

52
K935

Н. Е. КУРОЧКИН

**ИНСТРУКЦИЯ
ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ
ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД**

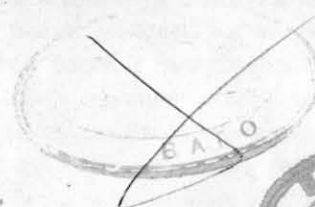


А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р
ВСЕСОЮЗНОЕ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ
ОБЩЕСТВО

52
K935.

Н. Е. КУРОЧКИН

ИНСТРУКЦИЯ
ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ
ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
Москва 1963

Ответственный редактор
член-корреспондент АН УССР В. П. Цесевич

ВВЕДЕНИЕ

Исследование переменных звезд — это обширное и благодарное поле деятельности для астронома-любителя. Уже простым глазом можно вести наблюдения переменных звезд до 5-й звездной величины (по всему небу известно около 40 таких звезд), а в призмный бинокль или небольшой телескоп можно получать ценный научный материал о сотнях переменных звезд до 7—10 звездной величины.

В настоящее время при помощи крупных телескопов и фотографии обнаружено и исследовано около 15 500 переменных звезд, а около 8000 звезд заподозрены в переменности блеска. Астрономы-профессионалы не успевают регулярно следить за всеми переменными звездами. Многие, даже яркие переменные звезды не имеют продолжительных рядов наблюдений. Сотни любителей во всех странах мира помогают астрономам, определяя моменты максимумов и минимумов блеска цефеид и долгопериодических переменных звезд, моменты минимумов затменных переменных, исследуя кривые блеска. Это позволяет уточнять значения периодов, обнаруживать изменения периодов со временем. Во многих случаях звезды показывают скачкообразные отклонения от закономерного хода явлений. Это особенно относится к полуправильным, неправильным, новоподобным и вспыхивающим переменным звездам, закономерности изменений блеска у которых сложны и еще недостаточно изучены. Но и так называемые «правильные» переменные звезды, имеющие периодический характер изменения блеска, часто отклоняются от найденных для них закономерностей. Это заставляет стремиться к регулярным и систематическим наблюдениям за каждой переменной звездой.

Большинство звезд на небе кажутся неизменными по блеску. Переменные звезды показывают внимательному наблюдателю, что в звездном мире происходят сложные физические процессы, которые

отражаются в изменениях излучения звезд. Эти первые сведения о физических изменениях в звездном мире можно получить, не прибегая к помощи крупных и сложных инструментов.

Изменения блеска физических переменных звезд сопровождаются изменениями температуры их поверхностных слоев. Наблюдая переменные звезды через светофильтры, можно исследовать изменение звездных температур. Затменные переменные звезды изменяют блеск в результате затмения одной звезды другой, когда звезды располагаются вдоль луча зрения наблюдателя. Исследование затменных двойных звезд позволяет выявить орбитальное движение в таких тесных звездных парах, которые даже в самые мощные телескопы не разделяются на компоненты. Изучение затменных переменных звезд приводит к определению звездных температур, размеров звезд и их масс, а в некоторых случаях дает возможность определять расстояния до звезд, их абсолютные размеры и даже судить о внутреннем строении звезды. Многие физические характеристики звезд удается находить из сравнительно простых наблюдений за переменными звездами. Научная работа астронома-любителя, систематически наблюдающего переменные звезды, как бы она ни была на первый взгляд скромна, приобретает для астрономии важное значение.

* * *

Сведения о всех переменных звездах, обнаруженных и более или менее исследованных к настоящему времени, публикуются в «Общем каталоге переменных звезд», который издается в Москве. Последнее издание этого каталога вышло в свет в 1958 г. В нем содержатся сведения о 14 708 переменных звездах. Общий каталог издается каждые 10 лет. Каждые два-три года выпускаются дополнения к нему, содержащие все новые сведения, которые появились за двухлетний период в научной литературе о переменных звездах. Данные о наиболее ярких переменных звездах помещаются регулярно в переменной части «Астрономического календаря». Каталог ярких переменных звезд до 8,25 звездной величины имеется в приложении к большому «Звездному атласу» А. А. Михайлова, переменные звезды до 9—10 звездной величины в зависимости от типа можно найти в «Постоянной части Астрономического календаря», в каталоге «Атласа неба» Бечваржа.

Каждая новая переменная звезда, изменения блеска которой подтверждены несколькими наблюдателями, обозначается определенным шифром с кратким обозначением созвездия, в котором звезда находится. Для обозначения используются буквы латинского алфавита, начиная с R до конца алфавита, а затем парные сочетания букв, исключая букву J, которая сходна по написанию с I. Например, RR, RS, ... SS, ... SZ, TT, ... AB, ... AZ, BB, ... QQ, ... QZ. Такая система обозначений позволяет назвать в данном созвездии 334 переменные звезды; после этого парные сочетания букв оказываются исчерпанными. Условились последующие переменные звезды обозначать порядковыми номерами, начиная с 335-го, добавляя перед числом большую латинскую букву V. Так, например, V 335 Sgt — это 335-я переменная звезда в созвездии Стрельца.

Яркие переменные звезды, ранее имевшие обозначения греческими буквами, новых наименований не получают, например α Ori (α Ориона). Звезды, вновь открытые, или заподозренные в качестве переменных, часто получают предварительные обозначения или номера, система которых зависит от страны или обсерватории, где открыта переменная звезда.

Приводим главные из обозначений, наиболее часто встречающиеся в литературе.

Новооткрытые переменные звезды, данные о которых публиковались в немецком журнале «Astronomische Nachrichten» или «Beobachtungs Zircular», получали предварительные обозначения такого вида: они состояли из двух чисел — порядкового номера и года открытия. Например, 299.1929 Vul — 299-я звезда в списке переменных, открытых в 1929 г., находящаяся в созвездии Лисички (Vulpecula). Эти обозначения присваивались переменным звездам с 1900 по 1954 г.

Переменные звезды, открытые на Гарвардской обсерватории, получали обозначения, состоящие из двух букв: HV (Harvard Variable) и порядкового номера открытия; например, HV 3671 — 3671-я переменная звезда, открытая на Гарвардской обсерватории.

Аналогичные предварительные обозначения приняты и для звезд, открытых в Зоннебергской обсерватории (ГДР); они состоят из букв S (Sonpeberg) и номера. S 5426 — означает, что это 5426-я звезда, открытая на этой обсерватории.

Переменные звезды, которые открыты после Октябрьской революции в СССР, обозначаются так: СПЗ 1277 — это 1277-я переменная звезда, найденная советскими астрономами. (Раньше было принято обозначение латинскими буквами SVS.)

Буквами BV обозначаются переменные звезды, открытые в Бамбергской обсерватории; VV — в Ватиканской обсерватории.

379 переменных звезд, открытых американским астрономом Франком Россом, обозначаются его фамилией с добавлением порядкового номера открытия; например, Ross 153.

Нередки случаи, когда одна и та же звезда получает несколько предварительных обозначений. Например, звезда CT Tau = S 3953 = = СПЗ 1014. Не трудно догадаться, что ее открыли независимо друг от друга в Зоннеберге и в СССР.

Сведения о звездах, переменность которых обнаружена, но не подтверждена, были собраны в различных каталогах. В 1929 г. был опубликован каталог Циннера. В 1934 и 1937 гг. аналогичный каталог составил Прагер. Наиболее полный каталог был составлен Б. В. Кукаркиным, П. П. Паренаго, Ю. И. Ефремовым и П. Н. Холотовым и опубликован в 1951 г. Он называется «Каталог звезд, заподозренных в переменности». Этот каталог полностью заменяет каталоги Циннера и Прагера.

После того как переменность звезды доказана, она получает окончательное обозначение и включается в Общий каталог переменных звезд (или дополнения к нему).

ШКАЛЫ ЗВЕЗДНЫХ ВЕЛИЧИН

Блеск звезд измеряется в звездных величинах. Еще Гиппарх при составлении своего звездного каталога (около 150 г. до н. э.) разделил видимые невооруженным глазом звезды на шесть классов по их блеску. Это разделение сохранилось до сих пор, но теперь ему придана точная математическая формулировка. Шкала звездных величин основывается на психофизиологическом законе Вебера — Фехнера, согласно которому величина зрительного ощущения возрастает в арифметической прогрессии, если интенсивность источника света возрастает в геометрической прогрессии. Обозначим блеск одной звезды через E_1 , другой — через E_2 . Разность звездных величин этих звезд устанавливается в зависимости от отношения их блеска логарифмическим выражением:

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{m_2 - m_1}$$

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4 (m_2 - m_1).$$

Это значит, что при разности в одну звездную величину ($m_2 - m_1 = 1$) одна звезда ярче другой в 2,512 раза. Нуль-пункт зависимости выбран условно, но, по международному соглашению, таким образом, чтобы Полярная звезда была второй величины. Однако впоследствии выяснилось, что Полярная — переменная звезда типа δ Цефея. Сравнивая блеск стандартных звезд с лабораторными источниками света, можно привести звездные величины к международным световым единицам. Теперь для этого используются точные измерения с фотоэлектрической аппаратурой. Однако при сравнении блеска звезд между собой знание абсолютных величин интенсивностей излучения или световых потоков не является необходимым.

Звезды, блеск которых хорошо известен, служат стандартом для определения блеска других звезд. Чаще всего используется стандарт Северного Полярного Ряда (NPS), где звездные величины значительного количества звезд определены фотоэлектрически через светофильтры в нескольких цветах. Другие фотоэлектрические стандарты имеются в Плеядах, в скоплении Волос Вероники,

в ряде других скоплений и областей неба. Часто используются при фотографических и фотовизуальных определениях звездных величин стандарты, полученные на Гарвардской обсерватории. При фотографических наблюдениях можно использовать стандартные звезды в площадках Каптейна, которые следуют через каждые 15° по склонению и через 1° по прямому восхождению. В окрестностях хорошо изученных переменных звезд обычно имеется несколько постоянных звезд, звездные величины которых определялись сравнением с каким-нибудь стандартом. Они служат для определения блеска переменной звезды, которая с ними сравнивается. В некоторых случаях эти звезды можно использовать, чтобы определить величины звезд сравнения еще неисследованной переменной звезды, но нужно помнить, что точность таких («третье-степенных») определений невелика. Определение звездных величин сравнением со стандартными звездами нужно производить при одинаковых зенитных расстояниях. В противном случае необходимо вводить поправку за поглощение в земной атмосфере, учитывая разность зенитных расстояний сравниваемых звезд.

Применяемая в настоящее время система звездных величин носит название Интернациональной системы звездных величин. Различаются визуальные величины звезд, которые применимы при визуальных наблюдениях, и фотографические звездные величины, которые можно применять при изучении звезд по фотографиям на обыкновенных (несенсибилизированных) фотоматериалах. Только белые звезды спектрального класса A0 имеют совпадающие фотографические и визуальные звездные величины. Для красноватых звезд более поздних спектральных классов визуальные величины меньше фотографических (звезда кажется глазу более яркой, чем получается на фотографической пластинке, если сравнивать ее со звездой спектрального класса A0). Разность: фотографическая звездная величина минус визуальная — характеризует цвет звезды и называется показателем цвета.

