

Глава 3 – ПРОЦЕСС НАБЛЮДЕНИЙ

Пошаговая инструкция

1. Найдите поле – Пользуясь атласом или картой неба, посмотрите на небо и отыщите то поле или ту область неба, где находится переменная. Здесь очень поможет знание созвездий. Возьмите карту масштаба А или В и поверните ее так, чтобы она соответствовала виду неба.

2а. Найдите переменную (в искатель/1х) – Глядя на карту 'А' или 'В', подберите яркую «ключевую звезду», расположенную близко к переменной. Теперь посмотрите на небо и попытайтесь отыскать на небе ту же самую звезду. Если Вы не видите ключевую звезду невооруженным глазом, воспользуйтесь трубкой искателя или окуляром с очень маленьким увеличением и широким полем зрения и наведите телескоп как можно ближе к тому положению на небе, где должна находиться ключевая звезда. Не забывайте, что в зависимости от используемого оборудования ориентация звезд, видимая в телескоп, вероятно, будет отличаться от той, которую Вы видели при взгляде на небо невооруженным глазом. Необходимо научиться согласовывать направления на север, восток, юг, запад с Вашим конкретным оборудованием. (Дополнительные разъяснения Вы найдете на страницах 15 и 16). Удостоверьтесь, что Вы отыскали именно нужную звезду, отождествив рядом с ней более слабые телескопические звезды, показанные на карте.

Теперь медленно продвигайтесь («перепрыгивайте от звезды к звезде») в направлении переменной, отождествляя по пути звездные конфигурации (их еще называют астеризмами). Пока поле не станет Вам хорошо знакомо, потребуется много раз переводить взгляд с карты на небо, затем через искатель и снова на карту, пока Вы не достигнете звездной конфигурации в непосредственной близости от переменной. Не спеша удостоверьтесь, что идентификация верна. Иногда помогает провести на карте линии между звездами в каждой из конфигураций.

2б. Найдите переменную (пользуясь монтировкой GoTo) – Если Ваш телескоп оборудован монтировкой автоматического наведения GoTo, для отыскания полей переменных звезд можно пользоваться именно ею. Перед началом убедитесь, что телескоп ориентирован правильно. Вводя положение переменной, следует пользоваться координатами равноденствия 2000, указанными в верхней части карты.

Не забывайте, что, быть может, переменную Вы сразу не увидите. Хотя она, возможно, и находится в поле зрения, все же необходимо отождествить звезды в непосредственной близости от переменной для окончательного подтверждения. Нередко окажется удобным пошарить по полю в поисках яркой ключевой звезды или астеризма, которые Вы потом отыщете на карте. После этого можно двигаться к переменной («перепрыгивая от звезды к звезде»).

3. Найдите звезды сравнения – Когда Вы убедитесь, что правильно идентифицировали переменную, можно перейти к оценке ее блеска путем сравнения с другими звездами постоянного, известного блеска. Как правило, эти звезды сравнения (“comparison”, или “comp”) находятся на карте рядом с переменной. Разыщите их в телескоп, снова очень старательно убеждаясь в правильности отождествления.

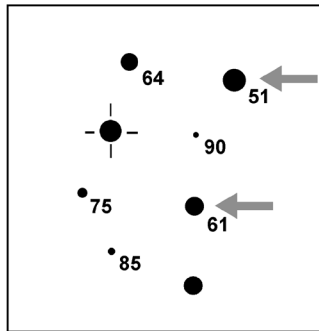
4. Оцените блеск – Чтобы оценить звездную величину переменной звезды, определите, какая звезда или какие звезды сравнения (comp) ближе всего по блеску к переменной. За исключением случаев, когда у переменной в точности такой же блеск, как у одной из звезд сравнения, придется интерполировать между звездой, которая ярче самой переменной, и звездой, которая слабее нее. Понять эту процедуру поможет упражнение по интерполяции на рис. 3.1 (стр. 14).

Рисунок 3.1 – Упражнения по интерполяции

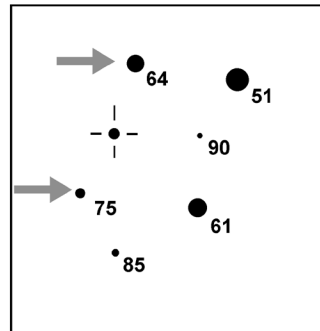
Ниже приводятся несколько примеров, показывающих, как нужно проводить интерполяцию между звездами сравнения для определения звездной величины переменной. Не забывайте, что в реальном мире все звезды выглядят как светящиеся точки, а не как диски различного размера. В каждом примере звезды, используемые при интерполяции, отмечены стрелками.

Чтобы больше узнать об интерполяции, попробуйте воспользоваться «симулятором телескопа» (“Telescope Simulator”) – динамической презентацией того, как следует оценивать блеск переменной звезды, доступ к которой предоставляет сайт AAVSO по адресу <https://www.aavso.org/online-resources>.

