', z, z' .

3. Средние значения x и x' должны быть равны, но иметь противоположный знак. Различие их абсолют-

Р и с. 77.



ных значений дает оценку статистических флуктуаций или может быть указанием на *K*-эффект (см. задачу Б37). Получите $\bar{x} = (x - x')/2$ и аналогично \bar{y} и \bar{z} .

4. Наконец, вычислите $v = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$. Очевидно, результат, полученный по такому небольшому материалу, дает лишь порядок величины. Однако величину скорости нельзя получить по собственным движениям. Вычислив α и δ апекса, определите область пространства, по направлению к которой движется Солнце (рис.77). Не ошибитесь в знаке!

Посмотрите по звездному атласу, к какому созвездию движется Солнце. Сравните свой результат с результатом, полученным по собственным движениям.

Составление таблицы

Определение α

	0 ^h	3 ^h	6 ^h	9 ^h	12 ^h	15 ^h	18 ^h	21 ^h	24 ^h
<i>P</i>									
<i>N</i>									
<i>P - N</i>									
<i>P + N</i>									
$\frac{P - N}{P + N}$									

Определение δ

	$\alpha = 18^h$						$\alpha = 6^h$						
	90°	60°	30°	0°	30°	60°	90°	60°	30°	0°	30°	60°	90°
<i>P</i>													
<i>N</i>													
<i>P - N</i>													
<i>P + N</i>													
$\frac{P - N}{P + N}$													

Это упражнение навеяно книгой: Russel, Dugan, Stewart, *Astronomy*, Vol. II, 1938, pp. 657 — 661. (Русский перевод 1-го изд.: Г. Н. Рессель, Р. С. Дуган, Д. К. Стюарт, *Астрономия*, том II, ОНТИ, М., 1935.)

ЛИТЕРАТУРА

- В о к В., Seminars on the Structure and Dynamics of the Galaxy, Mt. Stromlo Observatory, 1965, ch. V.
 Delhaue J., Stars and Stellar Systems, vol. 5, 1965, p. 61.
 Eddington A. S., Stellar Movements, 1914, ch. V.
 Landolt-Börnstein, Astronomie und Astrophysik, VI/1, 3, 1965, S. 627.
 Von der Pahlen E., Lehrbuch der Stellarstatistik, Leipzig, 1937, S. 691—715.
 * Паренаго П. П., Курс звездной астрономии, 3-е изд., Гостехиздат, М., 1954.
 * Курс астрофизики и звездной астрономии, ред. А. А. Михайлов, Физматгиз, т. II, 1962.

Что приготовить для выполнения задачи. Для всей группы: каталог собственных движений, каталог лучевых скоростей, звездный атлас.

Список каталогов имеется в Landolt-Börnstein, VI/1 1965, S. 274.

Собственные движения и лучевые скорости

Gliese W., Mitt. Astr. Rechen-Inst. Heidelberg, Ser. A, № 8, 1957.

Yale Catalogue of Bright Stars, New Haven, 1964 (3 изд.).

Собственные движения

Boss V., General Catalogue, vol. 2—5, Washington, 1937.

Boss L., Preliminary General Catalogue, Washington, 1910.

Connaissance des Temps, 1914.

Star Catalogue, Smithsonian. Astrophys. Obs., 1966.

Лучевые скорости

Campbell W. W., Moore J. H., Publ. Lick. Obs., 16, 347 (1928).

Moore J. H., Publ. Lick. Obs., 18 (1932).

Vouite J., Ann. Obs. Lembang, 3 (1928).

Wilson R. E., General Catalogue of Radial Velocities, Washington, 1953.

Замечание: Чтобы можно было обойтись в два раза меньшим количеством копий, половина студентов может обрабатывать собственные движения, в то время как другая половина изучает лучевые скорости; потом они меняются ролями.

**В37(Л). ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ
ЗВЕЗДНЫХ ДВИЖЕНИЙ**

В предыдущей задаче мы приняли, что движения звезд случайны. Более обширные исследования показали, что собственные движения анизотропны: направление, близкое к $\alpha = 18^\circ$, $\delta =$

$= -12^\circ$ и противоположное ему (*вертексы*), являются предпочтительными. Пусть u , v , w — компоненты скоростей, причем u соответствует направлению на вертекс; тогда числа звезд с компонентами, заключенными между u и $u + du$, v и $v + dv$, w и $w + dw$, приближенно определяются функцией

$$N(u, v, w) du dv dw = ce^{-h^2 u^2 - k^2 (v^2 + w^2)} du dv dw.$$

Поверхности равных плотностей ($N = \text{const}$) являются эллипсоидами.

Проверим эту формулу и определим оси эллипсоида. (Пусть одна группа студентов вычисляет u -компоненты, другая v -компоненты, а затем объедините свои результаты.)

1. Изучите каталог лучевых скоростей; посмотрите, как он составлен и что дается в различных столбцах.

Выберите 200 звезд — 100 вблизи вертекса и 100 в противоположном направлении — в пределах следующих областей:

$$\begin{array}{ll} \alpha \text{ от } 17 \text{ до } 19^{\text{h}}, & \delta \text{ от } -25 \text{ до } 0^\circ, \\ \alpha \text{ от } 5 \text{ до } 7^{\text{h}}, & \delta \text{ от } 0 \text{ до } +25^\circ. \end{array}$$

Если необходимо, эти границы можно немного расширить. Звезды очень ранних классов (O, B) включать не следует.