Величина показателя цвета данной звезды зависит не только от ее цвета, но и от свойств приемника излучения. Каждый приемник излучения, будь то глаз, фотографическая пластинка или фотоэлемент, имеет свою кривую распределения спектральной чувствительности. Для построения кривой откладывают на горизонтальной оси длины волн, а на вертикальной — величину, измеряющую чувствительность приемника излучения. При некоторой длине волны чувствительность достигает максимума. У глаза максимум чувствительности лежит в области желтых лучей спектра (примерно у длины волны $5600 \text{ \AA}$). У обычной несенсибилизированной фотографической пластинки, которая сильнее реагирует на коротковолновое излучение, максимум чувствительности имеет место при длине волны примерно $4200 \text{ \AA}$.

Применяя различные светофильтры, можно существенно изменять кривую распределения чувствительности, как бы «вырезая»

из нее различные участки. Свойства такой системы «светофильтр + приемник излучения» будут характеризоваться своей областью чувствительности. Поэтому следовало бы каждому значению звездной величины приписывать, например, длину волны максимума чувствительности. Только тогда показатель цвета имеет вполне определенный смысл.

Наиболее надежные значения показателя цвета могут быть определены из фотоэлектрических наблюдений, выполненных через специально подобранные светофильтры. Однако достаточно точные значения показателя цвета можно определить и фотографическим путем. Для этого получают два фотоснимка. Один из них делается на обычных несенсибилизированных пластинках и на нем определяются фотографические звездные величины. Вторым снимком делается на ортохроматических пластинках, чувствительных также к желтым и оранжевым лучам, или на панхроматических пластинках через специально подобранный желтый светофильтр. Измеряемые на таком снимке звездные величины называются «фотовизуальными». Разность полученных величин и равна показателю цвета.

Колебания блеска многих переменных звезд связаны с изменением температур их внешних частей. Следовательно, колебания блеска сопровождаются изменениями показателя цвета. Проблема построения кривых изменения показателя цвета представляет огромный интерес.

Приближенные, но достаточно интересные результаты можно получить из сравнения кривых блеска, полученных одновременно из визуальных (глазомерных) оценок и определений фотографических звездных величин по обычным снимкам. При этом надо иметь надежные шкалы звездных величин звезд сравнения.

ПОДБОР ПРОГРАММЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ПОИСКИ ПЕРЕМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ

Выбор звезды для исследования приходится соотносить с имеющимся инструментом. Простым глазом можно оценивать звезды до 5^m . Ниже приведены предельные величины звезд, доступные при наблюдениях в телескоп с отверстием в $D \text{ мм}$. В зависимости от качества оптики в действительности предел инструмента может несколько отличаться от рассчитанного.

$D, \text{ мм}$	15	25	50	75	100	150	200
$m_{\text{пред}}$	8,0	9,1	10,6	11,6	12,1	13,0	13,6

Вначале следует выбирать звезды более яркие, далеко от предела, с большими амплитудами изменения блеска, с правильными колебаниями: цефеиды, затменные переменные, звезды типа Миры Кита. После приобретения навыка в оценках блеска можно приступить к более трудным наблюдениям звезд, обладающих неболь-

шими амплитудами, а также к исследованию неправильных, полуправильных и неизученных переменных звезд.

Выбрав звезду, ее наносят на звездную карту по координатам α и δ той эпохи равноденствия, к которой отнесены звезды атласа, т. е. с учетом прецессии. Это даст возможность найти место звезды по отношению к ярким звездам неба. Для наблюдения звезд до $8^m.5$ можно пользоваться большим «Звездным атласом» А. А. Михайлова, где отмечены звезды до $8^m.25$ и, в частности, переменные звезды до $8^m.2$ в максимуме блеска. Для более слабых звезд можно использовать звездные атласы Бечваржа («Атлас неба» и «Атлас эклиптикальных звезд»). Обычно для слабых звезд приводится карта окрестностей переменной с указанием звезд сравнения. Поиски следует начинать с отождествления ярких звезд и переходить постепенно ко все более слабым, обозначенным на карте. Полезно мысленно составить цепочку из звезд от какой-нибудь яркой звезды, видимой невооруженным глазом, к исследуемой переменной, запомнить наиболее характерные конфигурации звезд (двойные и кратные звезды, более яркие звезды, составляющие цепочки, треугольники и другие запоминающиеся фигуры) с тем, чтобы в последующие ночи быстро находить переменную звезду на небе.

Если наблюдатель обладает телескопом с экваториальной установкой, поиски звезды можно облегчить, найдя яркую звезду или характерную конфигурацию звезд с тем же склонением или прямым восхождением, как и у переменной звезды. Закрепив затем инструмент ключом по одной из координат, движением по другому кругу легко приводят телескоп на нужное место, где переменная звезда отождествляется по карте окрестностей.

Карты окрестностей ярких и наиболее интересных переменных звезд можно найти, например, в книге П. Г. Куликовского «Справочник любителя астрономии»; для некоторых переменных звезд карты окрестностей приведены в приложении к данной инструкции. В последнее время чешские астрономы издали специальные карты для нахождения переменных звезд.

ОЦЕНКИ БЛЕСКА

Чтобы определить блеск переменной звезды, мы сравниваем ее со звездами, обладающими постоянным блеском, — звездами сравнения. Последние выбираются поблизости от переменной, желательно в пределах поля зрения инструмента. Они должны, по возможности, удовлетворять следующим требованиям.

Во-первых, их цвет должен мало отличаться от цвета переменной звезды. Во-вторых, желательно, чтобы их блеск отличался от блеска переменной не более чем на $0^m.3$ — $0^m.5$. Лишь в крайних случаях можно выбирать звезды сравнения с большими интервалами

блеска, но это снижает точность наблюдения. Следует отметить, что увеличение числа звезд сравнения повышает точность сравнения блеска переменной звезды.

Непосредственно оценивать разность блеска звезд в звездных величинах трудно, поэтому наблюдатель переменных звезд вырабатывает особую единицу блеска — степень. Величина одной степени устанавливается условно, как наименьшая разность в блеске, которую может заметить наблюдатель. У разных наблюдателей величина степени колеблется от $0^m.03$ до $0^m.20$. Обычно у неопытных наблюдателей она больше, а после приобретения навыка уменьшается и становится более или менее постоянной. В небольших пределах величина степени может зависеть от инструмента, звездной величины объектов, условий наблюдения, состояния наблюдателя. При оценке блеска предпочтительнее пользоваться интерполяционными методами, которые позволяют в значительной степени освободиться от ошибок, связанных с непостоянством степени.

Найдя переменную звезду на небе и подобрав соответствующие звезды сравнения, приступаем к определению оценок блеска. Это выполняется одним из трех способов — Пиккеринга, Аргеландера и Нейланда — Блажко. Начнем описание со способа Пиккеринга — наиболее простого.

Способ Пиккеринга. Интерполяционный способ Пиккеринга очень удобен, если мы располагаем звездными величинами звезд сравнения. Оценке подвергается блеск трех звезд: переменной и двух звезд сравнения, из которых одна ярче, другая слабее переменной. Разница в блеске мысленно делится на десять равных частей и оценивается, на сколько десятых долей блеск переменной отстоит от блеска более яркой или более слабой звезды сравнения. При этом быстро переводят взгляд с одной звезды на другую, все время возвращаясь к переменной, производя таким образом мысленную интерполяцию. Запись наблюдения: $a\ 3v7b$ означает, что переменная звезда отстоит по блеску от более яркой звезды a в сторону слабой на $0,3$ интервала блеска звезд a и b . Главным недостатком метода Пиккеринга является необходимость знания звездных величин звезд сравнения.

Способ Аргеландера. В отличие от способа Пиккеринга, где в оценке блеска участвуют обязательно три звезды, в способе Аргеландера производится оценка разности блеска двух звезд — переменной и звезды сравнения. Эта разность оценивается в условных единицах — степенях. Поэтому главное внимание начинающего наблюдателя должно быть направлено на выработку величины степени. Чтобы облегчить этот процесс, опишем следующую схему.

Вглядываясь поочередно в две звезды — переменную и звезду сравнения a , мы руководствуемся следующим. Если v и a кажутся

обладающими одинаковым блеском, но после длительного рассматривания мы убедимся, что a все же чуть-чуть ярче, — мы пишем $a1v$ и говорим, что a на одну степень ярче, чем v . Если же мы видим более уверенно, что a ярче v , то можно написать $a2v$ и сказать, что блеск звезды a на две степени больше блеска звезды v . Если мы сразу видим, что a ярче v , то пишем $a3v$ и т. д. Интервалы больше 3—4 степеней оценивать не рекомендуется. Лучше подобрать другую звезду сравнения.

Однако полное наблюдение не может состоять из оценки только одной пары звезд. Выполнив оценку со звездой a , мы должны сделать сравнение и со звездой b , более слабой, чем переменная. Тогда полное наблюдение запишется, для примера, так:

$a3v; v2b$.

По мере накопления опыта величина степени стабилизируется, оценки становятся более уверенными и точными.

На первый взгляд, способ Аргеландера обладает большим произволом, чем способ Пиккеринга. Однако он имеет то преимущество, что позволяет создать степенную шкалу звезд сравнения, и для обработки наблюдений знание звездных величин звезд сравнения теперь необязательно.

Способ Нейланда — Блажко. Способ Нейланда — Блажко совмещает в себе степенной метод Аргеландера и интерполяционный Пиккеринга и поэтому является наиболее точным.

Совсем не обязательно делить интервал блеска между звездами сравнения на 10 частей, как в случае метода Пиккеринга. При небольших различиях блеска такое разделение будет, пожалуй, фиктивным, так как мы не можем составить ясное представление об интервале, меньшем величины 1 степени в способе Аргеландера. При пользовании способом Нейланда — Блажко, производя интерполяцию, делят интервал блеска между звездами сравнения на то число степеней, в которое оценивается сам интервал. Иногда делают так. Оценивают интервал между a и b по методу Аргеландера в степенях, а затем прикидывают, во сколько раз больше (или меньше) интервал v и b , чтобы установить, сколько таких же степеней заключено в нем.

Наблюдение записывается так: $amvnb$, где m и n — числа степеней.

Дадим наблюдателю несколько советов.

Глаз перед началом наблюдений должен привыкнуть к темноте (в течение нескольких минут). При наблюдениях не следует применять для записи яркий источник света (хорошо при записи закрывать тот глаз, который производит наблюдение). Нельзя пользоваться при наблюдениях фонарем, свет которого ослаблен цветным (например, красным) стеклом. Это может оказать влияние на оценки, если звезды сравнения и переменная имеют разные цвета.

Если сравниваемые звезды расположены далеко от центра

поля зрения, надо быстро переводить телескоп так, чтобы видеть оцениваемую звезду в центре поля зрения. Это нужно делать быстро, чтобы сохранить впечатление от блеска сравниваемых звезд.

