

НАБЛЮДЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД ПРОСТЕЙШИМИ СРЕДСТВАМИ

Николай Николаевич Самусь

(редакция приносит извинения за невысокое качество
графиков и таблиц, сканированных в первоисточнике
"Астрономический календарь на 1989 год",
Москва, "Наука", 1988)

**В статье автора приведены исправления
исторических дат на 2004 год и вставлены
некоторые поправки редактора и
координатора группы "Бетельгейзе"**

В 2004 г. исполнилось 365 лет со времени открытия повторяемости появлений Миры Кита. Эта дата по праву считается датой появления в европейской науке понятия "переменная звезда".

Разумеется, уже в глубокой древности наблюдатели иногда замечали появление ярких новых и сверхновых звезд. Но, по крайней мере в европейской науке, каждое такое появление воспринималось как отдельное сенсационное событие, и общее представление о неизменности небес, как ни странно, оставалось неколебимым. Это хорошо видно, например, из мемуара Тихо Браге "De nova... Stella...", посвященного появлению Сверхновой 1572 г., где автор выражает крайнее изумление по поводу наблюдавшегося события, не согласующегося с общей концепцией "основателей науки". Распространенное мнение, что в древности была известна переменность Алголя, основано, в сущности, лишь на названии этой звезды (по-арабски "звезда дьявола"). Даже обнаружение Давидом Фабрициусом Миры Кита в 1596 г. и повторно в 1609 г. не было правильно истолковано как наблюдение одной и той же звезды с периодическим изменением блеска. Лишь в 1639 г. природу явления правильно объяснил голландский ученый Гольварда.

Иоганн Фоккенс, известный под именем Гольварда, родился в Хольвердене (отсюда имя) в 1618 г. Он был профессором логики и философии в университете Франекера. Свои результаты, относящиеся к Мира Кита, он получил почти одновременно со своим коллегой Фуллениусом, работавшим первоначально независимо. Умер Гольварда в 1651 г.

Еще одна юбилейная дата 2004 года - 240 лет со дня рождения Джона Гудрайка (1764—1786). Глухонемой юноша, занимавшийся, в сущности, любительскими наблюдениями совместно с Э. Пиготтом, Гудрайк обнаружил периодичность изменений блеска Алголя, открыл переменность β Лир и δ Цефея. Ему принадлежит также впервые высказанная идея о затмениях как возможной причине переменности Алголя.

С точки зрения сегодняшнего дня Гудрайк, Гольварда и другие первые исследователи переменных звезд вели простейшие визуальные наблюдения этих объектов. Хотя сейчас астрономические обсерватории обладают весьма совершенной техникой, простейшие наблюдения переменных звезд могут принести реальную пользу науке. Без помощи любителей астрономы-профессионалы не в состоянии проследить за десятками тысяч известных ныне переменных звезд. В то же время даже малоопытный любитель астрономии с самыми скромными наблюдательными средствами (например с биноклем) может успешно наблюдать яркие переменные звезды, и его работа будет принята профессионалами с большой признательностью.

Предлагаемая статья содержит некоторые первоначальные рекомендации для тех астрономов-любителей, кто хочет приступить к наблюдениям переменных звезд - наблюдениям визуальным, в бинокль или в небольшой телескоп.

Если предполагается проводить наблюдения с биноклем, полезно прежде всего позаботиться об удобной подставке, чтобы не держать бинокль на весу. Нужен звездный атлас для поиска интересующих наблюдателя участков звездного неба и совершенно необходимы карты окрестностей для каждой изучаемой переменной (исключая, быть может, самые яркие). Такие карты приводятся в

"Справочнике любителя астрономии" П. Г. Куликовского и неоднократно публиковались в "АК", но, к сожалению, довольно давно. В одном из следующих выпусков "АК" предполагается опубликовать новую подборку поисковых карт.

Метод глазомерных оценок блеска переменных звезд, пожалуй, не заслуживал и названия метода, пока известный немецкий астроном Ф. Аргеландер (1799-1875; см. статью о нем в "АК" на 1974 г.) не придумал первый простой и надежный способ достаточно объективных оценок. Способ Аргеландера называют **степенным**, поскольку в его основе лежит понятие **степени**. Под степенью понимают минимальную разность в блеске двух звезд, которую в состоянии заметить наблюдатель. Несмотря на кажущуюся неопределенность этого понятия, у каждого наблюдателя по мере накопления им опыта довольно быстро вырабатывается свое стабильное представление о степени, которое затем годами остается неизменным (рис. 1).

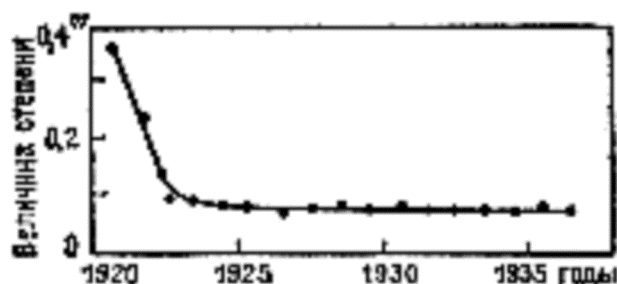


Рис. 1. Изменение величины степени с течением времени у наблюдателя П.П. Паренаго. По Н.Ф. Флоре, П.П. Паренаго и М. С. Звереву

У опытного наблюдателя степень составляет чаще всего около 0,1 звездной величины или чуть меньше. Представление о том, как из наблюдений определить, чему равна ваша степень, вы получите ниже, когда мы будем обсуждать оценки способом Блажко – Нейланда.