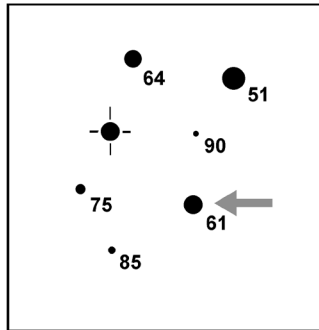
Величина 5.2



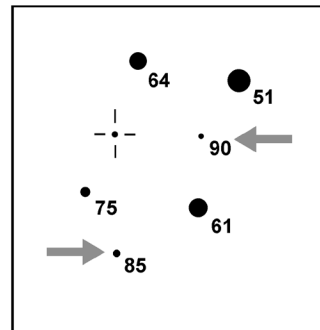
Величина 7.1



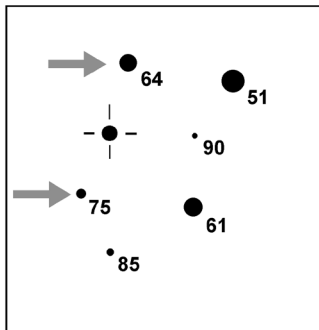
Величина 6.1



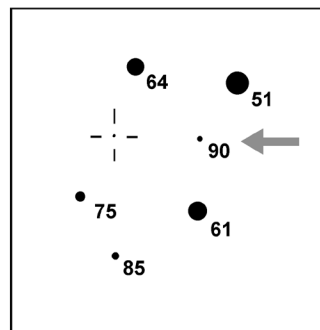
Величина 8.9



Величина 6.5



Величина < 9.0
(«слабее, чем» 9.0)



5. Запишите Ваши наблюдения – Как можно скорее после каждого наблюдения следует записать в журнал следующую информацию:

- идентификатор звезды для переменной (за дополнительной информацией по этому вопросу обращайтесь к страницам 22–24)
- дату и время наблюдения
- оценку звездной величины для переменной
- величины звезд сравнения, использованные в этой оценке
- идентификатор использованной карты
- примечания, относящиеся к любым условиям, которые могли повлиять на видимость (например, облака, дымка, свет Луны и

6. Подготовьте отчет – Для отчетов о наблюдениях существует совершенно четкий формат; для передачи отчетов в штаб-квартиру AAVSO имеются предпочтительные средства. Указания, относящиеся к отчетам о наблюдениях, будут детально описаны в Главе 7 настоящего Руководства.