ОШИБКИ НАБЛЮДЕНИЙ

Случайные ошибки создают рассеяние точек при построении кривой блеска переменной звезды. При визуальных наблюдениях они составляют от $0^m.05$ до $0^m.20$, в зависимости от опыта наблюдателя. Осреднение наблюдений, близких по времени, уменьшает случайные ошибки, но нельзя думать, что таким путем можно добиться любой степени точности. Предел точности глазомерных относительных оценок составляет около $\pm 0^m.05$.

Большие неприятности доставляют систематические ошибки, которые могут заметно исказить действительную картину явлений. Перечислим некоторые из них.

а) Ошибка цветности. Индивидуальные особенности глаза приводят к систематическим ошибкам при оценках окрашенных звезд. Часто систематически различаются оценки блеска, произведенные разными наблюдателями, или одним наблюдателем на разных инструментах, или одним наблюдателем при разных условиях наблюдений (например, при наличии или отсутствии Луны). В таких случаях приходится производить специальное исследование систематических ошибок. При оценках желтых и красных звезд следует подбирать в качестве звезд сравнения звезды такой же окраски (сходных спектральных классов) и наблюдать их в строго одинаковых условиях.

б) Ошибка предпочтения. Некоторые наблюдатели при оценках блеска предпочитают записывать равенство блеска, или оценки определенного типа, например, $a2v8b$ или $a8v2b$, что приводит к систематической группировке точек на кривой блеска около некоторых значений. Чтобы устранить такие ошибки, следует подбирать две-три пары звезд сравнения с разными соотношениями в блеске относительно переменной.

в) Ошибка предвзятого мнения. Иногда наблюдатель, наблюдая в течение ночи одну и ту же звезду несколько раз, запоминает предшествующую оценку, и это влияет на результат следующей оценки. Если оценивается в течение ночи несколько звезд и оценки разных звезд перемежаются, опасность такой ошибки уменьшается. Каждую оценку следует производить независимо от других, стараясь освободиться от влияния предвзятых идей. Например, можно ухудшить результаты наблюдения, если ожидать предвычисленный момент максимума и минимума.

г) Ошибка интервала. Очень существенную роль в способах Аргеландера и Нейланда — Блажко может играть ошибка интервала.

Допустим, что мы имеем 3 звезды сравнения a, b, c . Пусть часть оценок произведена в интервале $(a - c)$, а часть в интервалах $(a - b)$ и $(b - c)$. Если вычислить из наблюдений величины интервалов $b - a, c - b$ и $c - a$, то часто оказывается, что сумма $(b - a) + (c - b)$ больше, чем $c - a$, а не равна ему, как следовало ожидать. Оказывается, при оценке малых интервалов блеска степень мельче.

ЗАПИСЬ ВРЕМЕНИ И ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

Для быстроменяющихся звезд время записывается с точностью 0,1–0,5 минуты. Для долгопериодических и медленных неправильных переменных достаточна точность $0^d.1$, т. е. запись даты и часа наблюдений. Вспышки некоторых вспыхивающих переменных типа UV Кита происходят в течение нескольких десятков секунд. В таких случаях время фиксируется на слух или по счету секунд от некоторого замеченного момента. Часы должны быть сверены с сигналами точного времени, передаваемыми по радио, и в моменты наблюдений вносятся соответствующие поправки. Выраженные обычно в декретном времени моменты приводятся к Мировому (гринвичскому) времени по общим правилам (к востоку от Гринвича вычитается номер пояса и еще 1 час). Наблюдатели переменных звезд пользуются непрерывным счетом суток — юлианским календарем, счет которого начинается от полудня 1 января 4713 г. до н. э. В специальных таблицах даются юлианские дни начала каждого месяца и года, так что по дате наблюдений легко вычислить соответствующий юлианский день. Часы, минуты и секунды переводятся по таблицам в доли суток, причем нужно вычесть 12^h или $0^d.5$ из момента по Мировому времени, так как счет юлианских дней ведется от полудня. Так, например, 20 час. 35 мин. по Московскому декретному времени 30 января 1960 года соответствует 2 436 964,233 юлианского периода (обозначение JD).

Трудно установить какие-либо правила для ведения записей в журнале наблюдений. Когда наблюдаются в течение ночи несколько переменных звезд, обычно ведется общий журнал, куда заносятся все наблюдения по порядку. На следующий день наблюдения расписываются в тетради по отдельным звездам. Полезно иметь тетрадь с картами окрестностей переменных звезд. При записи полезно также отмечать состояние атмосферы и наблюдателя. Записи должны производиться аккуратно, четким почерком, чтобы избежать ошибок при расшифровке. Окончательную обработку производят в отдельной тетради, где в колонках выписываются юлианские дни и вычисленный по оценкам блеск переменной. Все записи рекомендуется вести на одной стороне листа, так как при обработке часто приходится проводить дополнительные вычисления.

ПРИВЕДЕНИЕ МОМЕНТА К ЦЕНТРУ СОЛНЦА

При движении Земли вокруг Солнца наблюдатель оказывается то дальше от звезды, то ближе к ней, если только звезда не находится в полюсе эклиптики. За счет этого свет, движущийся со скоростью около 300 000 км/сек, достигает Земли то раньше, то позже, в зависимости от положения Земли на орбите (различия достигает $\pm 8^m.306$). Моменты наблюдений, если блеск изменяется быстро, должны быть исправлены за это движение, согласно уравнению

$$\Delta t = -0^d.0058 R \cos(L_{\odot} - \lambda) \cos \beta,$$

где Δt — поправка для приведения момента к центру Солнца;
 R — радиус-вектор Земли, взятый из Ежегодника (в долях большой полуоси земной орбиты),

$R = 1$, если время записывается с точностью до $\pm 0^m.5$;
 $L_{\odot}$ — долгота Солнца (соответствующая гелиоцентрической долготе Земли минус 180°);

λ и β — эклиптические координаты (долгота и широта) звезды.

Можно пользоваться номограммой, составленной М. С. Зверевым и опубликованной в книге Б. В. Кукаркина и П. П. Паренного «Переменные звезды и способы их наблюдения» [1].

Полученные моменты носят название приведенных к Солнцу и обозначаются значком $\odot$ (например, $JD_{\odot}$) или JD_{hel} .

ОБРАБОТКА НАБЛЮДЕНИЙ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЛЕСКА ПЕРЕМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ

При пользовании способом Аргеландера или Нейланда — Блажко следует связать блеск звезд сравнения единой зависимостью — степенной шкалой. Для этого определяют средние разности в степенях между звездами сравнения. Так, например, из оценки $b2v\ 5c$ получаем $c - b = 7^s.0$ и берем среднее из всех таких наблюдений. Допустим, что нами получена совокупность средних значений разностей: $b - a = 5^s.56$; $c - b = 3^s.25$; $d - c = 2^s.00, \dots$. Теперь строим степенную шкалу. Принимая для наиболее яркой звезды значение $a = 0^s.00$, получаем для звезды $b = a + (b - a) = 0^s.00 + 5^s.56 = 5^s.56$, для $c = a + (b - a) + (c - b) = 0^s.00 + 5^s.56 + 3^s.25 = 8^s.81$ и т. д. Полученные выражения блеска звезд сравнения в степенях вполне соответствуют (при аккуратных наблюдениях) ходу звездных величин. В этом легко убедиться, построив графическую зависимость между степенями и звездными величинами (см. рис. 1). Обычно точки на графике располагаются около прямой линии, если величина степени постоянна на всем интервале звездных величин. Сопоставление степенной шкалы со шкалой звездных величин дает возможность исправить значе-

ния звездных величин звезд сравнения, если они были определены неточно, а также учесть индивидуальные особенности восприятия блеска данным наблюдателем, ибо каждый наблюдатель по-своему оценивает соотношение блеска, особенно, если звезды различаются немного по цвету.

Отклонения точек от прямой линии характеризуют случайные ошибки наблюдений. Иногда величина степени зависит от звездной

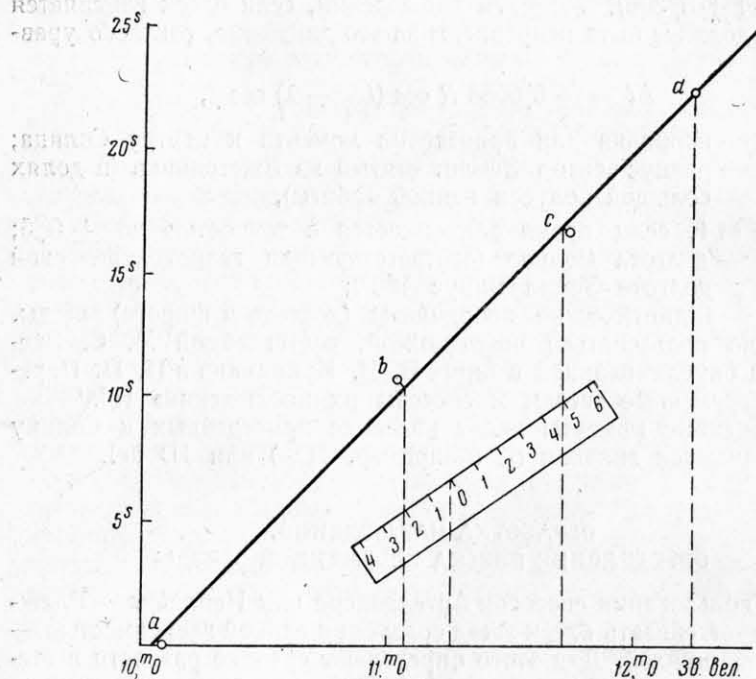


Рис. 1. Построение степенной шкалы, исправление звездных величин звезд сравнения и графический способ интерполяции при помощи линейки с делениями

величины, что приводит к изгибанию графика. Тогда проводят плавную кривую линию так, чтобы она по возможности прошла вблизи всех точек. Сумма отклонений точек от этой кривой должна равняться нулю по обеим координатам. При помощи графика звездные величины звезд сравнения приводятся к степенной шкале наблюдателя. Для этого из точек на прямую опускают перпендикуляры, как показано на рисунке, и с горизонтальной оси (оси звездных величин) снимают исправленные значения звездных величин звезд сравнения. С этими значениями можно переходить к вычислению звездной величины переменной. Интерполяцию можно производить с помощью этого же графика, проведя вертикальные прямые и пользуясь интерполяционной линейкой (рис. 1).

Если звездные величины звезд сравнения неизвестны и их нельзя определить привязкой к стандарту, блеск звезд сравнения и переменной звезды выражается в степенях без перевода в звездные величины.

После того как построена степенная шкала, приступают к вычислению блеска переменной звезды. Положим, нужно определить блеск по оценке $b2v5c$. В нашей шкале блеск звезды b был равен $b = 5^s.56$, а блеск c : $c = 8^s.81$. Разность $c - b = 3^s.25$. Блеск переменной получается простой интерполяцией:

$$v = b + \frac{(c - b) \cdot 2}{7} = 5,56 + 3,25 \frac{2}{7} = 6^s.49.$$

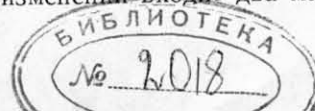
В способе Пиккеринга звездная величина переменной легко определяется интерполяцией между звездными величинами звезд сравнения. Можно пользоваться при этом интерполяционными таблицами, которые обычно даются в справочниках по математике, или простым графическим приемом, суть которого легко понять из рис. 1. Еще лучше воспользоваться логарифмической линейкой.