При пользовании, способом Аргеландера все разности блеска выражают в единицах степени. Поскольку речь идет о разностях блеска, то кроме исследуемой переменной звезды нужна еще и звезда сравнения, близкая на небе и по возможности не сильно отличающаяся от изучаемой переменной по цвету. Обозначим переменную буквой v (от английского "variable" или немецкого

"veranderlich" - переменная), а звезду сравнения, например, буквой **a** (звезд сравнения может быть несколько, и их чаще всего обозначают, начиная с самой яркой, буквами латинского алфавита **a, b, c, ...**). Хорошо, когда и переменная, и звезда сравнения обе помещаются в поле зрения бинокля, телескопа.

Предположим, что наблюдателю обе звезды, **a** и **v**, кажутся одинаково яркими или же что ему при продолжительном рассматривании кажется более яркой то одна, то другая звезда. Такой ситуации в способе Аргеландера соответствует запись **a = v** или **v = a**. В случае, если звезда **a** ярче, чем звезда **v**, на еле уловимую величину (на одну степень), наблюдатель запишет **a 1 v**. Если же на одну степень ярче переменная, будет сделана запись **v 1 a**. При более значительной разности блеска ее можно оценить в две, три или четыре степени (запись

a 2 v, a 3 v или **a 4 v** соответственно в случае более яркой звезды сравнения либо **v 2 a, v 3 a, v 4 a** в случае более яркой переменной), Следует избегать, во всяком случае начинающим, оценки интервалов блеска более чем в четыре степени. Если разность блеска велика, надо подобрать другую звезду сравнения.

Принципиальным недостатком способа Аргеландера является, если можно так выразиться, незамкнутость оцениваемого интервала. Если мы сравниваем блеск переменной с блеском более яркой звезды сравнения **a**, то мы достаточно твердо уверены в том, что **v** наверняка слабее, чем **a**. Но в "слабую" сторону мы можем ошибиться весьма сильно. Хорошо бы замкнуть оцениваемый интервал еще одной звездой сравнения, более слабой, чем переменная.

Американский астроном Э. Пиккеринг (1846-1919), директор обсерватории Гарвардского колледжа, предложил интерполяционный способ глазомерных оценок блеска переменных звезд. В этом способе блеск переменной **v** сравнивают с блеском двух звезд сравнения, **a** и **b**, первая из которых ярче, а вторая слабее, чем переменная. Интервал блеска между звездами сравнения **a** и **b** нужно мысленно разделить на 10 частей и решить, на какую из десятых долей интервала приходится блеск переменной. Если, скажем, между **a** и **v** три десятых, а между **v** и **b** семь десятых всего интервала от **a** до **b**, наша оценка будет иметь

вид $a3v7b$. В общем виде оценка по способу Пиккеринга имеет вид $apvqb$, где p и q - целые числа, причем $p + q = 10$. В предельных случаях возможны, конечно, оценки $a = v$ или $b = v$. Может так случиться, что переменная звезда, меняя свой блеск, станет, например, слабее, чем звезда сравнения b . Тогда нам придется подобрать еще одну звезду сравнения, c , и оценивать переменную в интервале от b до c . Для переменных звезд с большой амплитудой изменений блеска на практике иногда приходится вводить по пять, шесть и более звезд сравнения. Конечно, если мы заранее не знаем пределы переменности, нам, возможно, придется ввести и звезды сравнения более яркие, чем a . При желании впоследствии звезды сравнения можно переобозначить, восстановив алфавитный порядок. Чтобы не потерять точность оценок, нужно подбирать последовательность звезд сравнения так, чтобы в каждой их паре разность блеска была не слишком велика, по возможности не более 1 звездной величины. Не очень удобны и слишком малые интервалы блеска между звездами сравнения (скажем, 0,2 звездной величины и менее) - их трудно разделить на 10 частей, и вообще разность блеска звезд сравнения должна заметно превышать точность оценок.

Деление интервала блеска между двумя звездами сравнения всегда на 10 частей, независимо от того, мал интервал или велик, - недостаток способа Пиккеринга. Он не так важен, если для звезд сравнения известны звездные величины с достаточно высокой точностью. Если же это не так, а используется не одна пара звезд сравнения, то довольно трудно связать наблюдения на разных интервалах в единую шкалу, по возможности линейно связанную со шкалой звездных величин.

Объединив идеи Аргеландера и Пиккеринга, советский астроном С. Н. Блажко (1870 - 1956) и независимо голландец А. Нейланд предложили весьма удачный способ глазомерных оценок блеска, который мы рекомендуем любителям астрономии для обучения визуальным наблюдениям переменных звезд. Как и в способе Пиккеринга, блеск переменной оценивают в интервале между двумя звездами сравнения. Но принципиально важно, что разности блеска

от **a** до **v** и от **v** до **b** оцениваются в степенях. Понятие степени в способе Блажко — Нейланда такое же, как и в способе Аргеландера. Очень существенно, что интервалы **av** и **vb** оцениваются с одинаковым представлением о степени, это позволяет при обработке использовать интерполяционные приемы. Оценка по способу Блажко - Нейланда имеет вид **apvqb**, где **p** и **q** — целые (например **a2v4b**). Соображения о введении дополнительных звезд сравнения и о разности блеска между звездами сравнения в каждой паре - такие же, как в способе Пиккеринга.