Подсчитайте число звезд с лучевыми скоростями s км/сек в следующих пределах:

от 0 до +10; от +10 до +20; от +20 до +30; от +30 до +40; от +40 до +50; от +50 до +60;
 от 0 до -10; от -10 до -20; от -20 до -30; от -30 до -40;
 от -40 до -50; от -50 до -60.

Очень поучительно проследить, как эта кривая становится все более гладкой и более правильной. Начертите график функции распределения $N(s)$.

2. Эту функцию можно аппроксимировать кривой Гаусса. Поскольку мы рассмотрели только u -компоненты, предположим, что $N(u) du = c'e^{-h^2 u^2} du$.

Эта кривая несимметрична относительно нуля, что обусловлено параллактическим компонентом солнечного движения.

3. *Соответствие кривой Гаусса эмпирическому распределению.*

а. Найдите среднее значение абсцисс $\bar{s} = \sum ns / \sum n$, затем рассмотрите новую систему координат с осью абсцисс $u = s - \bar{s}$.

б. Вычислите $\bar{u}^2 = \sum nu^2 / \sum n = 1/2h^2$.

И в том и в другом случае суммируются значения не для отдельных звезд, а для групп, что значительно ускоряет работу и дает очень хорошие результаты. Для определения \bar{u}^2 объединим звезды, расположенные в направлении обоих вертексов, принимая во внимание знак лучевой скорости; аналогично поступают при

построении кривой распределения Гаусса. Эта кривая теперь имеет вид

$$\begin{aligned} N(u) &= \frac{Mh}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 u^2} = \\ &= \frac{Mh}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2/2u^2}, \end{aligned}$$

где $M = \int N(u) du$ — полное число звезд. Постройте эту кривую и сравните с наблюденной кривой. Есть ли «быстрые» звезды?

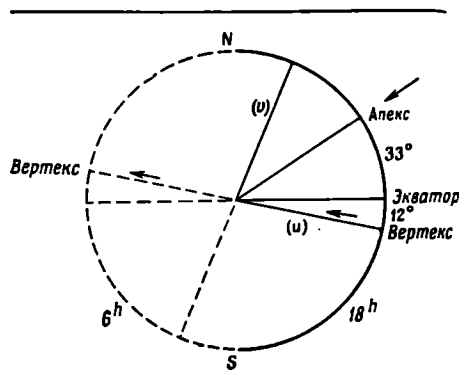
4. Повторите всю процедуру для движений, направленных в две точки, отстоящие на 90° от вертексов, например вблизи $\alpha = 18^h$, $\delta = +80^\circ$ и в противоположном направлении. (Найдите эти точки на звездном глобусе.) Вы получите кривую $N(v) = c'' \cdot e^{-h^2 v^2}$.

Сравните дисперсию $1/k$ с дисперсией $1/h$ кривой компонента u . Различие дисперсий отражает фундаментальное явление, названное сначала *звездным потоком*, которое, как выяснилось позже, объясняется вращением звезд вокруг центра Галактики. Это вращение происходит по эллипсам, особенно для звезд спектральных классов dK и dM.

5. Сравните полученные вами значения полуосей эллипсоида скоростей с опубликованными результатами, полученными по гораздо более обширному материалу.

(6.) Равны ли значения \bar{s} для двух вертексов по абсолютной величине? Если нет, то это выглядит так, как будто помимо солнечного движения происходит общее расширение (или сжатие) Галактики в окрестностях Солнца. Какое значение вы получили для так называемого *K-члена*? Он может быть частично обусловлен систематическими ошибками в лучевых скоростях, частично гравитационными эффектами массивных звезд, частично диссипацией местного облака ранних звезд, для которых *K-член* достаточно велик.

(7.) По величинам \bar{s}_u и \bar{s}_v , исправленным за *K-эффект*, можно вывести скорость Солнца по направлению к апексу ($\alpha = 18^h$, $\delta = +30^\circ$). Поскольку оба вектора скорости и апекс лежат почти в плоскости круга склонений, проходящего через 18^h , можно написать (рис. 78)



Р и с. 78.

$$\text{Скорость Солнца} = s_0 = \sqrt{\overline{s}_u^2 + \overline{s}_v^2}.$$

Кроме того, $\overline{s}_u = s_0 \cos \theta$ и $\overline{s}_v = s_0 \sin \theta$, где θ — угол между апексом и вертексом. Сравните с результатами, полученными в задаче БЗ6.

ЛИТЕРАТУРА

- Book B., *Seminars on the Structure and Dynamics of the Galaxy*, Mt. Stromlo Observatory, 1965, Ch. VI.
 Delhaye J., *Stars and Stellar Systems*, Vol. 5, 1965, p. 61.
 Landolt-Börnstein, *Astronomie und Astrophysik VI/1*, 1965, S. 636—637.
 Oort J. H., *Stars and Stellar Systems*, vol. V, 1965, 474.
 Woolley R., *Stars and Stellar Systems*, Vol. V, 1965, p. 89.
 * Zonn W., Rudnicki K., *Astronomia gwiazdowa*, Warszawa, 1957. (Русский перевод: Зонн В., Рудницкий К., *Звездная астрономия*, ИЛ, М., 1959.)
 * Курс астрофизики и звездной астрономии, ред. А. А. Михайлов, Физматгиз, т. II, 1962.
 Задача навеяна следующей статьей:
 Williamson R. E., *Astrophys. J.*, 93, 511 (1941).
 Для быстрого перехода от галактических координат к экваториальным используйте сетки приложения XI в Справочнике любителя астрономии П. Г. Куликовского, 1971.