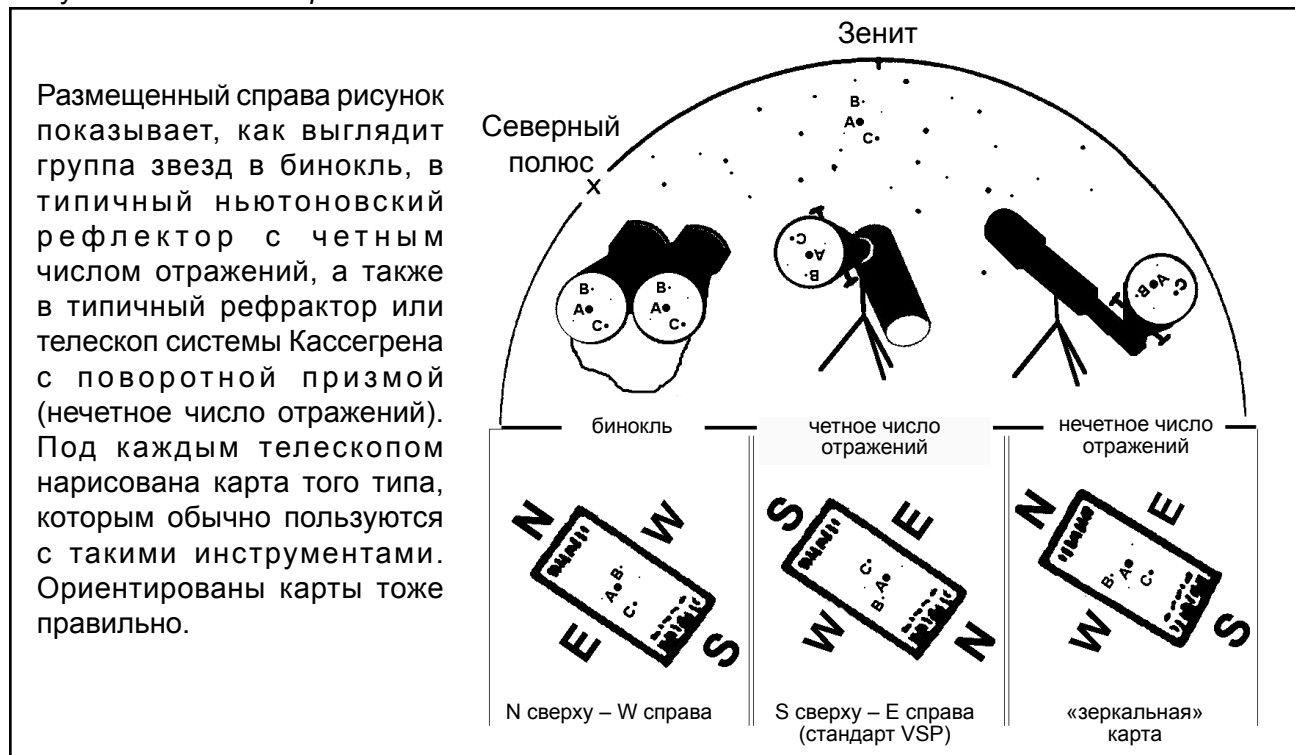
Дополнительные советы наблюдателю

Поле зрения

Начинающим наблюдателям следует определить приближенные размеры поля зрения их телескопов при использовании разных окуляров. (См. также стр. 4.) Наведите телескоп на какую-нибудь область вблизи небесного экватора и дайте, при неподвижном инструменте, яркой звезде пройти по полю зрения. Около экватора звезда движется со скоростью один градус за четыре минуты. Если, например, звезде требуется две минуты, чтобы пересечь поле зрения от края до края, значит, диаметр поля зрения составляет половину градуса.

При известном поле зрения инструмента на карте можно нарисовать окружность нужного диаметра, с переменной звездой в центре, что облегчит отождествление нового поля. Другой вариант – воспроизвести поле зрения на карте, воспользовавшись куском картона или пластика с вырезанной дырой нужного размера или же сделать проволочное кольцо, которое можно положить на карту, и т.п.

Рисунок 3.2 – Типы карт



Ориентация карт

Независимо от типа карт, которыми Вы пользуетесь, положение переменной относительно горизонта меняется из-за вращения Земли, и карту следует держать, руководствуясь следующими правилами.

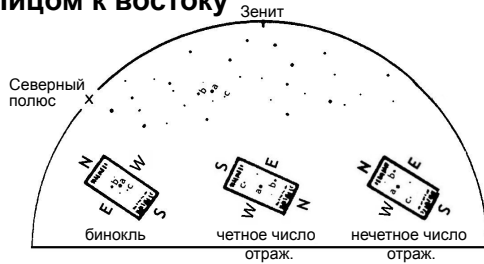
1. Встаньте лицом в ту сторону, где расстояние от переменной до горизонта меньше всего.
2. Поднимите карту над головой рядом с переменной звездой.

3. В случае обычной карты (S сверху – E справа) поверните ее так, чтобы юг (S) был обращен к Полярной звезде. (В южном полушарии следует повернуть север, N, к южному полюсу мира.) Если используется карта, приготовленная для бинокля, или «зеркальная» карта, поверните север к Полярной звезде.

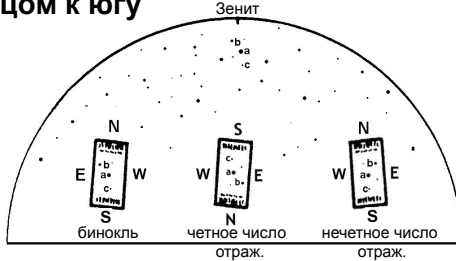
4. Опустите карту на уровень, удобный для работы, не меняя ее ориентации.

Северное полушарие

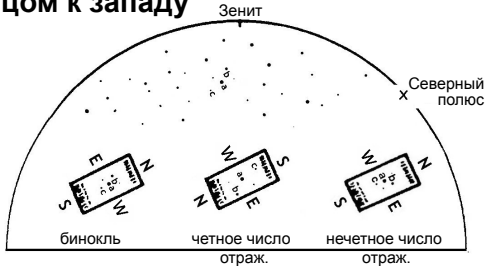
Лицом к востоку



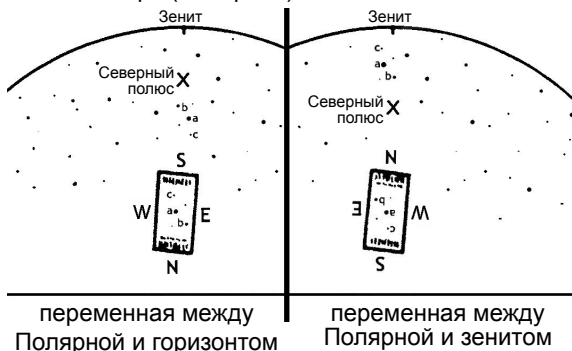
Лицом к югу



Лицом к западу

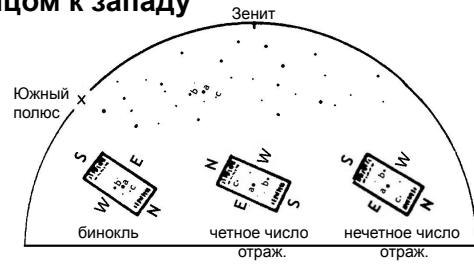


Лицом к северу – Карту следует держать перевернутой, если переменная выше Северного полюса мира (Полярной).