ОБРАБОТКА НАБЛЮДЕНИЙ. ПОСТРОЕНИЕ КРИВОЙ БЛЕСКА

Теперь мы имеем моменты наблюдений и блеск переменной звезды, выраженный в звездных величинах или степенях — все, что нужно, чтобы определить зависимость изменения блеска от времени. Отложим по горизонтальной оси время, по вертикальной — звездные величины или степени. Масштаб графика должен соответствовать скорости процессов. Для медленно меняющихся переменных звезд, например, достаточно располагать 100 дней на 5 см, для быстрых переменных нужно иметь возможность отмечать на графике десятые или даже сотые доли суток. Масштаб по другой оси должен выбираться так, чтобы чертеж не получался слишком сжатым или вытянутым. Нанеся на график все наблюдения, мы получаем, таким образом, картину изменения блеска переменной звезды. Дальнейшая обработка наблюдений зависит от типа переменности.

Неправильные и полуправильные переменные

Переменные этих типов показывают нерегулярные колебания блеска. Кривая блеска, нанесенная на график, вполне характеризует эти переменные. Если наблюдений много, можно попытаться подметить какие-либо закономерности в ходе изменений блеска, например частоту повторяемости длины циклов, которые считаются от максимума до максимума или от минимума до минимума. Некоторые полуправильные переменные показывают двойные волны, так что в полный цикл изменений входит два максимума и два мини-



му. Иногда можно обнаружить, как средний блеск (исключая мелкие колебания и волны) изменяется в более длинном цикле. Часто несколько таких колебаний накладываются друг на друга. Выявить конкретные закономерности изменения блеска неправильных и полуправильных переменных звезд очень важно, но для этого нужны продолжительные наблюдения, охватывающие годы и десятилетия. Нужно иметь в виду, что переменные этих типов, как правило, принадлежат к поздним спектральным классам и имеют красный и желтый цвет, что создает большие систематические ошибки в оценках блеска, зависящие от инструмента и наблюдателя. Нужно вести наблюдения с одинаковыми по цвету звездами сравнения, при достаточной высоте звезды над горизонтом и, по возможности, с одним и тем же инструментом. При переходе на другой инструмент нужно некоторое время вести параллельные оценки на двух инструментах, чтобы можно было создать сравнимые ряды наблюдений и исследовать, имеются ли между ними систематические различия. Большое значение имеют коллективные оценки одной и той же звезды, произведенные различными наблюдателями независимо друг от друга. Это в значительной степени позволяет освободиться от личных систематических ошибок наблюдателей. Сказанное относится, разумеется, ко всем звездам, но при наблюдении полуправильных и неправильных звезд систематические ошибки особенно опасны.

Переменные звезды типа Миры Кита

Изменения блеска этих звезд носят почти периодический характер. Однако кривые блеска их могут довольно сильно изменяться от периода к периоду. Величина периода также подвержена случайным колебаниям, а иногда изменяется систематически. Особенностью этих переменных являются значительные амплитуды колебаний блеска, так что для наблюдений в минимумах блеска требуются крупные инструменты. Блеск самой α Кита (Миры) колеблется в пределах от 2^m до 10^m . Если не ставить целью исследование формы кривых блеска, достаточно наблюдать такие звезды вблизи максимума, когда они начинают быть видны в ваш инструмент. После нанесения на график определяются моменты максимума и максимальный блеск. Чтобы не следить за звездой все время, момент наступления максимума предвычисляется по формуле:

$$M = M_0 + P \cdot E, \quad (1)$$

где M_0 — момент начального максимума, P — период, E — некоторое целое число.

Периоды звезд типа Миры Кита составляют от 100 до 1000 дней, отклонения от предвычисленных максимумов бывают иногда значительны. Поэтому наблюдения следует начинать за месяц-

два до предвычисленного момента, если позволяют условия. Сначала наблюдают редко, а вблизи максимума наблюдения проводятся дважды в ночь. Если при этом обнаруживается все же сильное рассеяние отдельных значений на кривой блеска, близкие по времени точки осредняют, что увеличивает точность.

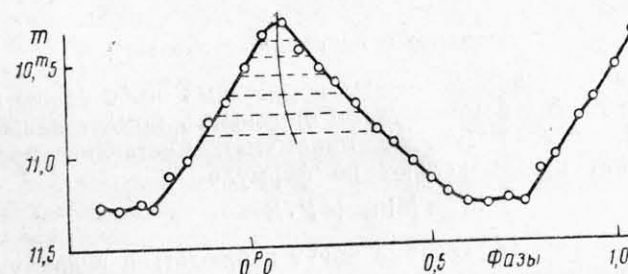


Рис. 2. Средняя кривая блеска цефеиды и определение момента (фазы) максимума способом Погсона

Построив на графике точки, соответствующие наблюдениям, проводим по ним плавную кривую. Теперь нужно определить момент максимума. Для этого Погсоном предложен простой геометрический способ.

Вблизи максимума на выпуклой части кривой блеска проводят несколько хорд, как показано на рис. 2. Каждая хорда делится посередине и через точки деления проводится плавная кривая (или прямая) до пересечения с кривой блеска. Момент, соответствующий точке пересечения, снятый с оси времени, и будет моментом максимума.

Цефеиды

Методы наблюдений и обработки короткопериодических ($P < 1^d$) и долгопериодических цефеид ($P > 1^d$) существенно не различаются. Для короткопериодических цефеид требуются более частые наблюдения, особенно вблизи максимумов, и приведение моментов наблюдений к центру Солнца. Цель наблюдений — получить моменты индивидуальных максимумов, вывести из них нормальные моменты максимумов (средние за сезон), построить среднюю кривую блеска для каждого сезона. Объединение продолжительных рядов наблюдений допустимо только при значительной стабильности периода и кривой блеска, что очень часто не является установленным. Долгопериодические цефеиды часто обнаруживают скачкообразные изменения периодов. Сопоставление наблюдений разных наблюдателей за продолжительные сроки дает возможность выявить такие изменения. Короткопериодические цефеиды иногда показывают вторичные, обычно периодические, колебания формы кривой блеска, часто сопровождающиеся периодическими колебаниями

значения периода (эффект Блажко) (см. рис. 5 на стр. 25). Эти явления еще недостаточно изучены и наблюдения таких цефеид представляют большую ценность. Вместе с тем они довольно трудны, и включать такого рода звезды в программу наблюдений имеет смысл только после приобретения солидного опыта.

Затменные переменные звезды

При наблюдениях затменных переменных особо важно изучить изменение блеска в минимуме и определить момент наибольшего ослабления блеска (момент минимума). Составляя программу наблюдений, предвычисляя по формуле

$$\text{Min} = \text{Min}_0 + P \cdot E \quad (2)$$

моменты минимумов, которые могут наблюдаться в данную ночь. Наблюдения начинаются задолго до момента минимума и ведутся с интервалом в несколько минут. Заканчиваются наблюдения после того, как минимум окончится. Для определения индивидуального момента минимума пользуются способом Погсона или одним из описанных ниже аналитических способов. С графика также снимаются значения продолжительности всего затмения D (от момента начала ослабления блеска до восстановления нормального блеска) и продолжительность полного затмения d (если в минимуме происходит остановка в изменении блеска). Если период не подвержен быстрым изменениям, допустимо осреднение минимумов по наблюдениям, произведенным в течение одного сезона (например, за месяц или год). Такие осредненные минимумы называются нормальными. Они имеют несколько большую точность, чем индивидуальные моменты минимумов. Если имеется достаточно глубокий вторичный минимум, происходящий от затмения второй из двух звезд системы, его также следует наблюдать. Наблюдения всей кривой блеска рекомендуется производить опытным наблюдателям для выяснения тонких эффектов в кривых блеска (эффект эллиптичности, отражения и др.). Изучение графиков $O - C$ (см. ниже) представляет большой интерес, так как часто период подвержен случайным или систематическим изменениям.

Вспыхивающие звезды. Звезды типа U Близнецов. Новые звезды

Звезды первых двух типов весьма слабы по блеску и доступны лишь любителю, вооруженному телескопом в 3—5 дюймов. Новые звезды иногда могут наблюдаться простым глазом, но обычно они быстро ослабевают и становятся недоступными даже при наблюдениях в крупных инструменты. Об открытии ярких новых звезд обычно сообщается по радио и в газетах. Во всем интервале видимости

за ними следует вести регулярные наблюдения по несколько раз в ночь, так как блеск новых звезд подвержен неожиданным вторичным вспышкам или неправильным колебаниям в процессе угасания звезды. Вспышки новых звезд происходят в течение нескольких дней, и, вследствие неожиданности, возрастание блеска часто не наблюдается астрономами. Наблюдения во время возрастания блеска поэтому особенно ценны. Если вам удастся заметить вспышку яркой новой звезды до получения сообщения об ее открытии, необходимо срочно послать телеграмму в Комиссию по переменным звездам Академии наук СССР и начать ее систематические наблюдения. Многие яркие новые звезды были открыты и наблюдались любителями астрономии до максимума блеска, чем была оказана значительная услуга науке.

Вспышки звезд типа U Близнецов происходят циклически, с некоторым средним интервалом времени между вспышками. Однако предсказать момент вспышки невозможно, поэтому за такими звездами следует вести непрерывные наблюдения. Особенно интересны звезды типа UV Кита («вспыхивающие звезды»), вспышки которых протекают иногда в течение нескольких десятков секунд или минут, со скоростью до 0,25 звездной величины за секунду. Амплитуда вспышки иногда достигает нескольких звездных величин, так что звезда легко может быть пронаблюдена вблизи максимума, даже если в минимуме она находилась за пределом видимости инструмента. Наблюдения во время вспышки следует вести, не отрываясь от телескопа, фиксируя время по счету с точностью до секунды. Ход часов и поправка должны быть известны и моменты соответствующим образом исправлены.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТОВ ЭКСТРЕМУМОВ (максимумов и минимумов)

а) Р а з л о ж е н и е в р я д. Кривую блеска вблизи экстремума (вне точек перегиба) можно аналитически представить уравнением

$$m(t) = A + Bt + Ct^2 + Dt^3 + \dots \quad (3)$$

Здесь $m(t)$ — блеск, t — время в принятых единицах. Коэффициенты $A, B, C, \dots$ определяются способом наименьших квадратов.

Если кривая блеска вблизи экстремума несимметрична, нужно брать, по крайней мере, 4 неопределенных коэффициента A, B, C, D . Если коэффициенты при высших порядках малы (по абсолютной величине), их не учитывают в уравнении. В экстремуме касательная должна быть параллельна оси времени и производная функция $m'(t)$ по времени равна нулю:

$$m'(t) = B + 2Ct + 3Dt^2 + \dots = 0. \quad (4)$$

Последнее уравнение проще решить методом последовательных приближений, причем первое приближение снимается с графика.