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: каталог лучевых скоростей, миллиметровую бумагу, звездный глобус.

Список каталогов лучевых скоростей приведен в задаче БЗ6.

БЗ8. МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ

Наша задача — нанести на карту полосу Млечного Пути. Наблюдения надо проводить в ясную ночь, по крайней мере в 5 км от окраины города на открытом месте. Свет Луны и городские огни даже на значительном расстоянии от города мешают наблюдениям. Карманный фонарик должен давать очень слабый свет.

1Н. *Наблюдения.* Когда глаза привыкнут к темноте, проследите ход Млечного Пути и отождествите основные созвездия вдоль него. Найдите эту часть неба на звездной карте или в атласе, где Млечный Путь не обозначен. Постарайтесь точно определить среднюю линию полосы Млечного Пути и нанести на карту несколько ее точек. При этом прикрывайте фонарик рукой, чтобы на карту попадало как можно меньше света. Отметьте карандашом каждую точку, которую вы выбрали, и затем немедленно погасите свет; даже принимая эти меры предосторожности, вы обнаружите, что глазу потребуется около минуты, чтобы полностью адаптироваться.

Сначала изучите южную часть Млечного Пути, проследите его как можно ближе к горизонту. Затем через зенит перейдите к северной части Млечного Пути и также постарайтесь проследить его до горизонта.

В некоторых местах вы заметите раздвоение полосы Млечного Пути, например около Персея. Чем дальше вы смотрите, тем больше деталей заметно. Вы сможете различить темные и светлые облака. Всегда ищите как бы центр тяжести поперек яркой полосы.

2Л. *Обработка наблюдений.* Тщательно перенесите свои метки на карту северной полусферы. Проведите через них сглаженную кривую. Это будет галактический экватор.

3Н. Найдите минимальное расстояние от полюса мира до этого круга и определите наклон полосы Млечного Пути к небесному экватору. Кроме того, определите положения узлов, где галактический экватор пересекает небесный экватор.

Сравните свои результаты с опубликованными данными.

ЛИТЕРАТУРА

- Р а н н е к о е к А., Die Nördliche Milchstrasse, Ann. Sterrenw. Leiden, 11^o (1920); Publ. Amsterdam, № 3 (1933).
 В о к В. J., В о к Р. F., The Milky Way, Cambridge, Mass., 1957, ch. 1.
 (Русский перевод: Б. Б о к, П. Б о к, Млечный Путь, Физматгиз, М., 1959.)

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: карманный фонарик, прикрытый красной бумагой; звездные карты, используемые для наблюдения метеоров; карту неба, но без Млечного Пути.

Б39. ТЕМНЫЕ ТУМАННОСТИ

Задача. Многие участки Млечного Пути удивительно бедны звездами. Можно показать, что это влияние огромных пылевых облаков, которые поглощают свет находящихся за ними звезд и ослабляют их блеск. Сведения о подобных облаках можно получить сравнением звездных подсчетов в области, свободной от поглощения, и в области, где имеет место поглощение. Подсчеты должны быть проведены отдельно для звезд каждой звездной величины.

Для таких подсчетов можно использовать фотографические карты неба, например Франклина — Адамса, или фотографический атлас звезд Веренберга. С этими очень ценными изданиями необходимо обращаться очень осторожно, делать на них пометки нельзя!

Выполнение задачи. 1. Прежде всего в атласе Хавтаси и по фотографиям Барнарда или Росса — Кальверта найдите область, которую вы будете исследовать. Сравните ее с соответствующей

областью на карте Веренберга, выберите область с поглощением и соседнюю с ней контрольную область, свободную от поглощения.

Положите на карту целлулоидную пленку и обведите на ней контуры областей, которые подлежат сравнению. При этом избегайте царапин, не делайте на карте никаких пометок!

2. Для оценки блеска звезд вам выдадут шкалку звездных изображений на полоске бумаги. Лучше иметь несколько шкалок, из которых можно выбрать удобную для каждого более или менее широкого диапазона звездных величин. Постарайтесь запомнить, как приблизительно выглядят эти изображения, и пронумеруйте их на шкалке.

3. Теперь положите на исследуемую область целлулоидную палетку, на которую нанесена прямоугольная сетка (с клетками размером, например, 2×3 мм). Оцените блеск каждой звезды, которая попадает в пределы данного прямоугольника. Внимательно просматривайте в лупу всю область рядами слева направо.

Сначала немного попрактикуйтесь, чтобы приобрести некоторый опыт. Затем в пределах выбранной области с поглощением в каждой клетке определите блеск каждой звезды в единицах шкалки; результаты оценок пусть записывает ваш товарищ*. Продолжайте работу до тех пор, пока не насчитаете всего около 300 звезд. Постарайтесь при этом дойти до самых слабых изображений. Найти достаточное число ярких звезд будет не легко; в этом случае сосчитайте яркие звезды в более широком поле, т. е. за пределами избранной области.

4. Повторите эти подсчеты в поле без поглощения. Постарайтесь сохранить постоянство оценок блеска, чаще сверяясь со шкалкой. Число точек дает искомые числа n_1 и n_1' .

5. Нанесите на график суммарное по всем клеткам число звезд для каждого интервала блеска; если необходимо, слегка сгладьте кривые. Затем вычислите отношение числа звезд в области с поглощением A' к числу звезд в контрольной области A для каждого интервала блеска: $V = A'/A$.

Разумеется, общая площадь, на которой производились подсчеты, должна быть одинаковой для обеих областей**.