После того как у наблюдателя выработается первоначальное чувство своей степени, выполненные способом Блажко - Нейланда оценки можно использовать для вывода степенной шкалы. Основой для этой операции служат средние по ряду наблюдений интервалы (выраженные в степенях) между последовательными звездами сравнения. Пусть, например, используются пять звезд сравнения, **a, b, c, d, e** (табл. 1).

Таблица I

Степенная шкала звезд сравнения

Звезда	Предварительная звёздная величина	Средний интервал в степенях	Степенная шкала	Выравненная звёздная величина
a	8,0		0,0	8,04
b	8,6	4,3	4,3	8,52
c	9,2	6,6	10,9	9,13
d	9,4	3,5	14,4	9,41
e	9,7	3,7	18,1	9,73

В выражении **apvqb** сумма **p + q** в выполненных оценках иногда могла быть равна 3, иногда 4, в других случаях 5 или 6. Найдя сумму всех оценок **p + q** и разделит ее на число таких оценок, найдем средний интервал в степенях между звездами сравнения **a** и **b** (в нашем примере он равен 4,3). Аналогичную процедуру выполним для пар **(bc)**, **(cd)** и **(de)**. Далее можно присвоить звезде сравнения **a** значение 0,0 в степенной шкале и, последовательно прибавляя разности, вычислить значения в степенной шкале для остальных

звезд сравнения. В таком варианте, подобно шкале звездных величин, большие числовые значения степенной шкалы соответствуют более слабым звездам (вообще говоря, для степенной шкалы это не обязательно).

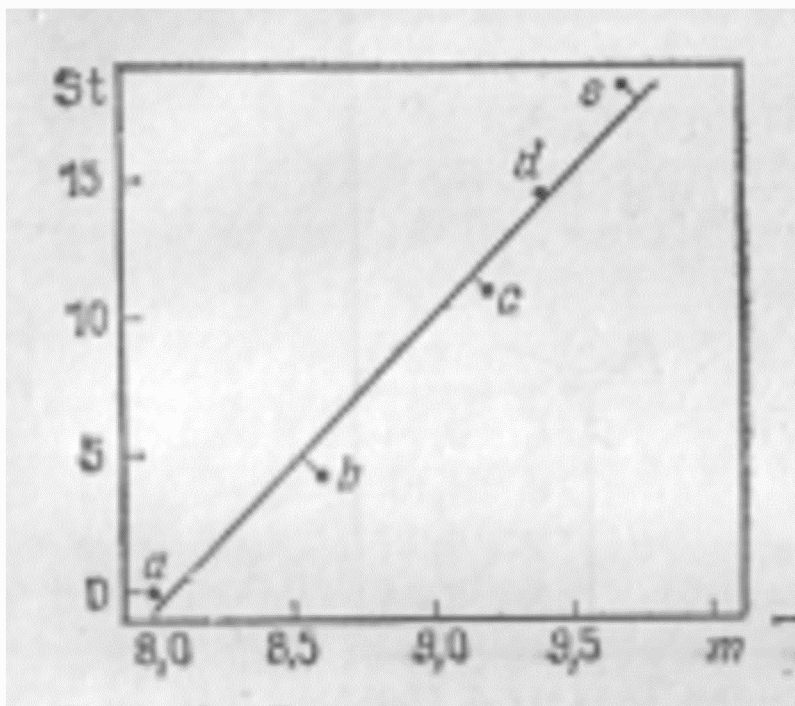
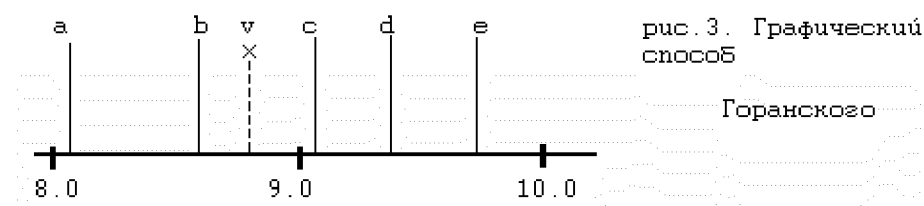


Рис. 2. Выравнивание шкалы

На рис. 2 блеск звезд сравнения, выраженный в степенной шкале, отложен в зависимости от визуальных звездных величин тех же звезд, заимствованных погрешностей, мы можем попытаться выравнивать шкалу звездных величин по степенной шкале. На рисунке для этого из каждой точки на аппроксимирующую прямую опущен перпендикуляр, после чего можно определить абсциссы точек пересечения перпендикуляров с прямой и принять их за исправленные значения величин звёзд сравнения (последний столбец таблицы). Такой способ выравнивания шкалы звездных величин предполагает, что исходная шкала звездных величин и степенная шкала примерно в равной степени ответственны за разброс точек. Впрочем, в наше время, когда зачастую нетрудно найти в литературе хорошие величины звезд сравнения, я не стал бы рекомендовать очень увлекаться выравниванием шкал, особенно начинающим

наблюдателям. Предпочтительнее разыскать в литературе величины звезд сравнения и обрабатывать оценки, выполненные по способу Блажко - Нейланда, интерполируя между звездами сравнения. График же, аналогичный рис. 2, построить интересно: он покажет, насколько хорошо наблюдатель освоился с понятием степени, и позволит по наклону прямой узнать, чему сейчас равна степень у данного наблюдателя. Накопив опыт наблюдений, каждый может выбрать наиболее удобный для себя способ оценок. У описанных способов возможны модификации. Так, например, для случая известных величин звезд сравнения опытный наблюдатель Виталий Петрович Горанский (Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга - ГАИШ) рекомендует на листе миллиметровой бумаги изображать ось звёздных величин, перпендикулярно которой проводят прямые, соответствующие величинам звезд сравнения (рис. 3.).