Применять аналитические методы имеет смысл, если число наблюдений велико, во всяком случае больше числа неизвестных. При вычислениях нужно пользоваться арифмометром. При определении коэффициентов лучше пользоваться средними точками

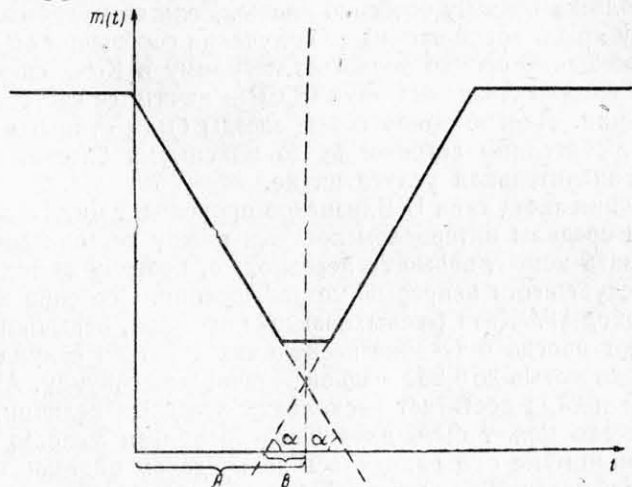


Рис. 3. Способ Герцшпрунга для определения моментов минимумов затменных переменных звезд

кривой блеска, в которых осреднены индивидуальные наблюдения с близкими фазами (см. стр. 22).

б) Метод Герцшпрунга. Способ Герцшпрунга применяется для вычисления моментов минимумов затменных переменных звезд. Если восходящая и нисходящая ветви симметричны относительно минимума, то их приблизительно представляют прямыми линиями, уравнения которых имеют вид:

$$t = A \pm B \mp Cm(t). \quad (5)$$

Здесь $m(t)$ и t — звездные величины и соответствующие им моменты, снятые с графика или взятые непосредственно из наблюдений. Нижние знаки берутся для точек восходящей ветви, верхние — для нисходящей. Значения коэффициентов A и B пояснены на рис. 3, коэффициент C есть угловой коэффициент прямых, равный тангенсу угла наклона α . Для симметричных прямых он различается знаком. Решая систему уравнений вида (5), мы ищем точку пересечения двух прямых, представляющих ветви минимума. Коэффициент A определяет поправку, которая должна быть придана к моменту, принятому за начало отсчета графика, с тем, чтобы определить момент минимума. После вычислений A , B , C полезно

вычислить отклонения наблюдаемых точек от предвычисленных по уравнению (5). Если отклонения $O - C$, нанесенные на график, показывают систематический ход в зависимости от $m(t)$, это может свидетельствовать о непрямолинейности ветвей минимума. Заметим, что способ неприменим только в случае явной асимметрии минимума, тогда как отклонение от прямолинейности для симметричного минимума не изменяет коэффициента A .

ОБРАБОТКА НАБЛЮДЕНИЙ. УЛУЧШЕНИЕ ПЕРИОДА

При изучении периодической переменной звезды необходимо в первую очередь получить значение ее периода.

Если звезда уже была исследована, то нам известна формула $M = M_0 + P \cdot E$, которая должна представлять наблюдаемые моменты максимумов (или минимумов) блеска. Отклонение наблюдаемого момента от вычисленного по этой формуле обозначается обычно $O - C$ и называется поправкой эфемериды. Если звезда не исследована, но определено является периодической, такую формулу надо найти.

Отыскание периода долгопериодической звезды — задача довольно простая. Если же звезда имеет короткий период, то задача часто сильно осложнена тем, что мы наблюдаем не все экстремумы подряд, а выборочно, в зависимости от условий наблюдения. Тогда надо установить, какое количество периодов протекло между двумя наблюдавшимися экстремумами; это часто является очень сложной задачей.

Покажем, как улучшается известная уже приближенная формула $M = M_0 + P \cdot E$. Вычисляем поправки эфемериды $O - C$ и записываем соответствующие номера E . Тогда можно составить уравнение поправок $O - C = \Delta M_0 + E \cdot \Delta P$. Таких уравнений будет столько же, сколько наблюдаемых моментов мы имеем, скажем, n .

Решая систему n уравнений по способу наименьших квадратов, получаем вероятнейшие значения поправок ΔM_0 и ΔP и придаем их к исходным приближенным значениям. Мы получаем исправленную формулу периода.

Кстати сказать, ход остатков $O - C$ в зависимости от номера E позволяет судить о постоянстве или переменности периода.

ОБРАБОТКА НАБЛЮДЕНИЙ. ПОСТРОЕНИЕ СРЕДНЕЙ КРИВОЙ БЛЕСКА

Кривая блеска периодической переменной может быть представлена в виде графика в пределах одного периода, так как параллельный перенос всей кривой блеска на целое число периодов приводит к совмещению кривой блеска с самой собой. Процесс све-

дения всех наблюдений к одному периоду требует вычисления «возрастов» наблюдений — фаз. Зафиксируем исходный момент, соответствующий максимуму, минимуму или произвольной точке на кривой блеска. Тогда по формуле $M(t_0) = M_0 + P \cdot E$, где P — период, E — целое число, можно предвычислить другие моменты $M(t_0)$, когда значение блеска будет таким же, как и в исходный момент. Разность $M_t - M_{t_0} = \Phi$ между моментом наблюдения M_t и ближайшим к нему предшествующим вычисленным моментом M_{t_0} называется фазой наблюдения. Должно соблюдаться условие $0 \leq M_t - M_{t_0} < P$.

При помощи арифмометра легко вычислить фазы, выраженные в долях периода. Разделим разность $M_t - M_0$ (между моментом наблюдения и исходным моментом) на период. Частное будет состоять из целого числа E (количества протекших целых периодов) плюс некоторая дробь, представляющая остаток от деления, разделенный на период. Последняя величина и будет фазой Φ .

$$\frac{1}{P}(M_t - M_0) = E + \Phi.$$

Легко сообразить, что Φ будет изменяться от 0 до 1 (ибо мы всегда выделяем целое число) и однозначно соответствовать каждой точке на периодической кривой.

На арифмометре деление можно заменить умножением на $1/P$. Отложим на счетчике оборотов исходный момент M_0 . Тогда в итоговых окошечках арифмометра должны быть установлены нули (фаза $\Phi = 0,000$). На вращающемся барабане устанавливаем величину $1/P$. Теперь вращаем барабан в нужных разрядах так, чтобы на счетчике вместо числа M_0 появился момент наблюдения M_t . При помощи такой операции мы умножаем $1/P$ на разность двух эпох $(M_t - M_0)$. Тогда в итоговых окошках появится некоторое число с дробью. Эта дробь и будет искомой фазой (обычно берутся 3 знака после запятой). Теперь мы можем нанести все наблюдения на график в пределах одного периода. Фазы откладываются по горизонтальной оси, звездные величины или степени — по вертикальной. Весь график будет заключен между фазами от $0^P,000$ до $1^P,000$ или от $0^d,00$ до P^d (в днях), однако график можно продолжить, прибавив ко всем фазам $1^P,000$ или величину P^d , если фазы выражены в днях. От этой операции все точки сдвинутся на один период и мы сможем обозреть места стыков (см. рис. 2).

Из-за ошибок наблюдений кривая блеска, сведенная к одному периоду, не будет представляться непрерывной линией, а будет наблюдаться некоторое рассеяние точек. Если наблюдений много, можно объединить близкие по фазам точки, вычислив фазы и блеск из некоторых близких значений. Группы берутся по 5, 10 или 20 точек в зависимости от числа наблюдений. Вблизи минимумов затменных звезд или на крутых восходящих ветвях цефеид наблюдений иногда оказывается меньше. Число точек в группе приходится

уменьшать. При группировке следует избегать ошибки предпочтения, нужно объединять точки в порядке возрастания фаз, независимо от положения относительно кривой блеска. Индивидуальные оценки, очень сильно уклоняющиеся от общего хода кривой, можно выбросить из обработки (но не больше 1% всего числа наблюдений). Они могут быть вызваны ошибками при записях или вычислениях, или слишком грубыми ошибками при оценках блеска. Полученные осредненные точки выписывают при публикации в отдельной таблице и наносят на отдельный график, получая таким образом среднюю кривую блеска.

При длительных наблюдениях часто сказывается изменение периода или неточность его определения. Тогда точки, относящиеся к разным сезонам наблюдений (например, к разным годам) и нанесенные на общий график разными значками, показывают систематическое смещение друг относительно друга. Прежде чем строить среднюю кривую блеска, нужно исправить значение периода. Если период изменяется, следует представить изменения формулой и учесть влияние этих изменений при вычислении фаз. Если такие вычисления провести затруднительно, кривые блеска строятся для небольших интервалов наблюдений, например для каждого сезона отдельно (рис. 5).

ГРАФИК $O - C$

Для изучения поведения периода строят график $(O - C, E)$ уклонений наблюденных моментов от предвычисленных по формуле (1). Ход зависимости $O - C$ от времени (JD), или числа протекших периодов (E) определяется следующими причинами.

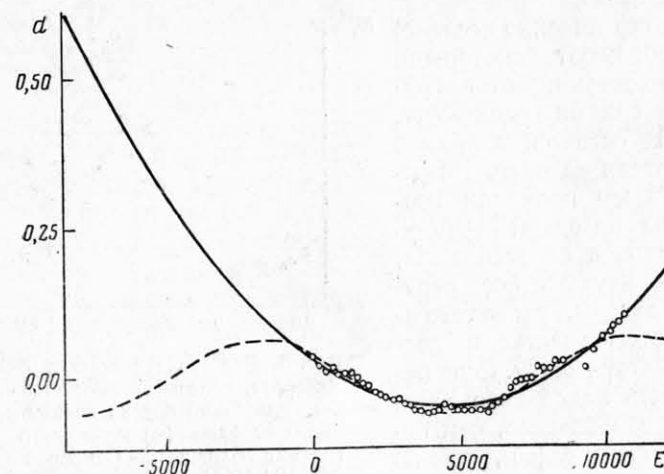


Рис. 4. График $(O - C, E)$, показывающий изменение периода затменной переменной U Цефея. Изменения одинаково хорошо представляются синусоидой и параболой

1) Неточность принятого значения периода. Тогда график имеет вид наклонной прямой. Если $O - C$ возрастает со временем (при увеличении E), то период следует увеличить на величину $\frac{O - C}{E}$, если уменьшается, то период слишком велик и его нужно уменьшить.

График ($O - C, E$) можно представить в виде прямой $O - C = a + b \cdot E$. Вычисляя коэффициенты способом наименьших квадратов, получают поправку начального момента и поправку к периоду P . В зависимости от знака нужно увеличить или уменьшить значение периода (см. стр. 22).

2) Изменение периода. Если период изменяется, график $O - C$ не является прямолинейным. Это может быть либо парабола, если период прогрессивно растет или уменьшается (тогда график представляется уравнением вида $O - C = a + bE + cE^2$), или синусоида: $O - C = A + Bt + C \sin(\omega t + \varphi)$, либо, наконец, ломаная линия, если период меняется скачкообразно. В этом случае изменение периода не удастся представить одной формулой и тогда сам график $O - C$ дает наглядное представление об изменении периода со временем (рис. 4.)