6. Чтобы перейти от оценок блеска по шкалке к обычным звездным величинам, сравните стандартные изображения звезд с кар-

* Это удобно делать следующим образом: вы оцениваете номер изображения на шкалке (и десятые доли интервала между соседними изображениями), а ваш товарищ ставит точку в ту графу таблицы, которая отвечает интервалу; номер изображения $\pm 0,5$ интервала шкалки, т. е. от $N - 0,5$ до $N + 0,5$. Если звезд много, то удобно располагать точки в каком-нибудь порядке, например пятерками или, соединяя пять точек пятью прямыми, выделять десятку. — *Прим. ред.*

** В частности, если вы подсчитывали число самых ярких звезд на большей площади, то окончательно возьмите число звезд, пропорциональное площади изученной области. — *Прим. ред.*

той атласа Веренберга (или Франклина — Адамса), содержащей Северный Полярный Ряд, для которого была проведена тщательная фотометрия. Вместо сглаженных кривых A по аргументу N шкалки теперь можно взять A для целочисленных значений m , т. е. $A(m)$ и $A'(m)$. В качестве числа звезд $\bar{A}(m)$ в контрольной области лучше брать числа $\bar{A}(m)$, найденные из подсчетов по всему небу на той же галактической широте (см. табл. на стр. 227).

Постройте график $\lg \bar{A}(m)$ в функции m ; затем по своим наблюдениям $V(m)$ найдите значения $\lg \bar{A}'(m)$, которые нанесите на тот же график (так называемая *диаграмма Вольфа с кривыми Вольфа*).

7. Рассмотрите кривые $\bar{A}(m)$ и $\bar{A}'(m)$. Около какой звездной величины проявляется действие темной туманности и начинается заметное поглощение света звезд фона? Каково полное поглощение, испытанное наиболее далекими звездами?

Замечание. Если поглощение для всех звездных величин примерно одинаково, то это означает, что облако находится достаточно близко к Солнцу. Если ярких звезд больше в области с поглощением, то это может быть либо случайным отклонением (так как число подсчитанных звезд очень мало), либо объясняется тем, что яркие звезды физически связаны с облаком, которое может увеличить скорость образования звезд, либо контрольная область, которая считалась свободной от поглощения, также экранируется облаком.

Составление таблицы

Контрольная область						
	Блеск					
	1	2	3	4	5	...
1-я клетка	n_1	n_2	...	...	...	...
2-я клетка	...	...	...	...	...	...
...
Всего	Σn_1	Σn_2	...	...	...	...

Область с поглощением						
	Блеск					
	1	2	3	4	5	...
1-я клетка	n'_1	n'_2	...	...	...	...
2-я клетка	...	...	...	...	...	...
...
Всего	$\Sigma n'_1$	$\Sigma n'_2$	...	...	...	...

	m					
	5	6	7	8	9	...
V (m)						...
lg V (m)						...
lg \bar{A} (m)						...
lg \bar{A}' (m)						...

Значения lg A (m)

Таблица

[Seares F. H., Van Rhijn P. J., Joyner M. C.,
Richmond M. L., Astrophys J., 62, 368 (1925)]

m	Галактическая широта			
	0°	30°	60°	90°
4,0	8,219	7,898	7,734	7,680
4,5	8,447	8,127	7,963	7,910
5,0	8,674	8,355	8,191	8,139
5,5	8,900	8,582	8,417	8,364
6,0	9,125	8,807	8,641	8,584
6,5	9,349	9,030	8,863	8,802
7,0	9,572	9,252	9,082	9,016
7,5	9,794	9,471	9,299	9,227
8,0	0,016	9,688	9,512	9,433
8,5	0,236	9,901	9,721	9,634
9,0	0,455	0,113	9,924	9,830
9,5	0,673	0,323	0,121	0,022
10,0	0,889	0,529	0,312	0,209
10,5	1,102	0,731	0,498	0,390
11,0	1,314	0,928	0,679	0,565
11,5	1,525	1,120	0,854	0,735
12,0	1,733	1,308	1,024	0,898
12,5	1,938	1,491	1,189	1,054
13,0	2,141	1,668	1,348	1,205
13,5	2,339	1,839	1,502	1,351
14,0	2,532	2,003	1,649	1,491
14,5	2,720	2,160	1,789	1,625
15,0	2,902	2,310	1,992	1,752
15,5	3,078	2,453	2,048	1,873
16,0	3,248	2,589	2,167	1,988

m	Галактическая широта			
	0°	30°	60°	90°
16,5	3,412	2,716	2,279	2,095
17,0	3,571	2,836	2,384	2,104
17,5	3,725	2,950	2,482	2,287
18,0	3,874	3,058	2,573	2,374
18,5	4,017	3,159	2,657	2,456
19,0	4,153	3,253	2,734	2,531
19,5	4,282	3,339	2,803	2,597
20,0	4,405	3,417	2,864	2,654
20,5	4,522	3,487	2,917	2,702
21,0	4,631	3,547	2,961	2,743

Таблица

Темные галактические облака

Объекты, подходящие для исследования

Номер по Хавта-си	Созвездие	α	δ	l	l II	b	Ссылка
278	Телец	4 ^h 20 ^m	+28°	138°	171°	-13°	Z. Astrophys., 6, 259, 1933
273	»						
282	»						
264	Возничий	4 30	+38	132	165	-5	Там же, 17, 191, 1939
447	Южный Крест	12 48	-62	270	303	0	Там же, 8, 66, 1934
556	Змееносец	16 23	-24	327	0	15	Там же, 3, 369, 1931
612	»	17 10	-22	329,5	2,5	7,5	Там же, 4, 365, 1932
600	»	17 25	-25,5	329	2	2,5	Там же, 3, 261, 1931
744	Щит	18 50	-5	356	29	-3	Astron. Nachr., 220, 1, 1926

Другие удобные для исследования объекты приведены в работе Lynds В. Т., Stars and Stellar Systems, Chicago, 1968, vol. VII, p. 131.