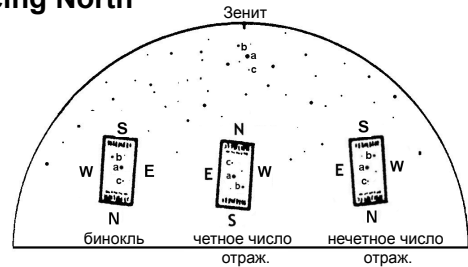


Южное полушарие

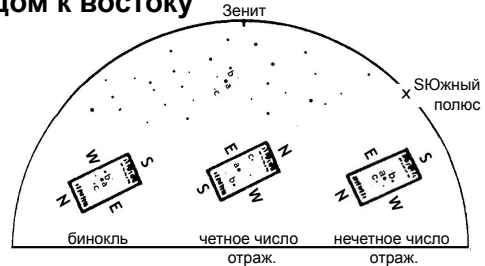
Лицом к западу



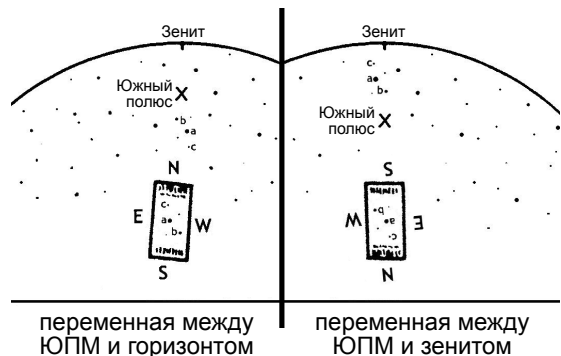
Facing North



Лицом к востоку



Лицом к югу – Карту следует держать перевернутой, если переменная выше Южного полюса мира (ЮПМ).



Ориентация карт

Чтобы успешно пользоваться картами, нужно научиться правильно устанавливать ориентацию N–S и E–W при изготовлении карт и правильно ориентировать карты относительно неба.

Если, например, Вы наблюдаете с биноклем или невооруженным глазом, карту следует напечатать так, чтобы север был сверху, а запад – справа. С другой стороны, при использовании телескопа-рефлектора с четным числом отражений (в результате чего видимое поле перевернуто) лучше сделать карту, у которой юг сверху, а восток – справа. Для рефракторов и телескопов системы Шмидта–Кассегрена часто применяют отклоняющую призму (диагональное зеркало), в результате чего получается нечетное число отражений. Тогда получится изображение с правильной стороной наверху, у которого, однако, восток и запад поменялись местами (то есть зеркальное изображение). В таком случае удобнее пользоваться отраженными картами AAVSO, у которых север находится сверху, а восток – справа. На рисунке 3.2 (см. ниже) показаны различные способы изготовления карт и то, как их следует размещать по отношению к небу.

Шкала звездных величин

На первый взгляд шкала звездных величин может показаться странной: чем больше число, тем слабее звезда. Средний предел видимости невооруженным глазом при очень хороших условиях – это 6-я величина. Такие звезды, как Антарес, Спика и Поллукс, имеют 1-ю величину, а Арктур и Вега – звезды 0-й величины. У очень яркой звезды Канопус –1-я (минус первая) величина, а у самой яркой звезды на небе, Сириуса, звездная величина составляет –1.5.

На картах AAVSO звезды сравнения обозначены числами, указывающими их звездные величины с точностью до десятых долей. Десятичные точки не используются, чтобы не перепутать их с точками, обозначающими звезды. Так, 84 и 90 – это две звезды с величинами соответственно 8.4 и 9.0.

Измерения блеска звезд

– Выдержка из учебника по астрономии
переменных звезд AAVSO

Корни метода, которым мы сегодня пользуемся, сравнивая видимый блеск звезд, уходят в античность. Заслугу изобретения системы, позволяющей классифицировать звезды по блеску, обычно приписывают Гиппарху, греческому астроному, жившему во втором веке до н.э. Он называл самую яркую звезду каждого созвездия звездой «первой величины». В 140 г. н.э. Птолемей усовершенствовал систему Гиппарха и стал, сравнивая блеск звезд, пользоваться шкалой от 1 до 6, причем 1-я величина соответствовала самым ярким, а 6-я – самым слабым звездам.