Выполняя оценку, наблюдатель ставит на такой график точку, соответствующую его восприятию блеска переменной звезды относительно подходящей пары звезд сравнения (на нашем рисунке - относительно звезд **b** и **c**), и сразу же считывает результат в звездных величинах (в нашем случае **8,73**). Это позволяет экономить время и ликвидировать один из этапов обработки наблюдений.

Проведите теперь пробные наблюдения δ Цефея. Карта окрестностей этой переменной звезды приведена на рис. 4, на врезке которого можно найти величины звезд сравнения¹⁾.

1) Удачный подбор близких на небе звёзд сравнения для яркой переменной звезды – непростое дело. И в нашем случае все четыре традиционно рекомендуемые для любительских наблюдений звёзды сравнения – известные переменные или заподозренные в переменности звёзды. Однако амплитуда их блеска очень мала, в ваших наблюдениях вы не её почувствуете и на точности результатов это не скажется

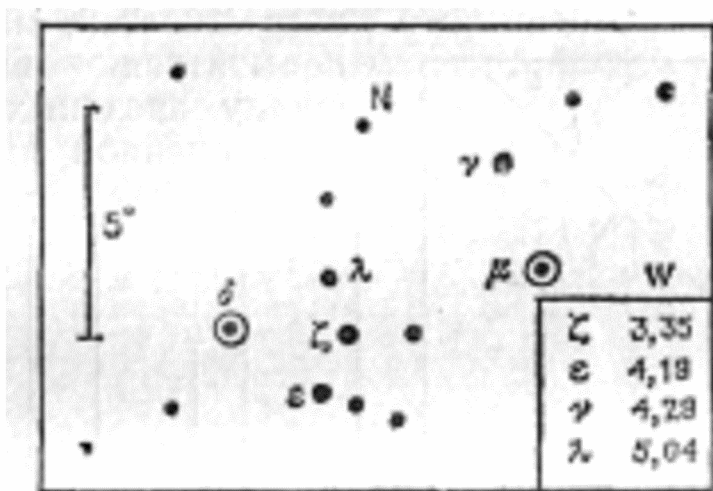


Рис. 4. Карта окрестностей переменной звезды δ Цефея

$$\alpha /1950/ = 22^{\text{ч}}27^{\text{м}}19^{\text{с}},$$

$$\delta /1950/ = +58^{\circ}09,5'$$

Для наблюдений достаточен небольшой бинокль. Разумеется, каждая оценка должна сопровождаться записью момента времени. Для δ Цефея очень точная регистрация моментов не нужна (период не слишком короток), но лучше сразу приучить себя к максимальному порядку в своей простейшей "службе времени": регулярно проверять часы, записывать поправки часов, отмечать, введена ли уже поправка при записи момента наблюдения или ее надо ввести при обработке.

Совершенно необходимо четко пометить, в какой системе счета времени выражены моменты, избегая путаницы между "зимним" и "летним", московским (или минским) и местным временем и т. п. При обработке все моменты времени следует перевести в юлианские даты (с долями суток), пользуясь таблицами "АК" и имея в виду, что целая юлианская дата соответствует гринвичскому полдню. Для короткопериодических звезд, с периодами до 1,5 суток, следует осуществить приведение моментов к центру Солнца. Описание этой процедуры можно найти в "Справочнике любителя астрономии" П. Г. Куликовского. Особенно рекомендуем использование приложенной к этой книге номограммы Зверева, поскольку при счете по формуле у начинающих могут возникнуть затруднения, связанные, например, с

переводом координат звезды из экваториальной системы и эклиптическую.

Проводите наблюдения δ Цефея по возможности каждую ясную ночь, получая для неё по одной оценке в ночь, пока у вас не накопится хотя бы 20 – 30 оценок. Переведите все моменты времени в юлианские даты и доли суток (таблицы см. в книге "Справочник любителя астрономии" П. Г. Куликовского), а сами оценки – в звёздные величины. Теперь попробуем привести все наблюдения к одному циклу пульсаций и построить кривую блеска. Для этого нужно знать **элементы изменения блеска**, т. е. формулу, позволяющую предвычислять моменты максимума блеска (иногда минимума) для периодической переменной звезды. Эта формула имеет общий вид

$$\max (\min) = T_0 + P \cdot E, \quad (1)$$

где T_0 - исходная эпоха экстремума, P - принятое значение периода, а E — текущий номер эпохи (целое число). Для δ Цефея в IV издании "Общего каталога переменных звезд" приводятся элементы

$$\max = 2436075,445 + 5,366341d \cdot E. \quad (1')$$

Для каждого момента времени в таблице наблюдений нужно вычислить фазу по формуле

$$\Phi = F([T - T_0] : P), \quad (2)$$

где F означает дробную часть числа, T — момент наблюдений, T_0 — эпоху максимума и P — период из элементов изменения блеска (для δ Цефея $T_0 = 2436075,445$ и $P = 5,366341$). Во избежание путаницы с понятием дробной части будем считать, что всегда $T > T_0$. (При оценках блеска звезд по архивным фотографиям это условие иногда оказывается невыполненным. Но тогда нетрудно принять в качестве нового значения T_0 значение $T_0 - NP$, где N — достаточно большое целое число.) Значения Φ , очевидно, заключены в пределах от 0 до 1 и представляют собой долю периода, протекшую со времени последнего предвычисленного момента максимума (минимума для затменных переменных).