ЛИТЕРАТУРА

- Becker W., *Sterne and Sternsysteme*, vol. V, Dresden und Leipzig, 1950, p. 25.
 Bok B. J., Bok P. F., *The Milky Way*, Cambridge, Mass., 1957, ch. 7.
 (Русский перевод: Б. Бок, П. Бок, Млечный Путь, Физматгиз, М., 1959.)

Что приготовить для выполнения задачи. Тщательно отобранные фотографические карты неба или карты Франклина — Адамса, или H. Vehrenberg, *Photographischer Stern Atlas*, Düsseldorf, Treugesel-Verlag, 1963. (От $\delta = -26^\circ$ до $\delta = +90^\circ$.)

Демонстрация:

- Barnard E. E., *A Photographic Atlas of the Milky Way*, Washington, 1927.
 Ross F. E., Calvert M. R., *Atlas of the Northern Milky Way*, Chicago, 1934.
 Хавтаси Д. Ш., Атлас темных галактических туманностей, Тбилиси, 1960.

Для каждой пары студентов: целлулоидную пленку; целлулоидную палетку (клетки размером 2×3 мм), шкалку звездных изображений, полученную путем фотографирования ряда изображений звезд со сдвигом пластинки каждый раз на несколько миллиметров и увеличением продолжительности выдержки в 1,5 раза; эта шкалка копируется на стекло или пленку, затем отпечатывается на бумаге (изображения звезд теперь черные на белом фоне); миллиметровую бумагу, лупу.

Отождествить Северный Полярный Ряд трудно, потому что обычно на карты наносят те звезды, которые отобраны для фотометрии. Однако в следующих публикациях есть полные карты, которые делают отождествление легким: Куликовски й П. Г., *Справочник любителя астрономии*, изд-во «Наука», М., 1971; Rousseau J., Spite F., *Contr. Labor. Astron. Lille*, № 9 (1958), который необходимо объединить с *Ann. Harv. Obs.*, 71, № 3, 49 (1917) или с *Astrophys. J.*, 41, 223 (1915).

Б40(Л). СПИРАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ГАЛАКТИКИ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА $\lambda 21$ см

Облака нейтрального водорода в нашей Галактике излучают на волне 21 см. Рис. 79 воспроизводит спектральные записи, полученные на радиотелескопе Двингело, Голландия, через интервал 5° по долготе вдоль галактического экватора.

Легко заметить, что линия часто бывает смещена в сторону более коротких или более длинных волн относительно своего «нормального» положения, соответствующего ее частоте. Этот сдвиг мы приписываем эффекту Доплера. Обычно профиль линии довольно сложный, так как на луче зрения может находиться несколько