В середине 1800-х гг. астрономы подвели под это правило численную основу и модифицировали старую греческую систему. Наблюдения показали, что звезды 1-й величины в 100 раз ярче, чем звезды 6-й величины. Было также рассчитано, что для глаза человека различие блеска примерно в $2\frac{1}{2}$ раза воспринимается как изменение на 1 величину, так что различие на 5 величин означает разницу в 2.5^5 (или 100) раз. Поэтому было принято определение, по которому разница в 5 величин в точности соответствует фактору 100 в видимом блеске.

Следовательно, одна величина соответствует корню 5-й степени из 100, или приблизительно 2.5; таким образом, видимый блеск двух объектов можно сравнить, вычтя звездную величину более яркого из них из звездной величины более слабого и возведя 2.5 в степень, соответствующую этой разности. Например, разница в блеске между Венерой и Сириусом составляет примерно 3 величины. Значит, человеческий глаз видит Венеру в 2.5^3 (или около 15) раз более яркой, чем Сириус. Иными словами, чтобы сравняться с блеском Венеры, в одном месте на небе пришлось бы собрать 15 звезд с блеском Сириуса.

В этой шкале некоторые очень яркие объекты имеют отрицательные звездные величины, в то время как самые мощные телескопы (например, Космический телескоп им. Хаббла) могут «видеть» объекты примерно до +30 звездной величины.

Звездные величины избранных объектов:

Солнце	-26.7	Сириус	-1.5
Полная Луна	-12.5	Вега	0.0
Венера (макс.)	-4.6	Полярная звезда	2.0

Величины звезд сравнения, указанные на картах AAVSO, измерены очень тщательно с использованием специальных приборов (фотоэлектрических и ПЗС-фотометров); при оценке блеска переменной их можно рассматривать как эталонную шкалу. Важно, чтобы наблюдатель фиксировал, какими звездами сравнения он пользовался, оценивая блеск переменной.

На самом деле шкала звездных величин – логарифмическая, и если одна звезда «вдвое слабее», чем другая, ей не будет соответствовать просто вдвое большее значение величины. (Более подробное объяснение Вы найдете во врезке справа, Измерения блеска звезд.) По этой причине наблюдателям всегда следует остерегаться использовать звезды сравнения, очень сильно отличающиеся по блеску, оценивая переменную звезду – отличие не должно превышать 0.5 или 0.6 звездной величины.

Предельная величина

Следует рекомендовать использовать при наблюдениях оптические средства, как раз достаточные для уверенной видимости переменной звезды. В общем, если переменная ярче 5-й величины, лучше всего пользоваться невооруженным глазом; при звездной величине между 5-й и 7-й рекомендуем искатель или хороший бинокль; если переменная слабее 7-й величины, следует использовать сильный бинокль либо телескоп с диаметром объектива 3 дюйма или больше, в зависимости от звездной величины переменной.

Оценки блеска выполнять легче, и они получаются более точными, если звезда на 2–4 величины ярче предела инструмента.

Таблица 3.1 предоставляет ориентировочную справку о предельной звездной величине в зависимости от телескопа/инструмента. То, что действительно окажется доступным для наблюдений с Вашим оборудованием, может совсем не совпасть с этими сведениями из-за меняющихся условий видимости и различий в качестве телескопа. Возможно, Вы решите составить свою таблицу предельных величин,

Таблица 3.1 – *Типичные предельные величины*

		Глаз	Бинокль	15 см	25 см	40 см
Город	Сред.	3.2	6.0	10.5	12.0	13.0
	Лучш.	4.0	7.2	11.3	13.2	14.3
Полутем. небо	Сред.	4.8	8.0	12.0	13.5	14.5
	Лучш.	5.5	9.9	12.9	14.3	15.4
Оч. тем. небо	Сред.	6.2	10.6	12.5	14.7	15.6
	Лучш.	6.7	11.2	13.4	15.6	16.5

воспользовавшись звездным атласом или картой легкой для отыскания переменной звезды с указанными на ней звездными величинами. Не теряйте время, занимаясь более слабыми звездами, чем предельная величина Вашего телескопа – результат хорошим не окажется.

Если около переменной находится слабая соседняя звезда, внимательно удостоверьтесь, что Вы не путаете эти две звезды друг с другом. Если переменная близка к пределу видимости и остаются некоторые сомнения, верно ли Вы ее отождествили, укажите это обстоятельство в своем отчете.

Идентификация переменной

Не забывайте, что на момент поиска переменной звезды она может оказаться для Вашего телескопа видимой или невидимой, в зависимости от того, близка ли она к максимуму или минимуму блеска или же блеск оказался где-то между максимумом и минимумом.