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД

Визуальные наблюдения доступнее любителю астрономии, чем фотографические. Однако если любитель обладает известными техническими навыками, он может с успехом выполнять и фотографические исследования переменных звезд.

Фотографические исследования обладают некоторыми преимуществами. Фотографический снимок — документ, который остается в архиве наблюдателя надолго. На фотографии мы получаем изображение не одной переменной звезды, а области неба, и можем изучать все переменные звезды, расположенные на этом участке и доступные инструменту. Если переменность какой-либо звезды открыта позднее, чем получены фотографии, то по снимкам можно исследовать ее поведение в прошлом. Ошибочное наблюдение всегда можно проверить. Вот главные преимущества фотографического метода наблюдений.

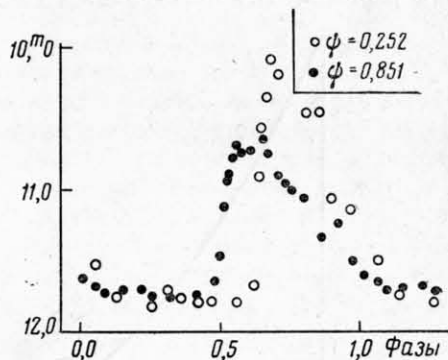


Рис. 5. Две средние кривые блеска RV Козерога, показывающие изменения формы колебаний блеска звезды в зависимости от фазы (ψ) вторичного периода (эффект Блажко). Основной период: $P_1 = 0^d,44775$, вторичный: $P_2 = 221^d,86$

Однако он предъявляет к наблюдателю свои специфические требования. Снимок неба получается не мгновенно, а в течение более или менее длительной экспозиции порядка 20—30 минут. Следовательно, фотокамера должна «следить» за суточным движением неба, а потому должна быть установлена на экваториальном штативе.

Кроме того, необходимо иметь фотоматериалы одного сорта и высокой чувствительности.

Остановимся на требованиях, которым должен удовлетворять инструмент — астрограф.

Предельная звездная величина звезд, которые выходят на фотопластинке в течение принятой экспозиции, зависит в основном от диаметра объектива и светосилы фотографической камеры. В таблице 1 приведены данные о предельной звездной величине при экспозиции 30 минут для наиболее распространенных и доступных любителю объективов.

Предельные звездные величины для разных фотографических объективов (экспозиция 30 минут)

Объектив	Диаметр	Фокус	Светосила	$m_{\text{пред}}$
Индустар-17	100 мм	500 мм	1 : 5	12,2
Индустар-13	67	300	1 : 4,5	11,3
Индустар-51	47	210	1 : 4,5	10,6
Индустар-22	15	50	1 : 3,5	8,1

Фотопластинки применяются чувствительностью порядка 800—1000 X и $D = 40—50$ ГОСТ.

Для фотографирования звезд можно использовать также старые портретные объективы, которые обладают большим отверстием и светосилой и хорошими изображениями на площади с радиусом 5—10°. Имея хороший объектив, можно легко изготовить примитивную фотографическую камеру. Фокусирование астрономических камер производится вращением объектива в кольце с винтовой нарезкой, а не движением кассетной части, которая обычно жестко связана с камерой. Степень выдвигания объектива в кольцо фиксируется при помощи отметок целых оборотов и их долей, причем целые обороты наносятся на шкале, связанной с объективом, а доли оборотов можно отсчитывать, разделив окружность кольца на 10 равных долей и установив указатель на подвижной части камеры около объектива. Если камера сделана достаточно жестко, фокусировка сохраняется длительное время и только при измене-

нии температуры фокус иногда приходится изменять, особенно для длиннофокусных инструментов и рефлекторов. Требуется регулярная проверка четкости изображений на фотографиях, которая в значительной степени зависит от фокусировки.

Яркие переменные звезды и новые звезды вблизи максимума блеска можно фотографировать в течение нескольких минут при неподвижной установке. На фотографии тогда будут видны следы от ярких звезд, что позволит сравнивать блеск звезд на протяжении всей экспозиции. Однако, чтобы получить изображения более слабых звезд, необходимо во время экспозиции учитывать видимое движение звезд по небосводу, или, как говорят астрономы, вести (гидировать) инструмент по какой-либо достаточно яркой звезде. Для этого камера должна быть снабжена визуальной трубой с фокусным расстоянием, не меньшим, чем у фотографического объектива. Необходим также экваториальный штатив или устройство, его заменяющее, с точно установленной полярной осью (направленной к полюсу мира). Микрометренные винты для движения по часовому углу должны обеспечить равномерное движение инструмента с фотокамерой в течение экспозиции. В поле зрения в фокусе окуляра гидирующей трубы располагается крест нитей (из паутиновых нитей или из тонких проволочек). Ведущая звезда должна в течение экспозиции находиться строго в одном положении относительно инструмента, например на пересечении нитей. Если увеличение гда значительно и фон неба очень слаб, то нити становятся невидимыми. Тогда применяют подсветку нитей или поля зрения, помещая в тубус инструмента слабую лампочку. Лампочка должна быть защищена колпачком с небольшим отверстием, направленным к нитям в сторону объектива (если освещать нити), или к окуляру (если освещать все поле зрения), тогда лампочка должна находиться вне фокуса окуляра. Небольшой реостат, укрепляемый на неподвижной части штатива, поможет плавно регулировать яркость подсветки.

Наибольшие трудности представляет конструкция штатива или установки для гидирования. Имеется множество вариантов решения этой задачи от простейшего устройства с доской, установленной параллельно экватору, на которой укрепляются фотокамера и ведущая труба, до параллактических установок фабричного типа с более или менее сложным часовым механизмом для ведения за звездой в течение экспозиции. Не во всех случаях астроном-любитель должен стремиться к устройству простейших приборов и приспособлений.

Если вы решили получить длинный ряд фотографических наблюдений, лучше потерять время на устройство более сложного приспособления для гидирования, чем постоянно испытывать неудобства и получать негативы с растянутыми изображениями звезд (что снижает в значительной степени предельную звездную величину и ухудшает качество наблюдений).

При наличии у телескопа часового механизма его нужно наладить и отрегулировать, проверяя по движению ведущей звезды той области, которая предполагается для фотографирования. Часовой механизм, однако, не освобождает наблюдателя от гидирования, так как всегда в движении случаются небольшие неправильности, которые могут вывести инструмент из правильного положения. Часовой механизм только в значительной степени облегчает гидирование и улучшает качество изображений.

В качестве фотоматериала для фотографирования звезд следует применять несенсибилизированные пленки или фотопластины высшей чувствительности (не менее 800—1000 по Х и Д или 40—50 ГОСТ) одного и того же сорта. Можно пользоваться и высокочувствительными панхроматическими фотоматериалами, однако нужно иметь в виду, что существующая система фотографических звездных величин рассчитана на несенсибилизированные материалы. Сенсибилизация пластинок создает случайные колебания чувствительности в разных лучах и для материалов разных сортов или даже выпусков (разных «поливов» эмульсии). Это создает большие трудности при определении системы фотографических величин и приводит к большим случайным и систематическим ошибкам (особенно для красных и желтых звезд поздних спектральных классов). Для получения так называемых фотовизуальных звездных величин фотографирование ведется на ортохроматических материалах со специальным желтым фильтром. В этом случае система звездных величин оказывается близкой к визуальной системе, т. е. соотношения в блеске между звездами разной окраски таковы, как и при наблюдениях глазом. При переходе к эмульсии другого сорта следует вести несколько ночей параллельное фотографирование на пластинках двух сортов, чтобы иметь возможность определить систематическую разность в блеске звезд (однако изменение сорта эмульсии крайне нежелательно).

Проявление производится в мягких (неконтрастных), медленно действующих проявителях. Следует пользоваться одним и тем же рецептом и каждый раз свежим проявителем.

В журнале наблюдений отмечаются время начала и конца экспозиции, сорт и размер пластинок, условия наблюдения и гидирования. Момент наблюдения относится к середине экспозиции.

Определение блеска звезд на фотографиях производится теми же способами, как и при визуальных оценках. Изображения звезд рассматриваются в лупу с увеличением в 4—6 раз. Следует предпочесть способ Нейланда — Блажко. Для ярких звезд, которые находятся в области передержек, существует зависимость между блеском и диаметром изображения, а грация почернений отсутствует. Для слабых недодержанных звезд грация почернений также мала. В связи с этим величина степени может несколько зависеть от звездной величины и при построении зависимости «сте-

пени — звездные величины» график может отличаться от прямолинейного. Оценки на фотографиях обычно имеют меньшую точность (особенно для предельно слабых звезд), чем при визуальных наблюдениях. Для изучения тонких эффектов следует предпочесть визуальные наблюдения.

Одно из преимуществ фотографического способа наблюдений состоит в том, что он дает возможность получения звездных величин звезд сравнения. На небе в ряде мест определены звездные величины звезд, входящих в стандарты. Если на одной и той же пластинке получить последовательно две фотографии с одинаковыми экспозициями: одну — изучаемой области, вторую — стандарта, то, сравнивая изображения, можно определить звездные величины звезд сравнения.

Необходимые условия таковы — нужны одинаковые зенитные расстояния области и стандарта и уверенность в том, что за время наблюдений прозрачность атмосферы не изменялась.

ОТКРЫТИЕ НОВЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД

Фотографический способ исследования переменных звезд дает возможность поисков новых переменных звезд. Среди звезд 7—10 величины есть еще значительное количество неоткрытых переменных звезд. При фотографировании Млечного Пути всегда имеет смысл просматривать фотопластинки с целью обнаружения новых звезд. Хотя случаи всплеска новых звезд редки, систематическая слежка за областями, где они часто появляются, особенно желательна (созвездия: Стрельца, Стрелы, Щита, Лебедя, Ящерицы, Кассиопеи, Цефея). Рекомендуется следующий прием для открытий переменных звезд. Для исследуемой области подбирают несколько фотографий, полученных в разное время, с экспозициями более длительными, чем обычно (порядка часа), с тщательным гидированием и только при хороших атмосферных условиях. С этих фотографий на диапозитивных контрастных пластинках получают позитивные копии контактным способом в параллельном лучке света (например, располагая фонарь на расстоянии двух-трех метров от копировальной рамки с пластинкой). Позитивы должны иметь полупрозрачный, серый фон, для чего пробам подбирается нужная экспозиция. Проявление ведется в контрастном или нормальном проявителе. После просушки позитивы накладываются на обычные негативы той же области неба, относящиеся к другим моментам наблюдений, и изображения звезд совмещаются. Иногда лучше накладывать негатив на позитив.

При рассматривании совмещенных изображений на свет при помощи лупы (хорошо изготовить для этого горизонтальный станок с молочным стеклом и подсветкой электрической лампой) мы увидим звезды в виде черных точек, окруженных светлыми ореолами. На общем однообразном фоне таких изображений переменные звезды будут

выделяться более светлыми ореолами или более темными, чем обычно, изображениями.