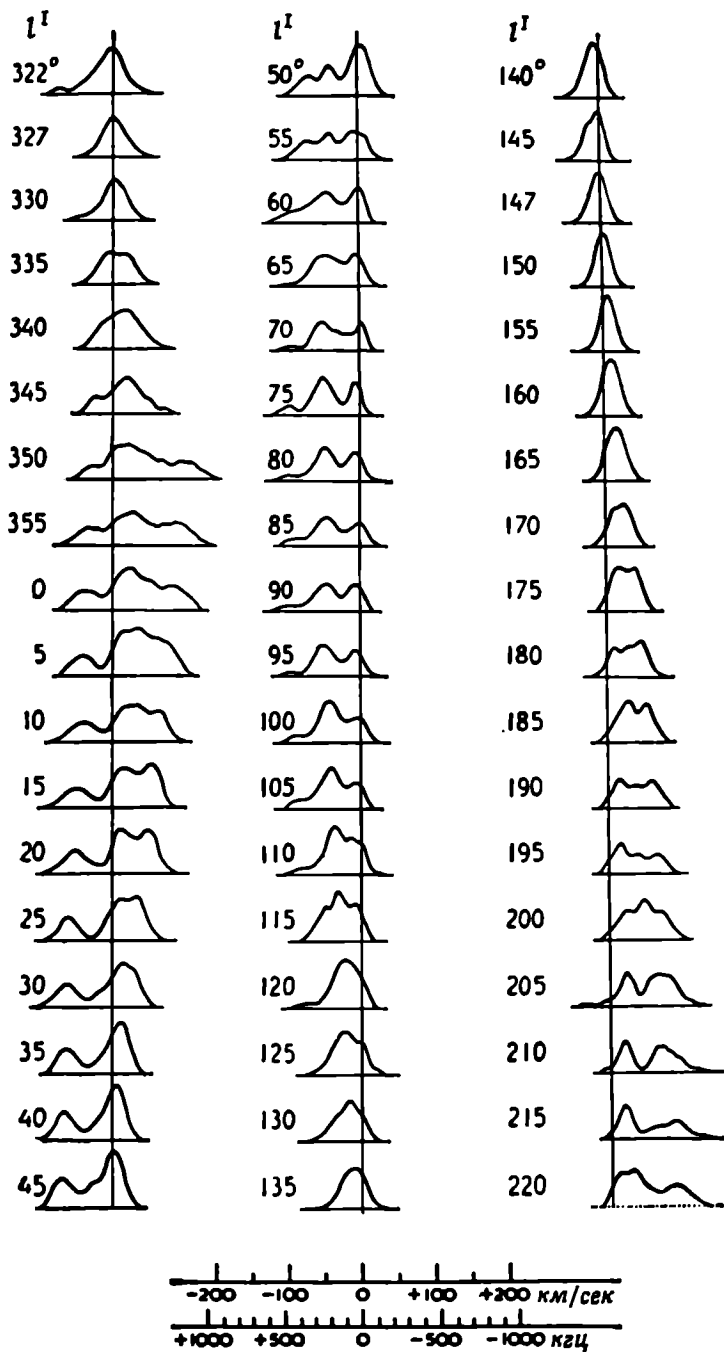


Рис. 79. Профили эмиссионных линий водорода на $\lambda 21$ см [Van de Hulst H. C., Muller C. A., Oort J. H., Bull. Astron. Inst. Neth., 12, 125 (1954)]. Галактические долготы l^I , данные для всех кривых, должны быть редуцированы к принятым в настоящее время $l^{II} = l^I + 33^\circ$, использованным на рис. 81.

облаков водорода, имеющих различные лучевые скорости по отношению к Солнцу. Они прозрачны, и мы регистрируем их интегральное излучение. По шкале, приведенной под диаграммой (рис. 79), можно получить зависимость между доплеровским смещением и относительной лучевой скоростью.

Различные объекты в Галактике вращаются вокруг общего центра C по почти круговым орбитам; их угловая скорость $\omega(R)$ уменьшается от центра к периферии так же, как в случае планетной системы. Функция $\omega(R)$, определенная частично по наблюдениям, частично теоретически, показана на рис. 80.

Теперь выведем зависимость между расстоянием до излучающего объекта P и его лучевой скоростью относительно Солнца S (рис. 81). Компоненты скоростей вдоль линии SP дают

$$v_r = R \omega \sin l - R_0 \omega_0 \sin l^{\text{II}}$$

Из треугольника SCP имеем $R \sin l = R_0 \sin l^{\text{II}}$.

Следовательно,

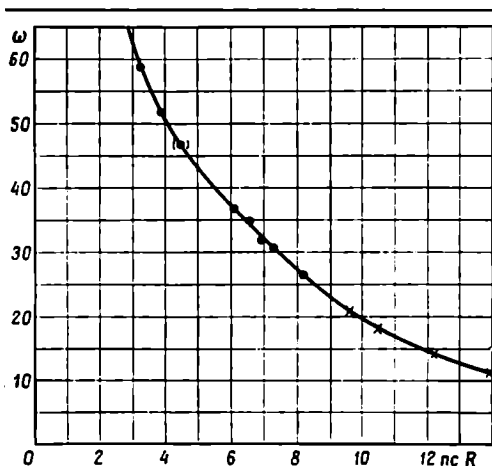
$$v_r = R_0 [\omega(R) - \omega_0] \sin l^{\text{II}}$$

В работе Ван де Хюлста, Мюллера и Оорта приняты значения: $R_0 = 8,2 \text{ клс}$, $\omega_0 = 26,4 \text{ км/сек} \cdot \text{кпс}$. В настоящее время R_0 принимается равным 10 клс .

Выполнение задачи. 1. Выберите

первый (левый) максимум профиля для $l^{\text{II}} = 35^\circ$. Последовательно вычислите $\Delta\lambda$, v_r , $\sin l^{\text{II}}$, $\omega - \omega_0$, ω , затем по рис. 80 определите R .

Р и с. 80.



2. Нанесите положение облака в полярных координатах, представляющих галактическую плоскость. Солнце находится в этом масштабе на 5 см выше галактического центра. Проведите луч зрения от S и найдите положение облака.

Помните, что расстояние R измерено от галактического центра C .

3. На соседних записях также выявляется максимум, который можно интерпретировать аналогично.

Поскольку непрерывность очевидна, следуйте в направлении меньших и больших галактических долгот. Для экономии времени можно рассматривать профили через 10° по долготе.

ЛИТЕРАТУРА

- Вок В. J., Вок Р. F., The Milky Way, Cambridge, Mass. 1957., p. 242.
(Русский перевод: Б. Бок, П. Бок, Млечный Путь, Физматгиз, М., 1959.)
- Керр F. J., Westerhout G., Stars and Stellar Systems, Vol. V, 1965, p. 167.
- Van de Hulst H. C., Muller C. A., Oort J. H., Bull. Astron. Inst. Neth., 12, 11 (1954).
- * Курс астрофизики и звездной астрономии, ред. А. А. Михайлов, Физматгиз, т. II, 1962.
- * Зонн W., Rudnicki K., Astronomia gwiazdowa, Warszawa, 1957.
(Русский перевод: Зонн В., Рудницкий К., Звездная астрономия, ИЛ, М., 1959.)

Что приготовить для выполнения задачи. Для каждой пары студентов: транспортир, таблицы синусов.

Современные данные, согласованные с $R_0=10$ клс, имеются в обзоре Schmidt M., Stars and Stellar Systems, Vol. V, 1965, p. 528.