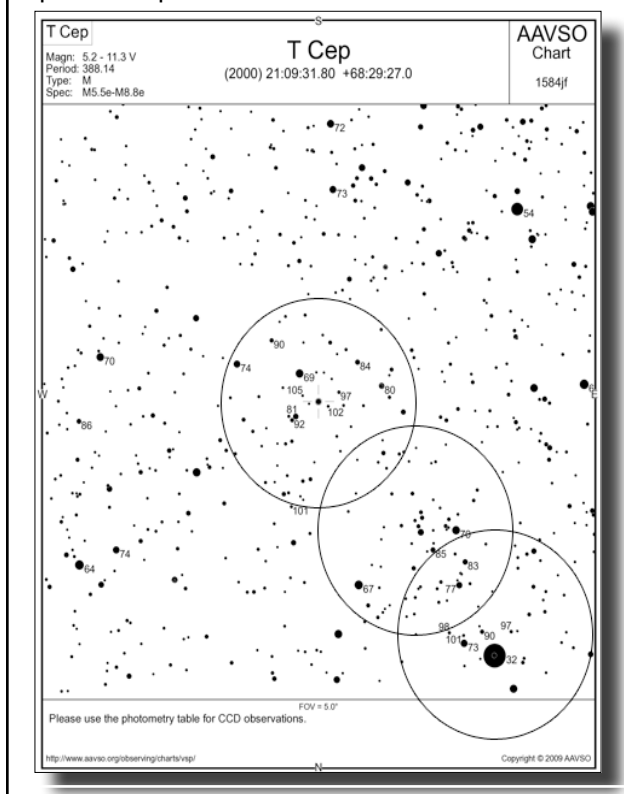
Если Вы считаете, что нашли переменную, очень тщательно сравните область вокруг нее с картой. Если в поле есть какие-то звезды, которые, похоже, противоречат карте по своему блеску или положению, то, может быть, Вы смотрите не на ту звезду. Попробуйте отождествиться еще раз.

Если переменная – слабая звезда или если она находится в поле с очень высокой звездной плотностью, Вам потребуется более сильный окуляр. Кроме того, вероятно,

потребуется использовать карты типа `D` или `E`, чтобы добиться уверенной идентификации переменной. Наблюдая, расслабьтесь. Не теряйте время на те переменные, которые Вы не можете найти. Затратив разумные усилия и не сумев найти переменную звезду, запишите это и перейдите к следующей переменной. Закончив сеанс наблюдений, повторно рассмотрите атлас и карты и попытайтесь понять, почему не удалось найти переменную. Когда Вы будете наблюдать в следующий раз, сделайте новую попытку!

Рисунок 3.3 – *Перепрыгивая от звезды к звезде*

Приведенная ниже карта иллюстрирует типичный переход от яркой звезды, Беты Цефея, к переменной звезде Т Цефея. Обратите внимание, что на карту дополнительно нанесено поле зрения телескопа наблюдателя и что для нахождения пути от Беты к Т Цефею используется яркий астеризм.



Подбор звезд сравнения

Чтобы сделать оценку, нужно использовать не меньше двух звезд сравнения, а если получится, и больше. Если разница блеска между звездами сравнения очень велика,

скажем, 0.5 величины или больше, будьте предельно внимательны, сравнивая интервал блеска между более яркой звездой сравнения и переменной с интервалом между переменной и более слабой звездой сравнения.



Крис Стефан (SET) сверяется с атласом.

Оценка блеска переменной

Записывайте именно то, что видите, не обращая внимания на кажущиеся несоответствия в наблюдениях. Каждый сеанс наблюдений нужно начинать с чистой головой; не допускайте искажения оценки из-за Ваших более ранних оценок или в связи с тем, какого поведения Вы ОЖИДАЕТЕ от звезды.

Размышляя над оценкой, пожалуйста, не забывайте о следующих трех обстоятельствах.

Расположение в поле зрения

Нужно подчеркнуть, что все наблюдения следует выполнять поближе к середине поля зрения инструмента. Большинство телескопов не обеспечивают 100% освещения поля всех окуляров, и искажения изображений увеличиваются к краям поля зрения.

Если переменная звезда и звезда сравнения близки друг к другу, их следует разместить на одинаковом расстоянии от центра поля зрения. Если расстояние между ними велико, их нужно рассматривать не одновременно, а по очереди, помещая каждую из них в центр поля. Прежде чем удастся сделать оценку, может потребоваться неоднократное перемещение телескопа туда-сюда между двумя звездами.

Позиционный угол

Переводя взгляд от переменной к звезде сравнения и обратно, важно не забывать подвинуть голову или повернуть выпрямляющую призму (если она используется) так, чтобы воображаемая линия, соединяющая две звезды, была параллельна линии, соединяющей оба Ваших глаза. Если этого не делать, возникает «ошибка позиционного угла», которая может внести искажение в окончательную оценку, достигающее половины звездной величины.