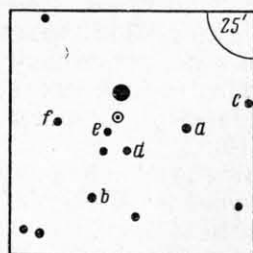
Наблюдения переменных звезд, а также результаты наблюдений и исследований следует направлять во Всесоюзное астрономо-геодезическое общество (Москва, К-9, п/я 1268, отдел переменных звезд МОВАГО) или в Комиссию по переменным звездам Астросовета АН СССР (Москва, Д-56, Б. Грузинская, 10).

Работы и наблюдения, в которых содержатся ценные для науки результаты, публикуются в специальном журнале «Переменные звезды», издаваемом Комиссией по переменным звездам.

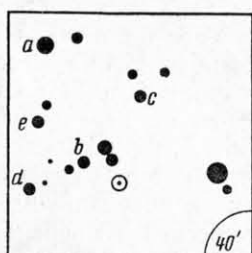
ЛИТЕРАТУРА

- П. П. Паренаго, Б. В. Кукаркин. Переменные звезды и способы их наблюдения. Изд. 2-е, Гостехиздат, 1947.
- М. С. Зверев, Б. В. Кукаркин, Д. Я. Мартынов, П. П. Паренаго, Н. Ф. Флоря, В. П. Цесевич. Методы изучения переменных звезд, том. III, Гостехиздат, 1947.
- П. П. Паренаго. Шкалы звездных величин. Успехи астрономических наук, 2, 104—122, 1933.
- М. Е. Набоков. Астрономические наблюдения с биноклем. Гостехиздат, 1958.
- П. Г. Куликовский. Справочник любителя астрономии. Физматгиз, 1961.
- В. П. Цесевич. Что и как наблюдать на небе. Гостехиздат, 1955.
- И. Д. Новиков, В. А. Шишаков. Самодельные астрономические инструменты. Учпедгиз, 1956.
- И. Д. Новиков, О. Б. Ржаницына. Самодельный астрограф для фотографирования звездного неба. Астрономический календарь на 1958 г. Гостехиздат, 1957, стр. 255—263.
- И. Д. Новиков. Бюллетень ВАГО, № 12 (19), 1953.
- Б. А. Воронцов-Вельяминов. Новый тип общедоступного портативного астрографа без часового механизма и ведущей трубы. Астрономический календарь на 1950 г. Горький, 1950.
- С. П. Глазенап. Дружбам и любителям астрономии. М., ОНТИ, 1936.
- Б. В. Кукаркин, П. П. Паренаго, Ю. Н. Ефремов, П. Н. Холопов. Общий каталог переменных звезд. т. I, II. Изд-во АН СССР, 1958.
- Б. В. Кукаркин, П. П. Паренаго, Ю. Н. Ефремов, П. Н. Холопов. Каталог звезд, заподозренных в переменности. Изд-во АН СССР, 1961.

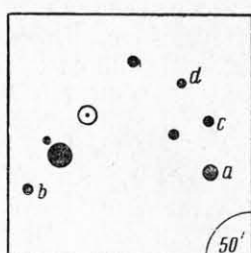
КАРТЫ ОКРЕСТНОСТЕЙ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД. (СЕВЕР ВВЕРХУ)