Предметный указатель

- Аберрация 59
Азимут 33
Алиада 41, 42
Альbedo 104, 106—108
Аномалия 81
Апекс Солнца 216—219
Апоастр 199
Астрографический каталог
Атмосферная экстинкция
- Блenda 120
Болометрическая поправка 179
- Венера 105—106
Верньер 41, 42—43, 51
Вертекс 221
Вращение Галактики 231
— Солнца 136, 138, 139
— суточное 35, 114
Время всемирное 37, 38
— декретное 37
— звездное 27, 36, 37, 38, 40, 49
— поясное 36, 38
— среднее солнечное 33
— эфемеридное 37, 38
Всплески радионалучения 149
Высота 39, 49
Высотомер 20, 39, 54
- Галактика, вращение 230
— полюс 31
— спиральная структура 229, 232
— центр 230
Гиады 183—185, 209, 210
Главная последовательность 172, 173
— — нулевого возраста 208, 210
- Диаграмма Герцшпрунга — Рессе-
ла 178
Диаметр звезд 178
— Луны 76, 101
— Солнца 53, 114
Дисперсия 121
Дифракция 74, 146
Долгота 37, 38
- Жеал Якоба 20, 75
- Задача трех тел 88
Звездная величина 26
— — абсолютная 178, 196
— — болометрическая 178
— — видимая 155, 159
— — фотовизуальная 170
— — фотографическая 170
Звездные потоки 221—222
Звезды двойные 90, 170, 189, 190, 195
— — визуальные 190, 191
— — затменные 202
— — спектральные 197
— — элементы орбит 193—194, 199—200, 206
— диаметр 178
— параллакс 57, 180—182, 184
— переменные 214
— скорость лучевая 180—182, 184, 197, 201, 218
— — пространственная 184
— — тангенциальная 184
— собственные движения 59, 180—182, 183, 184
— спектральный класс 164—169, 175, 180—182
— температура 179
— цвет 154, 170, 189
— — избыток 177
— — показатель 161, 170—172
Зенит 40
- Избыток цвета 177
Инструментальная функция 125, 126
Искусственный спутник Земли 95—97
- Комета 30, 31
Конвективные ячейки Бенара 143
Координаты 25, 29, 62, 63
— галактические 31
— гелиографические 138
— гелиоцентрические 81, 83, 86
— геоцентрические 81, 86
Корона 145, 146
Крест нитей 17, 35, 73

- Кривая блеска 186, 202—204
 — Гаусса 222
 — интегральная 199
 — лучевых скоростей 198
 — роста 130, 133
 — характеристическая 104, 123
 Круг равных высот 55
 — склонения 25
- Луна, диаметр 76, 101
 — затмение 78—80
 — кратеры 100—103
 — либрация 99
 — орбита 75—77, 78
 — топография 98
 — фотометрия 103—105
 Луна 24
- Марс 81, 82—84, 106
 Масса — светимость 195, 196
 Межзвездное поглощение 172, 174, 175
 Межпланетная пыль 146
 Меридианный круг 47, 50, 61
 Метод Фуко 69—70, 71
 Микрофотометр 18, 19, 103, 104, 160
 Млечный Путь 31, 223—224
 Модуль расстояния 211
 Мультиплет 130
- Нугация 60
- Объективная решетка 74, 170
 Окуляр 17, 72, 73
 Опорная звезда 61
- Параллакс 57, 58, 79, 180—182
 — динамический 195
 Параллактический угол 32
 Периастр 192, 199
 Перигей 78
 Перигелий 80
 Пиргелиометр 115, 116
 Плазменная частота 152
 Планеты, наблюдения 105
 — орбиты 80
 — — элементы 80—84
 — положения 85—87
 — спектр 109, 110
 Плеяды 209, 210
 Плотность почернения 103
 Позиционный угол 80, 191
 Показатель цвета 161, 172
 Потемнение к краю 110, 118, 119
- Прецессия 59
 Прямое восхождение 25
- Радиоизлучение водорода 229
 Разделенный круг 17, 41—43
 Разрешающая сила 121, 189
- Сатурн 106, 108—110
 Светимость 164, 165
 Северный Полярный Ряд 226
 Секстант 19, 51—53
 Сигналы точного времени 38
 Сидерический период 82, 139
 Сила осциллятора 130
 Синодический период 82, 139
 Система *UBV* 172
 Склонение 25
 Скопления звездные 207
 — — движущиеся 183—185, 208
 — — рассеянные 207, 208—211
 — — шаровые 207, 212—213, 214
 Созвездия 25—30, 154
 Солнечная постоянная 117
 Солнце, вспышки 149
 — грануляция 143
 — покраснение к краю 113
 — потемнение к краю 113, 118, 119
 — пятна 113, 136, 138
 — скорость 223
 — спектр 120, 130
 — температура 117
 — угловой диаметр 112—114
 Спектральная классификация 165—169
 Статистический вес 130
 Сферический треугольник 31, 33, 41
- Телескоп 17, 43—45, 47, 48, 72—74, 106
 — изготовление зеркала 65—72
 — наведение 35, 44, 46—47
 Теллурические линии 128
 Температура возбуждения 133
 Точка весеннего равноденствия 25, 29
 Траектория метеора 92—94
 Туманности 207
 — темные 224
- Узлы орбиты двойных звезд 193
 — — Луны 78
 — — планет 80
 Уравнение времени 33
 Уран 106

- Фотографическая вуаль 104, 161
 Фотометрия звезд 156, 160
 — Луны 103—105
 — Солнца 118, 123, 124
 — спектров 123, 124
 — *UVV* 172
 Фраунгоферовы линии 120, 122, 125, 172.
 — — крылья 120, 124, 126
 — — профили 124—127
 — — сила 128
 Функция светимости 179
- Цефеиды 186—188
 Цикл солнечной активности 140
- Часовой круг 17, 43
 — угол 33, 40, 46
- Часы 15, 46, 54
 — поправка 40, 48
 — солнечные 33
 Число Вольфа 140
- Широта 40, 49
- Эквивалентная ширина 128, 129
 Эклиптика 32
 Эксцентриситет 80, 192
 Элементы орбит 80, 85
 Эфемериды 85
 Эффект Доплера 108, 229
- Юлианская эра 186
 Юпитер 106
- Ясли 158—160