График, на котором звездная величина отложена в зависимости от фазы, и есть кривая блеска, сведенная к одному циклу переменности. Для наглядности принято по оси абсцисс откладывать несколько больше одного полного периода переменности, для чего часть точек приходится наносить на график дважды; как это делается, легко понять из рис. 5, на котором изображена кривая блеска δ Цефея по высокоточным фотоэлектрическим наблюдениям Т. Моффетта и Т. Барнса. Сравните с рис. 5 получившуюся у вас кривую блеска δ Цефея. Конечно, у вас должен был получиться более значительный разброс точек, но если общий характер кривой блеска похож, можно считать, что первая проба у вас получилась успешной. Быть может, на вашем графике некоторые точки сильно выпадут из общего хода кривой. Проверьте в таком случае всю обработку наблюдений: правильно ли вычислены звездная величина, юлианская дата, фаза, правильно ли нанесена точка на график. Ну а если на этом пути вы не избавитесь от противоречия?

Здесь рельефно выявляется отличие астрономического наблюдения от физического эксперимента. Условия эксперимента исследователь задает сам, он может их повторить и таким образом проверить правильность экспериментального значения. Процессы, происходящие на звезде δ Цефея, от нас не зависят, и о том, каков был ее блеск в прошлый момент, мы можем судить только по наблюдениям того момента.

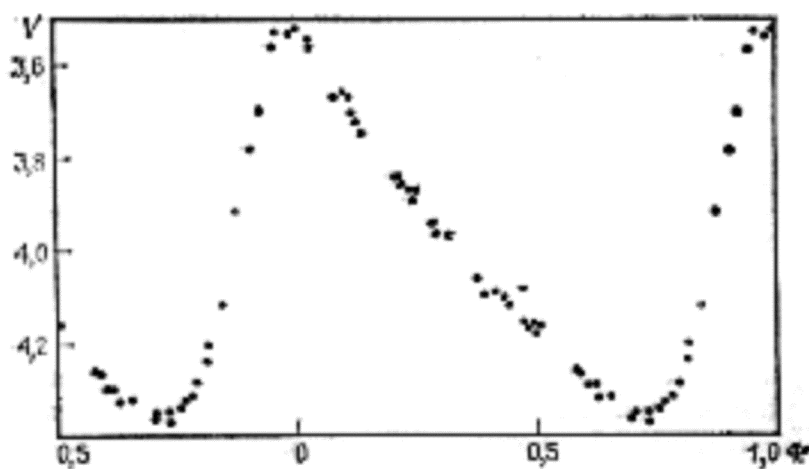


Рис. 5. Кривая блеска δ Цефея по фотоэлектрическим наблюдениям Т. Моффетта и Т. Барнса

Нужно поэтому стремиться к максимальной надежности каждого наблюдения, стараясь исключить всякую неаккуратность. Если наблюдателю, выполняющему оценку, она представляется по каким-либо причинам не вполне надёжной (скажем, было недостаточно темно, были подозрения на наличие облаков и т.п.), оценка обязательно сопровождается знаком неуверенности - двоеточием (например $\alpha^3\gamma^3\beta:$) или при наличии чистого неба без облаков, через некоторое время ВНОВЬ переоценить блеск звезды, напрочь забыв предыдущие оценки. Двоеточие должно впоследствии сопровождать выведенную из этой оценки звездную величину, а соответствующая точка на графике должна как-нибудь помечаться (можно, например, брать такие точки в скобки).

В случае δ Цефея, меняющей свой блеск весьма регулярным образом, вряд ли, конечно, "выпавшая" точка - это проявление реальной аномалии в поведении звезды. Вероятнее всего, это ошибочное наблюдение, вполне объяснимое у начинающих, а иногда случающееся и у самых опытных наблюдателей. Но у других звезд отклонения от регулярной картины поведения возможны, и их выявление представляет интерес.

Если элементы изменения блеска хорошо описывают переменность звезды в нынешние времена, то максимум на вашей кривой блеска попадет на фазу 0,00. Значительные отклонения фазы максимума от нуля говорили бы о том, что элементы нуждаются в коррекции из-за их недостаточной точности или из-за того, что период исследуемой переменной звезды меняется во времени. Несколько подробнее об этом будет сказано ниже.