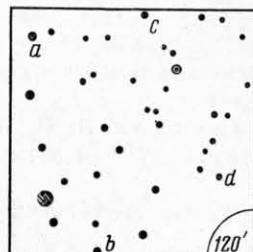
RT Андромеды



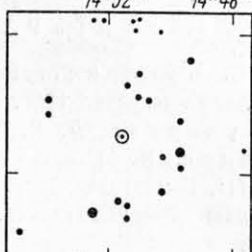
SW Андромеды



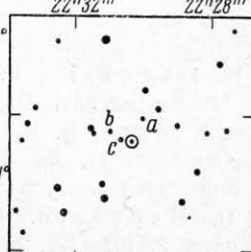
TU Большой Медведицы



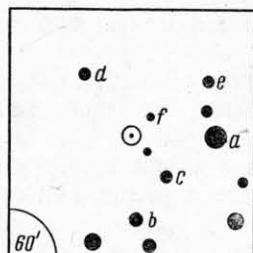
TX Большой Медведицы



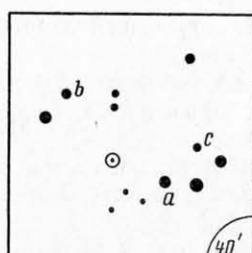
EN Весов



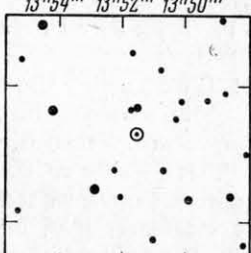
CY Волопаса



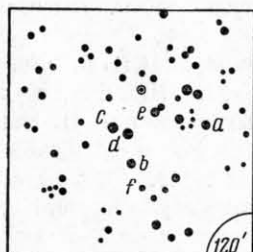
RS Волопаса



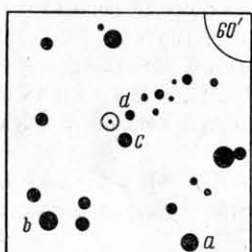
TW Волопаса



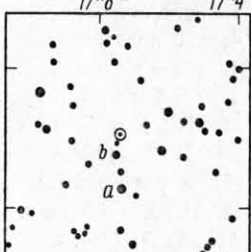
UY Волопаса



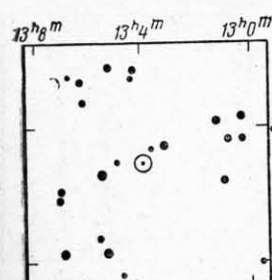
UX Геркулеса



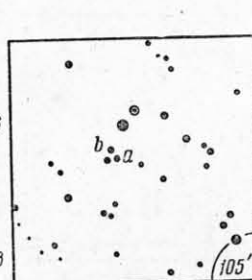
VX Геркулеса



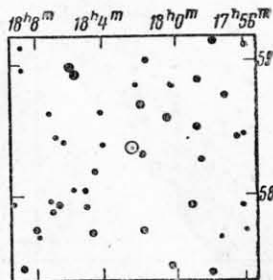
YK Геркулеса



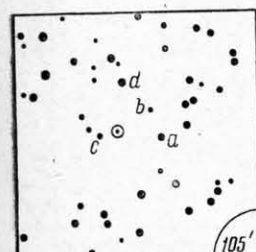
RS Гончих Псов



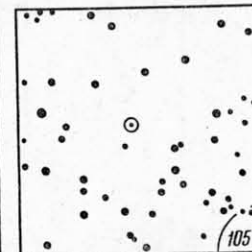
RZ Дракона



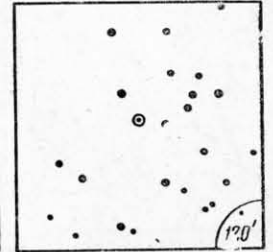
SX Дракона



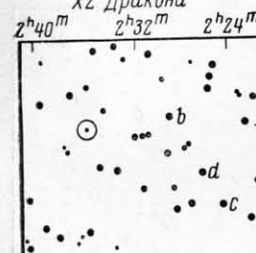
XZ Дракона



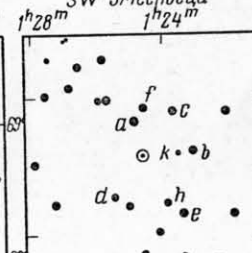
SW Змееносца



VY Змеи



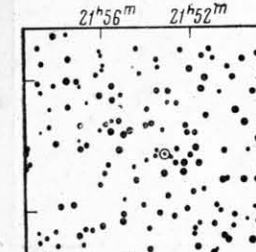
RZ Кассиопеи



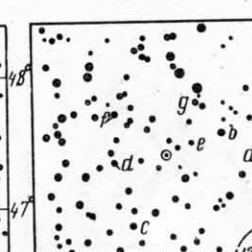
RR Кита



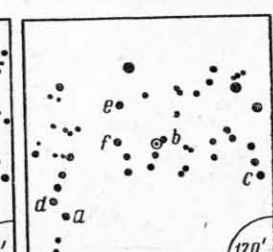
XZ Лебедя



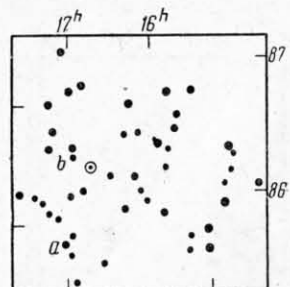
MR Лебедя



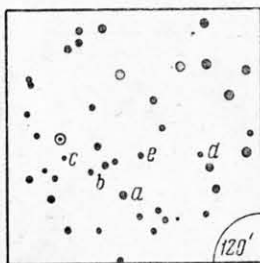
RR Лирь



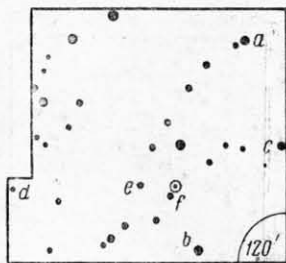
Z Лисички



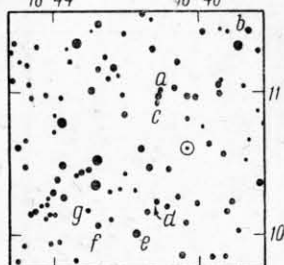
W Малой Медведицы
18^h44^m 18^h40^m



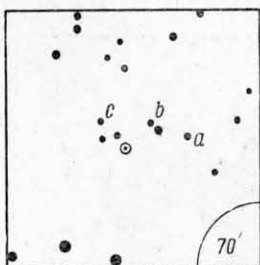
UV Лбда



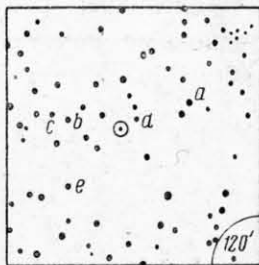
X Овна



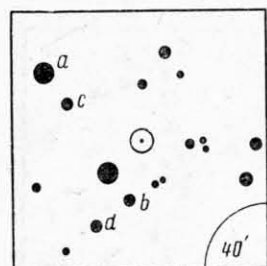
KO Орла



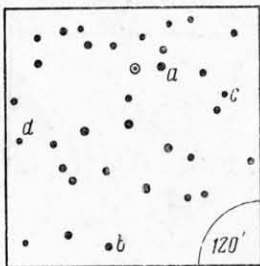
AT Пегаса



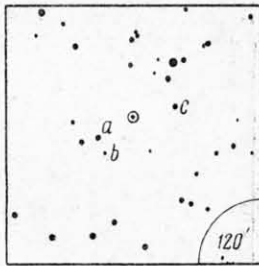
RY Персея



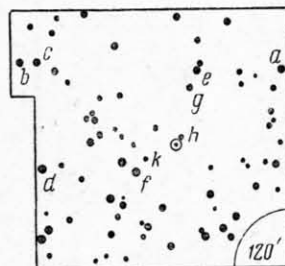
AR Персея



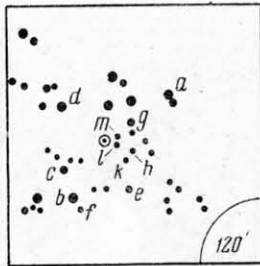
SZ Рыб



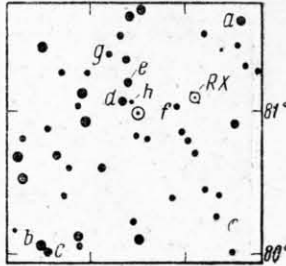
T Секстанта
1^h00^m 0^h40^m



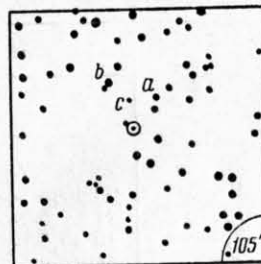
U Стрелы



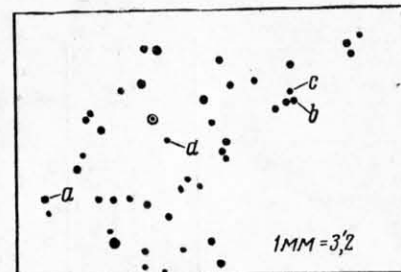
RW Тельца



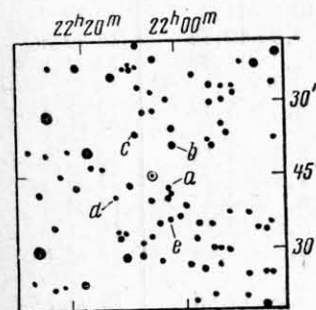
U Цефея



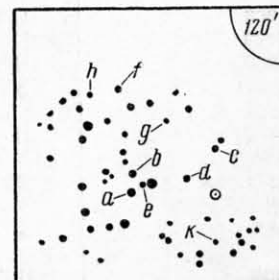
RT Ящерицы



SW Ящерицы



AR Ящерицы



CM Ящерицы

СПИСОК ЗВЕЗД, РЕКОМЕНД

ОВАННЫХ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ

Звезда	Тип	Амплитуда	Координаты, 1900, 0	
			α	δ
RT Андромеды	3	8 ^m ,9—9 ^m ,9в	23 ^h 06 ^m ,7+52°29'	
SW Андромеды	Ц	9,3—10,3в	00 18,5 +28 51	
TU Б. Медведицы	Ц	9,5—10,2в	11 24,5 +30 37	
TX Б. Медведицы	3	7,0—9,1	10 39,5 +46 06	
EH Весов	Ц	9,3—9,8	14 53,8 —00 33	
CY Володея	Ц	10,5—11,4	22 32,7 +01 01	
RS Волопаса	Ц	9,6—10,7в	14 29,3 +32 12	
UY Волопаса	Ц	10,2—11,4	14 41,3 +41 27	
UX Волопаса	Ц	9,5—10,5	13 53,9 +13 26	
UX Геркулеса	3	8,8—9,7	17 49,7 +16 58	
VX Геркулеса	Ц	9,9—11,4в	16 26,2 +18 35	
AK Геркулеса	3	7,8—8,2	17 09,5 +16 28	
RS Гончих Псов	3	8,0—9,3	13 06,0 +36 28	
RZ Дракона	3	9,8—10,7	18 21,6 +58 51	
SX Дракона	3	9,8—11,6в	18 03,1 +58 23	
XZ Дракона	Ц	9,2—10,4в	19 09,1 +64 42	
SW Змееносца	3	10,2—11,4	16 11,1 —06 44	
VY Змеи	Ц	9,5—10,7	15 26,0 +02 02	
RZ Кассиопеи	3	6,4—7,9	02 39,9 +69 13	
RR Кита	Ц	9,2—10,3	01 27,0 +00 50	
XZ Лебедя	Ц	8,7—10,3	19 30,4 +56 10	
MR Лебедя	3	8,5—9,3	21 55,1 +47 30	
RR Лирь	Ц	6,9—8,0	19 22,3 +42 35	
Z Лисички	3	7,1—8,6	19 17,5 +25 23	
UV Льва	3	8,5—9,2	10 33,0 +14 47	
W М. Медведицы	3	8,7—9,8	16 34,8 +86 26	
X Овна	Ц	9,0—9,9	03 03,1 +10 04	
KO Орла	3	8,3—9,3	18 42,5 +10 39	
AT Пегаса	3	8,5—10,3	22 08,4 +07 56	
RY Персея	3	8,5—10,7	02 39,0 +47 43	
AR Персея	Ц	9,9—10,8в	04 10,0 +47 09	
SZ Рыб	3	8,5—9,5	23 08,3 +02 08	
T Секстанта	Ц	9,9—10,6	09 48,3 +02 32	
U Стрелы	3	6,3—9,9	19 14,4 +19 26	
RW Тельца	3	8,0—12,3	03 57,8 +27 51	
U Цефея	3	6,6—9,8	00 53,4 +81 20	
RT Ящерицы	3	8,8—9,6	21 57,5 +43 24	
SW Ящерицы	3	8,4—9,2	22 49,1 +37 24	
AR Ящерицы	3	6,5—7,2	22 04,6 +45 15	
CM Ящерицы	3	8,3—9,3	21 56,0 +44 04	

Элементы JD24 . . .	Звезды сравнения						
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>
24 119,2358+0 ^d ,6289325·E	8 ^m ,55	8 ^m ,98	9 ^m ,27	9 ^m ,65	10 ^m ,01	10 ^m ,20	—
18 132,7913+0,4422792·E	8,21	8,80	9,32	10,18	11,17	—	—
25 760,441+0,557665·E	9,28	10,15	10,88	—	—	—	—
16 426,783+3,0633175·E	7,07	7,62	7,92	9,12	—	—	—
33 438,6076+0,0884139·E	—	—	—	—	—	—	—
32 180,3862+0,061038484·E	10,42	10,95	11,66	—	—	—	—
18 115,5977+0,37733657·E	9,07	9,93	10,59	11,25	11,38	11,57	—
20 340,5507+0,53227557·E	9,98	10,42	11,02	—	—	—	—
32 306,754+0,6507956·E	—	—	—	—	—	—	—
19 876,4782+1,5488563·E	7,67	7,77	8,52	9,01	9,24	9,50	—
21 750,486+0,45537152·E	8,98	9,82	10,79	11,99	—	—	—
33 515,720+0,42152143·E	8,83	9,28	—	—	—	—	—
33 016,819+4,797875·E	—	—	—	—	—	—	—
29 448,794+0,5508768·E	9,73	10,53	—	—	—	—	—
32 273,276+5,1692·E	—	—	—	—	—	—	—
27 985,648+0,4764944·E	8,82	9,38	9,99	10,32	—	—	—
31 235,216+2,446086·E	—	—	—	—	—	—	—
31 225,341+0,71409384·E	—	—	—	—	—	—	—
17 355,4233+1,1952519·E	—	7,4	7,5	7,9	—	—	—
17 501,4421+0,5530253·E	8,06	8,82	9,23	9,49	9,63	9,76	10,02
34 951,456+0,4665839·E	8,65	9,15	9,56	9,68	9,89	10,10	10,41
27 013,615+1,6770337·E	—	—	—	—	—	—	—
14 856,408+0,56683733·E	6,78	6,94	7,50	7,80	8,39	8,59	8,98
25 456,117+2,454926·E	6,01	7,03	7,17	7,35	8,48	9,28	—
32 995,5558+0,60008546·E	7,64	8,24	9,25	9,44	10,23	—	—
33 457,761+1,7011576·E	8,79	9,88	—	—	—	—	—
20 785,635+0,6511248·E	7,32	7,72	8,07	8,50	10,16	10,68	—
33 888,375+2,86396·E	7,33	7,99	8,13	8,56	8,75	9,50	9,96
27 030,226+1,146096·E	7,96	9,16	9,88	—	—	—	—
27 070,708+6,8635663·E	8,15	8,51	9,02	9,66	10,5	—	—
26 576,464+0,42554937·E	9,79	10,25	10,88	11,61	—	—	—
28 000,250+3,96653992·E	8,00	9,13	9,67	10,27	—	—	—
27 458,463+0,3246717·E	9,49	9,97	10,45	—	—	—	—
17 130,4151+3,3806184·E	5,96	6,30	7,00	7,78	8,12	8,52	9,45*
34 423,3596+2,768825·E	7,12	7,82	8,34	9,22	9,38	10,09	10,35*
07 890,3245+2,4928640·E	6,38	6,73	7,20	7,80	8,41	9,12	9,54*
21 913,497+5,074004·E	8,3	9,1	10,0	—	—	—	—
23 372,7974+0,32071483·E	7,96	8,16	9,17	9,46	—	—	—
26 624,378+1,983216·E	6,08	6,32	6,67	7,12	7,83	—	—
17 026,316+1,6046916·E	7,65	7,85	8,31	8,51	8,61	9,01	9,03*

* Примечания: Для U Стрелы: $h-9^m,57$, $k-10^m,16$;
 Для RW Тельца: $h-10^m,97$, $k-11^m,18$, $l-11^m,66$, $m-12^m,40$;
 Для U Цефея: $h-10^m,16$;
 Для CM Ящерицы: $h-9^m,19$, $k-9^m,47$.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.	3
Шкалы звездных величин	7
Подбор программы наблюдений и поиски переменной звезды	9
Оценки блеска.	10
Ошибки наблюдений.	13
Запись времени и журнал наблюдений.	14
Приведение момента к центру Солнца.	15
Обработка наблюдений. Определение блеска переменной звезды	15
Обработка наблюдений. Построение кривой блеска.	17
Неправильные и полуправильные переменные	17
Переменные звезды типа Миры Кита	18
Цефеиды	19
Затменные переменные звезды.	20
Вспыхивающие звезды. Звезды типа U Близнецов. Новые звезды	20
Математические способы определения моментов экстремумов (максимумов и минимумов).	21
Обработка наблюдений. Улучшение периода.	23
Обработка наблюдений. Построение средней кривой блеска.	23
График $O - C$	25
Фотографические наблюдения переменных звезд.	26
Открытие новых переменных звезд	30
Литература.	31
Карты окрестностей переменных звезд.	32
Список звезд, рекомендованных для наблюдений.	36



Николай Ефимович Курочкин

Инструкция для наблюдения переменных звезд

*Утверждено к печати Центральным советом
Всесоюзного Астрономо-геодезического общества*

Редактор В. А. Бронштэн

Сдано в набор 27/X 1962 г. Подписано к печати 17/I 1963 г.

Формат 60×90¹/₁₆. Печ. л. 2¹/₂. Уч.-изд. л. 2,1. Тираж 2500 экз.

Изд. № 1305. Тип. зак. № 1292

Цена 15 коп.

Издательство Академии наук СССР
Москва, Б-62, Подсосенский пер., 21
2-я типография Издательства АН СССР
Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
22	18 сл.	22	24
26	10 св.	22	23