Содержание

<i>Предисловие редактора перевода</i>	5
<i>Предисловие к русскому изданию</i>	8
<i>К преподавателю</i>	9
<i>К студенту</i>	12
<i>Технические замечания</i>	15

А. П Л А Н Е Т Н А Я С И С Т Е М А

ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ, ИНСТРУМЕНТЫ

A1. Звезды вокруг Северного полюса	25
A2. Некоторые осенние созвездия	28
A3. Сферические треугольники	31
A4. Солнечные часы	33
A5. Суточное вращение Земли	35
A6. Переход от одной системы счета времени к другой	36
A7. Простые измерения с высотомером	39
A8. Эксцентриситет разделенного круга	41
A9. Установка телескопа	43
A10. Наведение телескопа на звезду	45
A11. Абсолютные измерения с меридианным кругом	47
A12. Редукция на меридиан	50
A13. Секстант	51
A14. Определение положения корабля в открытом море (метод Сомнера — Сент-Илера)	54
A15. Параллакс как мера звездных расстояний	57
A16. Прецессия, абберрация, нутация	58
A17. Измерение астрографических пластинок	60
A18. Изготовление зеркала телескопа (три вечера)	65
A19. Оптика небольшого телескопа	72

ДВИЖЕНИЕ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

A20. Орбита Луны	75
A21. Орбита Луны по эфемеридным данным	78
A22. Затмения Луны	88
A23. Положения планет на орбитах	80
A24. Орбита Марса по определению Кеплера	82
A25. Геоцентрические координаты планеты	85
A26. Задача трех тел	88
A27. Траектория метеора	92
A28. Прохождение искусственного спутника Земли	95

ПЛАНЕТЫ И СПУТНИКИ

A29. Топография Луны	98
A30. Вид лунных кратеров	100
A31. Фотографическая фотометрия Луны	103

А32. Наблюдения планет в телескоп	105
А33. Альbedo Венеры	106
А34. Вращение Сатурна	108

Б. З В Е З Д Ы

СОЛНЦЕ

Б1. Размеры Солнца	112
Б2. Солнечная постоянная	115
Б3. Распределение яркости по солнечному диску	118
Б4. Спектр Солнца	120
Б5. Профили фраунгоферовых линий	122
Б6. Профили фраунгоферовых линий (уточнение и интерпретация)	125
Б7. Эквивалентная ширина фраунгоферовых линий	127
Б8. Кривая роста	129
Б9. Солнечные пятна	136
Б10. Вращение Солнца	138
Б11. Солнечный цикл	140
Б12. Конвективные ячейки Бенара	143
Б13. Форма короны Солнца	145
Б14. Всплески радиоизлучения, связанные с солнечной вспышкой	149

ЗВЕЗДЫ

Б15. Зарисовка созвездий	154
Б16. Видимые звездные величины звезд	155
Б17. Диаметр звездных изображений как мера блеска (структура звездного изображения)	158
Б18. Фотоэлектрическая микрофотометрия звездных изображений	160
Б19. Атмосферная экстинкция	162
Б20. Спектры звезд	163
Б21. Цвета звезд	170
Б22. Фотометрическая система <i>UBV</i>	172
Б23. Межзвездное поглощение	175
Б24. Ближайшие звезды	178
Б25. Движение Гиад	183
Б26. Средняя кривая блеска цефеиды	186
Б27. Наблюдения двойных звезд	189
Б28. Орбита визуально-двойной звезды (метод Цвируса)	191
Б29. Динамический параллакс двойных звезд	195
Б30. Орбита спектрально-двойной звезды (2-й метод Анротэ)	197
Б31. Орбита затменной переменной	202
Б32. Наблюдения звездных скоплений и туманностей	207
Б33. Рассеянные скопления	208
Б34. Распределение звезд в шаровом скоплении	212
Б35. Переменная типа RR Лир в шаровом скоплении	214
Б36. Определение апекса солнечного движения	216
Б37. Предпочтительные направления звездных движений	220
Б38. Млечный Путь	223
Б39. Темные туманности	224
Б40. Спиральная структура Галактики по измерениям на $\lambda 21$ см	229
Предметный указатель	234

УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Ваши замечания о содержании книги, ее оформлении, качестве перевода и другие просим присылать по адресу: 129 820, Москва, И-110, ГСП, 1-й Рижский пер., д. 2., издательство «Мир».

М. МИННАРТ

Практическая астрономия

Редактор *М. Я. Рутковская*
Художник *Г. В. Чуцлов*
Художественный редактор *В. М. Варлашин*
Технический редактор *Н. Д. Толстякова*
Корректор *В. С. Соколов*

Сдано в набор 19/III 1971 г.
Подписано к печати 10/VIII 1971 г.
Бумага № 1. 60×90¹/₁₆ = 7,5 бум. л. Печ. л. 15.
Уч.-изд. л. 14,40. Изд. № 27/5887
Цена 1 р. 30 к. Зак. 184.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»
Москва, 1-й Рижский пер., 2

Ярославский полиграфкомбинат Главполиграф-
прома Комитета по печати при Совете Минист-
ров СССР. Ярославль, ул. Свободы, 97.