Эффект Пуркинье

При наблюдениях переменных явно красного цвета их рекомендуется оценивать так называемым методом «быстрого взгляда», а не путем продолжительного рассматривания. Из-за эффекта Пуркинье красные звезды могут сильнее возбуждать сетчатку глаза, если их разглядывать в течение продолжительного интервала времени; в соответствии с этим красные звезды могут показаться слишком яркими по сравнению с голубыми звездами, в результате чего вносится искажение в их относительные величины.

Другой прием, настоятельно рекомендуемый для оценок блеска красных звезд, называется внефокальным методом. При его применении окуляр надо настолько вывести из фокуса, чтобы звезды стали видны как бесцветные диски. Это позволяет избежать систематической ошибки, обусловленной эффектом Пуркинье. Если цвет переменной различим, даже когда звезды выведены из фокуса, может потребоваться перейти на меньший телескоп или перекрыть часть объектива.

Слабые звезды

Работая со слабыми звездами, можно попытаться выполнить оценку, используя краевое зрение. Для этого нужно разместить переменную и звезды сравнения в центре поля зрения, а взгляд сосредоточить на краю, так что окажется задействованным периферическое зрение. Объяснение, почему такой прием помогает, приведено на стр. 23-24.

Если переменная не видна по причине крайне слабого блеска, дымки или засветки Луной, отметьте самую слабую звезду сравнения, видимую в данной области. Если у нее, скажем, звездная величина 11.5, запишите наблюдение как <11.5 , имея в виду, что переменная была невидима: слабее, чем звездная величина 11.5. Скобка с углом, направленным влево, означает «слабее, чем».

Ведение записей

Для записей наблюдений следует использовать журнал с несъемным переплетом (вроде бухгалтерской книги). Всегда содержите журналы с исходными записями в сохранности. Любые изменения в записях или результаты обработки следует вносить чернилами другого цвета и сопровождать датами. Возможно использование еще одного журнала, в том числе с листами, которые можно вынимать, для ведения записей об итогах месяцев, хранения отправленных отчетов, призывов к наблюдениям и прочей информации. Записи в компьютере следует сохранять и архивировать, чтобы к ним в дальнейшем можно было обращаться.

Записи наблюдений должны указывать также отвлекающие факторы, такие как присутствие других лиц, световые помехи, шум и все прочее, что могло воздействовать на степень концентрации внимания.

Если Ваша оценка звездной величины почему-либо вызывает сомнения, отметьте это в записи, указав причины сомнения.

Важно вести записи таким образом, чтобы на наблюдателя не оказывало воздействия знание той величины, которая была у переменной во время прошлых наблюдений. Наблюдатель должен всячески стремиться к независимости оценок друг от друга и не обращаться к прежним наблюдениям.

В заголовке каждой страницы журнала наблюдений запишите юлианскую дату (что это такое, объяснено в Главе 5) и день недели, а также год, месяц и дату наблюдения. Целесообразно использовать записи в виде двойной даты, чтобы не запутаться в

наблюдениях, выполненных после полуночи.
 Пример: JD 2455388, сб.-вс., 10–11 июля 2010.
 В случае ошибки в одном из элементов даты,
 остальные помогут разобраться, какая дата
 верна.

Если Вы используете для наблюдений более
 одного инструмента, отметьте для каждого
 наблюдения, с каким именно инструментом
 оно выполнено.

Фрагмент журнала наблюдений Джина Хансона (HSG)

DATE: 03/04-05/99 INST: 6 cm refr.
 JD: 2451242 COND: Clear, Windy

VAR	DESIGN	TIME	MAGN	COMP	CHART	CODE	REMARKS
ZUMA	1151158	8 01A	8.1	79, 84	1756aa	W	

Свет звезды в Ваших глазах

– Выдержка из учебника по астрономии переменных звезд AAVSO

Глаз человека напоминает фотоаппарат. Глаз оснащен встроенными устройствами для очистки и смазки, экспонометром, автоматическим видеоискателем и пополняемым запасом пленки. Свет от объекта попадает на роговицу – прозрачное покрытие поверхности глаза, а затем проходит через прозрачную линзу (хрусталик), удерживаемую в правильном положении ресничными мышцами. Подобно затвору фотоаппарата, радужная оболочка перед линзой открывается или закрывается, регулируя количество света, проникающего в глаз, путем непроизвольного сокращения или расширения зрачка. С возрастом радужная оболочка постепенно сокращается в размерах; у детей и молодежи зрачок может расширяться до размера в 7 или 8 мм, а то и больше, но нет ничего необычного, если к 50 годам максимальный размер зрачка уменьшается до 5 мм, резко уменьшая возможности глаза по собиранию света. Совместное действие роговицы и хрусталика подобно линзе переменного фокусного расстояния, фокусирующей свет от объекта, так что на задней поверхности глаза, называемой сетчаткой, строится действительное изображение. Из-за сокращения размера зрачка с возрастом на сетчатку 60-летнего человека приходит втрое меньше света, чем на сетчатку 30-летнего.