Теперь можно попытаться перейти от пробных наблюдений δ Цефея к систематическим наблюдениям и ее, и других переменных звезд из программы "АК" (или программы группы "Бетельгейзе") с тем, чтобы помочь профессиональным астрономам в накоплении информации о переменных звездах. Ни в коем случае не следует сразу стремиться к максимальному расширению своей наблюдательной программы. Напротив, лучше взять для наблюдений не слишком много звезд, но следить за ними регулярно. Подберите себе звезды из

списков на стр. 156 - 159 настоящего выпуска "АК" (АК-1989) или из списков полуправильных и неправильных переменных звезд, опубликованных в "АК" на 1960 и 1969 гг. Поначалу следует отдавать предпочтение звездам со значительной амплитудой изменения блеска, не слишком быстрой переменностью и не слишком слабым блеском (во всяком случае в максимуме). ПРИМ. РЕДАКЦИИ. Очень интересный список звёзд и рекомендации для наблюдений предлагает Владимир Платонович Цесевич на с. 284 в книге "Что и как наблюдать на небе" - Изд. 5-е. - М.: Наука, 1979./

На первом этапе наблюдений следует научиться уверенно находить на небе все звезды программы, звезды сравнения. Разумеется, для короткопериодических переменных звезд одним наблюдением в каждую ясную ночь можно и не ограничиваться, а оценивать блеск неоднократно и течение ночи. Планируя наблюдения, следует помнить, что для пульсирующих переменных наибольший интерес представляет определение моментов максимума, а для затменных - моментов минимума блеска. Поэтому следует заранее взять из "АК" или вычислить самостоятельно, по элементам изменения блеска, *эфемериду*, т. е. сводку предвычисленных моментов максимума (минимума); на ближайшее время, и начинать наблюдения звезды, приближающейся к максимуму (минимуму), достаточно заблаговременно, чтобы хорошо охватить наблюдениями эпоху экстремального блеска.

Собственно говоря, любые не слишком разрозненные и достаточно аккуратно выполненные оценки блеска переменных звезд из списков "АК" могут представлять интерес для науки, и их следует направлять в ГАИШ, Одесскую обсерваторию или координатору группы "Бетельгейзе" для обработки и использования в исследованиях; возможны публикации наиболее существенных любительских результатов в сборниках "Переменные звезды", IBVS, ОАР и др. Однако дальнейшее использование ваших наблюдений будет облегчено, а сами вы ощутите большую причастность к настоящему научному исследованию, если самостоятельно продвинетесь подальше по пути обработки.

Построив кривую блеска, определите, в каких пределах звездных величин меняется переменная звезда. Помните при этом, что всякие наблюдения **небезошибочны**, и надо, опираясь на разброс точек на кривой блеска, учесть уровень точности своих наблюдений и прикинуть, в каких пределах можно считать изменения блеска реальными. Сравните выведенные вами пределы изменения блеска с приводимыми в "АК". Для переменных с характерными особенностями кривой блеска (например, для затменных со вторичными минимумами, пульсирующих с горбами) нужно определить звездную величину и фазу соответствующих деталей. У пульсирующих звёзд надо определить долю цикла, занимаемую восходящей ветвью, от самого глубокого места в минимуме до вершины максимума (обозначается $M-m$). У затменных звёзд представляют интерес доля цикла D от начала до конца затмения (если есть главный и вторичный минимумы, определяют $D I$ и $D II$) и доля цикла d (либо $d I$ и $d II$), приходящаяся на плоский участок "дна" минимума, если такая остановка в минимуме, отождествляемая с полным или кольцеобразным затмением, присутствует (в противном случае принимают $d = 0$).

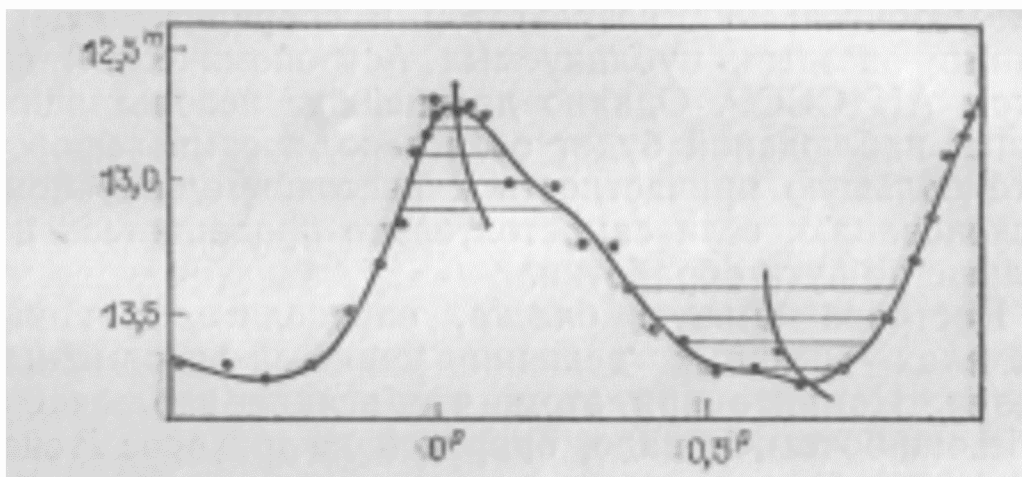


Рис. 6.

К определению моментов максимума и минимума блеска из наблюдений (способ Погсона).

Построив плавную кривую блеска и разделив пополам хорды, параллельные оси абсцисс, кривой блеска.

По Б. В. Кукаркину и Н. Ф. Флоре

Выведите по своим наблюдениям серию моментов экстремального блеска (моментов максимумов для пульсирующих и моментов минимумов - для затменных переменных). Было бы не вполне осмотрительно принимать в качестве момента максимума попросту момент, соответствующий самой яркой оценке в окрестностях эфемеридного момента максимума. Безошибочных наблюдений не бывает, и необходимо опираться на весь прилегающий к максимуму участок кривой блеска. Один из вариантов того, как это можно сделать, показан на рис. 6. Такой прием применяют и к наблюдениям индивидуального максимума (проведённых визуально или фотографическим способом), когда по оси абсцисс вместо фаз можно откладывать просто моменты времени, и к оценкам за некоторый интервал дат, приведенных к одному циклу, например, к сезонной кривой блеска, построенной по наблюдениям данного года.

Каждый наблюденный момент экстремального блеска необходимо сравнить с эфемеридным, рассчитанным по элементам изменения блеска. Сравнение дает значения $O - C = T$ (наблюденное) - T (вычисленное). Обозначение " $O - C$ " как раз и происходит от английского выражения "Observed minus Calculated" - "наблюденное минус вычисленное". В качестве единицы измерения $O - C$ чаще всего используют сутки, хотя иногда $O - C$ выражают и в долях периода. Систематическое отклонение $O - C$ от нуля в одну сторону в течение некоторого интервала времени говорит о том, что элементы изменения блеска нужно исправить. О причине неудовлетворительности элементов можно судить по графику $O - C$, т. е. по графику, по оси ординат которого откладывают $O - C$, а по оси абсцисс - моменты времени либо значения E , соответствующие каждому из значений $O - C$ в формуле (1). Если точки ложатся с некоторым разбросом вдоль прямой, период переменной звезды можно на интервале времени, охваченном наблюдениями, считать постоянным. Непараллельность такой прямой и оси абсцисс на графике $O - C$ говорит о том, что значение периода, принятое в формуле (1), является неточным. Положительный наклон этой прямой к оси абсцисс говорит о том, что истинное значение периода больше,

чем принятое; и наоборот, отрицательный наклон означает, что период в формуле (1) надо уменьшить. Легко вычислить и значение поправки к периоду. Если, например, при $E=1000$ $O - C = +0,025d$, а при $E = 3000$ $O - C = +0,045d$, то поправка к значению периода в формуле (1) составляет $\Delta P = (0,045d - 0,025d)/2000 = +0,00010d$. Но прямая в нашем примере не проходит через начало координат: при $E = 0$ $O - C = +0,015d$. Это та поправка, которую нужно придать к моменту T_0 в формуле (1).

Не всегда, однако, график $O - C$ имеет вид прямой линии. Нел и прямая не получается - значит, период меняется. Разумеется, с точки зрения математики процесс изменений блеска с не вполне постоянным периодом, строго говоря, периодическим назвать нельзя. На практике же изменения периода наблюдаются у многих переменных звезд, меняющих свой блеск достаточно регулярным образом. Вид графика $O - C$ для непостоянного периода может быть самым разным, но наиболее характерны три случая. График $O - C$ в виде ломаной линии говорит о том, что период постоянен в пределах каждого отрезка прямой, а на стыках отрезков период менялся практически скачкообразно. Если период возрастает или убывает с постоянной скоростью, график $O - C$ имеет вид **квадратичной** параболы, причем в случае возрастания периода ее ветви направлены вверх, а если период убывает - вниз. Наконец, случается, что на графике $O - C$ просматривается синусоида. Это значит, что сам период переменной звезды подвержен намного более медленным, но тоже периодическим изменениям. Чаще всего это бывает у затменных звезд, у которых периодические изменения периода могут свидетельствовать о наличии в системе "третьего тела", т. е. о том, что помимо двух периодически затмевающих друг друга звезд в системе есть еще одна тяготеющая масса, движение вокруг которой ведет то к запаздыванию, то к слишком раннему наступлению минимумов, У затменных звезд бывают, однако, и более сложные явления, ведущие тоже к периодическим изменениям периода.

На рис. 7 показаны два графика $O - C$ для затменной переменной BF Vir. Первый из них основан только на наблюдениях профессиональных астрономов, а второй - с учетом наблюдений