Сетчатка работает подобно пленке в фотоаппарате. В ней содержится около 130 миллионов светочувствительных клеток, именуемых колбочками и палочками. Поглощаемый такими клетками свет инициирует фотохимические реакции, возбуждающие электрические импульсы в нервах, подходящих к колбочкам и палочкам. Сигналы от отдельных колбочек и палочек объединяет сложная сеть нервных клеток, которая передает их из глаза в мозг по зрительному нерву. Что именно мы увидим, определяется тем, какие именно колбочки и палочки возбуждены поглощенным светом и тем, как именно мозг объединяет и интерпретирует электрические сигналы от различных колбочек и палочек. Наши глаза все время «думают» о том, какую информацию переслать дальше, а какую проигнорировать.

Колбочки сконцентрированы на одном участке сетчатки, именуемом центральной ямкой. Ее диаметр – около 0.3 мм, там находится 10000 колбочек, а палочек совсем нет. У каждой колбочки на этом

участке есть свое нервное волокно, проходящее в мозг вдоль зрительного нерва. Благодаря огромному количеству нервов, выходящих из этой маленькой площадки, центральная ямка – участок сетчатки с самыми благоприятными свойствами для разрешения мелких деталей яркого объекта. Помимо того, что они обеспечивают этому участку высокую остроту зрения, колбочки центральной ямки и других участков сетчатки отвечают за различение различных цветов приходящего света. Способность «видеть» цвет звезд сильно понижена из-за того, что интенсивность цвета недостаточна для возбуждения колбочек. Есть еще одна причина: с возрастом пропускание линзы падает, а непрозрачность возрастает. Хрусталики младенцев очень прозрачны, пропуская свет даже со столь короткой длиной волны глубокого фиолетового цвета, как 3500 ангстрем.

За пределами центральной ямки концентрация колбочек уменьшается. В этих периферических участках преобладают палочки. Их плотность в сетчатке примерно такая же, как у колбочек на участке центральной ямки. Однако световые сигналы примерно от 100 соседних палочек сводятся воедино в одну нервную клетку, ведущую к мозгу. Такое объединение сигналов от палочек

ухудшает нашу способность видеть мелкие детали объекта, но помогает разглядеть слабо освещенные предметы благодаря тому, что большое количество слабых сигналов объединяется, создавая более сильный сигнал. По этой причине блеск слабой переменной звезды легче оценить, если смотреть не прямо на звезду, а в сторону от нее.

Здоровый глаз может фокусироваться на предметах, расположенных на любых расстояниях примерно от 8 см до бесконечности. Способность фокусировки на объектах на различном расстоянии называется аккомодацией. В отличие от фотоаппарата, где используется линза с фиксированным фокусным расстоянием, но для учета различных расстояний до предметов изменяется расстояние от линзы до изображения, у глаза расстояние до изображения постоянно, примерно 2.1 см (расстояние от радужки и хрусталика до сетчатки), но используется система с переменным фокусным расстоянием линзы. Когда глаз направлен на далекие объекты, мышца

ресничного тела, присоединенная к хрусталику, расслабляется, и кривизна хрусталика уменьшается. Уменьшение кривизны означает увеличение фокусного расстояния, позволяющее сфокусировать изображение на сетчатке. Если хрусталик останется уплощенным, а предмет приблизится к хрусталику, изображение сдвинется назад и окажется позади сетчатки, так что на сетчатке окажется смазанное пятно света. Чтобы избежать этого, ресничные мышцы сокращаются, увеличивая кривизну хрусталика и уменьшая его фокусное расстояние. При уменьшившемся фокусном расстоянии изображение сдвинется вперед, и на сетчатке вновь окажется резкое, сфокусированное изображение. Когда после многочасового чтения глаза устают, причина в том, что ресничные мышцы были в напряжении, удерживая кривизну хрусталиков глаз.

Для глаза самая далекая точка – это наибольшее расстояние до предмета, на котором может сфокусироваться пребывающий в покое глаз. Самая близкая точка для глаза – это наименьшее расстояние до предмета, на котором может сфокусироваться напряженный глаз. Дальняя точка для нормального глаза – это практически бесконечность (мы можем сфокусировать глаз на Луне или далеких звездах), а ближняя точка находится на расстоянии около 8 см. Наша настраиваемая «линза-трансфокатор» меняется с возрастом; минимальное фокусное расстояние увеличивается, и становится трудно сфокусироваться даже на объектах, удаленных сантиметров на 40, так что становится трудно рассмотреть карту или снять показания прибора. Стареющий глаз постепенно меняет наше восприятие Вселенной.