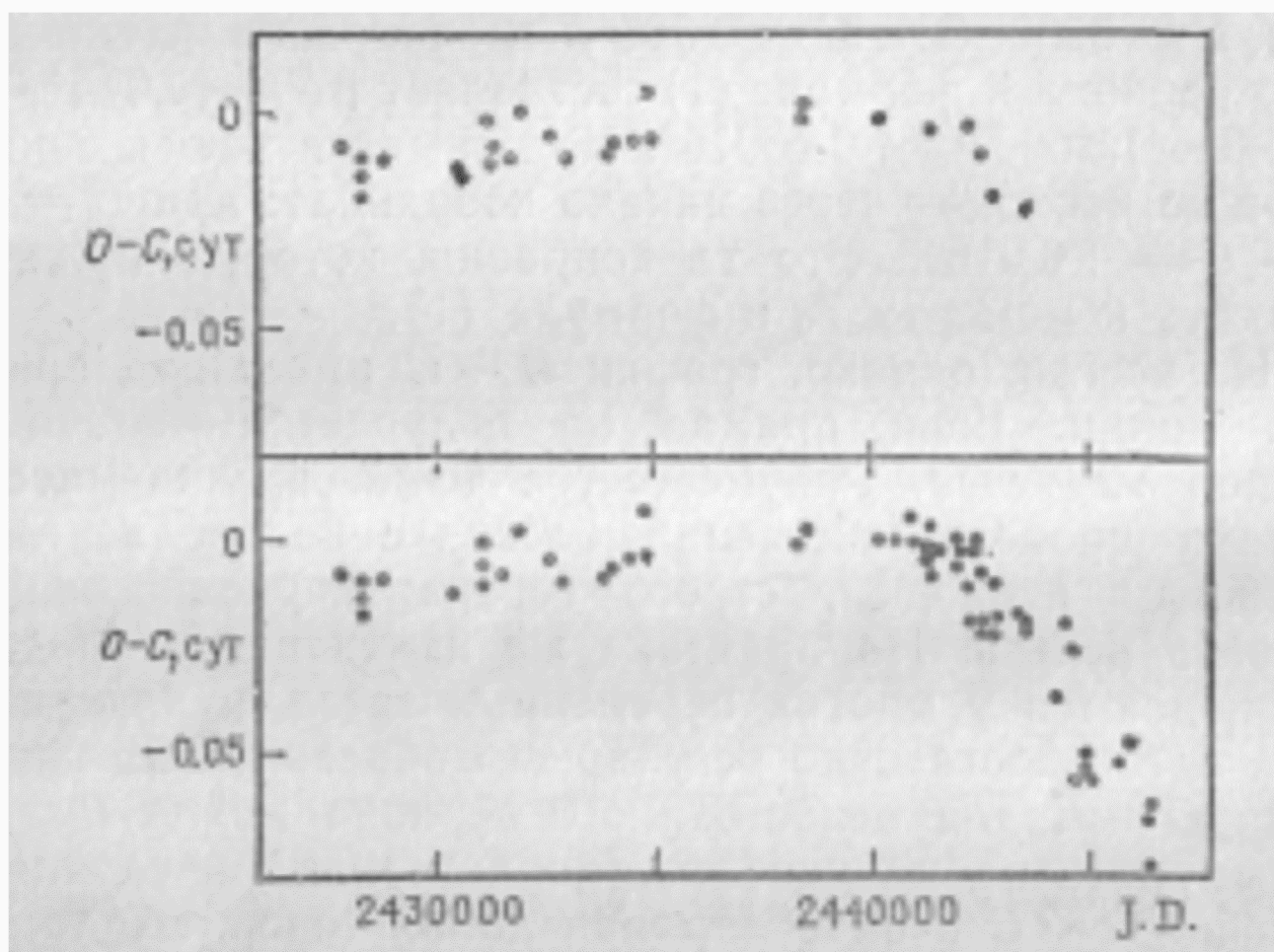


Рис. 7. График $O - C$ для затменной переменной BF Девы

любителей астрономии (в основном входящих в западноевропейские любительские объединения наблюдателей переменных звезд). Видно, что звезда изменила период скачкообразно. Это очень интересный факт, говорящий о нестационарностях и системе. И совершенно очевидно, что без наблюдений любителей астрономии факт изменения периода не был бы надежно установлен.

В СССР астрономы-профессионалы ведут активные исследования переменных звезд. Всемирным признанием пользуются работа московских астрономов по регулярному составлению новых изданий "Общего каталога переменных звезд", работа астрономов Одессы по уточнению эфемерид звезд типа RR Лиры и изучению эффекта Блажко, исследования звезд типа UV Кита, ведущиеся в Крымской и Бюраканской обсерваториях, и многие другие

направления советских исследований звездной переменности. С сожалением приходится констатировать, что вклад советских любителей астрономии (а в 2005 г. - любителей астрономии стран СНГ) в мировые любительские исследования переменных звезд не соответствует значимости работ советских "переменщиков" - профессионалов. Будем надеяться на повышение активности наших любителей астрономии, интересующихся переменными звездами.

В качестве более детальных руководств для любителей астрономии, желающих начать наблюдать переменные звезды, рекомендуем следующие публикации:

1. Курочкин Н. Е. Инструкция для наблюдений переменных звезд. Астрономический календарь: Постоянная часть. - Изд. 7-е. - М.: Наука, 1981. - с. 422.
2. Цесевич В. П. Переменные звезды и их наблюдение. - М.: Наука, 1980.
3. Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе. - Изд. 5-е. - М.: Наука, 1979.
4. Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии, - Изд. 4-е. - М.: Наука, 1971.
5. Гоффмейстер К., Рихтер Г., Венцель В. Переменные звезды. Перевод с немецкого под ред. Н. Н. Самуся – М.: Наука, 1990.
6. Андронов И. Л. Одесский астрономический календарь 2000 – 2004 г.г. Рубрика "Переменные звёзды". Одесса, "Астропринт" 2000 – 2004.
7. Взаимодействующие двойные звёзды. Под ред. Дж. Е. Прингла и Р. А. Уэйда. Перевод с английского К. А. Постнова. – М.: Наука, 1993.
8. Купер У., Уокер Е., Измеряя свет звёзд. Перевод с английского Е. В. Глушковой и А. С. Расторгуева – М.: МИР, 1994.

Статью к печати подготовил координатор
группы "Бетельгейзе"

Иван Сергеевич Брюханов

betelgeize_astro@mail.ru