**Курсовая работа по теме:**

# **Затменно-переменные звёзды и возможности их наблюдений любителями астрономии**

**Введение**

Данная работа посвящена изучению затменно-переменных звёзд. В первой главе рассматривается общие сведения о переменных звёздах, даются основные понятия из курса общей астрономии, которые используются в дальнейшем.

Вторая глава посвящена непосредственно затменно-переменным звёздам. Изменение их блеска вызвано периодически повторяющимися затмениями, когда одна из звёзд, входящих в двойную систему закрывает от нас другую. Их исследование даёт сведения о размерах, массе , плотности вещества и температуре поверхностных слоёв звёзд – информацию, на которой в значительной степени базируется наука о звёздах.

В третьей главе кратко рассказывается о необходимости любительских наблюдений переменных звёзд для их детального изучения. Координацией любительских наблюдений переменных звёзд занимаются различные организации, где может осуществляться связь между любителями астрономии и астрономами - профессионалами. Крупнейшей такой организацией является Американская Ассоциация наблюдателей переменных звезд AAVSO. В нашей стране подобных организаций пока не существует, но есть масса любителей астрономии, у которых накоплен огромный наблюдательный материал, нуждающийся в обработке.

В качестве приложения к работе рассмотрен пример наблюдений одной затменно-переменной звезды AB Андромеды. В результате наблюдений был построен график изменения её блеска, из которого удалось сделать некоторые выводы.

**Глава 1.**

**Общие сведения о переменных звёздах**

|  |  |
| --- | --- |
| **1.1.** | **Понятие переменной звезды** |

|  |
| --- |
| В исследованиях переменных звезд большую роль играет историческая традиция. Так, понятие переменной звезды вырабатывалось на интуитивном уровне в течение нескольких столетий. В результате общепринятого строгого определения переменной звезды не существует. Отсутствуют и общепринятые ограничения на минимальную амплитуду изменений блеска звезды, позволяющую считать ее переменной. Изложенные ниже соображения обобщают подход, выработанный на основе опыта составителей "Общего каталога переменных звезд" (ОКПЗ), официального международного справочника по переменным звездам.            Разумеется, понятие переменной звезды исключает явления кажущейся переменности, обусловленные земной атмосферой. Как это всегда делается в звездной фотометрии, перейдем к заатмосферным величинам. Освещенность, создаваемая звездой на границе земной атмосферы, может меняться по многим причинам, которые мы условно подразделим на несколько групп:  1). Физические изменения на поверхности звезд при пульсациях, вспышках и т.п.  2). Вращение звезды, неравномерно покрытой темными или светлыми пятнами.  3). Затмения звездами друг друга, прохождение планет по диску звезд.  4). Изменения условий экранирования звезды межзвездной средой.  5). Прочие геометрические эффекты (например, вращение несферической звезды), а также сочетания геометрических и физических эффектов (изменения условий видимости газовых потоков, дисков, струй, эффекты отражения в двойных системах и т.п.).           Очевидно, сформулированные причины носят достаточно всеобщий характер. Более того, первая группа причин охватывает изменения светимости в ходе звездной эволюции, а пятая группа - изменения наблюдаемого блеска, связанные с изменением расстояния от Солнца до звезды при их движении в Галактике. Конечно, понятие переменной звезды не должно являться столь всеохватывающим, а, следовательно, на него необходимо наложить некоторые ограничения.            Первое ограничение - это требование обнаружимости переменности на современном уровне технических средств. В начале ХХ века звезда, меняющая блеск не более чем на 0,1m, с полным основанием могла считаться постоянной, поскольку применявшиеся методы определения блеска звезд (глазомерные оценки по сравнению с соседними звездами на небе или на фотографиях) не могли выявить такую переменность. Напротив, в наше время выделено немало типов переменных звезд, характеризующихся максимальными изменениями блеска на несколько сотых звездной величины, что вполне обнаружимо при современных фотоэлектрических или ПЗС-наблюдениях. Строго говоря, для признания звезды переменной нет необходимости в том, чтобы в современную эпоху блеск ее менялся обнаружимым образом; достаточно, если блеск когда-то менялся в обнаружимых тогда масштабах. Последняя оговорка отражает существование объектов, у которых амплитуда изменения блеска за время их исследований действительно сильно уменьшилась, и переменность стала почти не обнаружимой, несмотря на прогресс наблюдательной техники, хотя раньше переменность наблюдалась при более низком техническом уровне (примером, с некоторыми оговорками, может служить Полярная звезда). Заметим, что до настоящего времени не достигли массовой технической обнаружимости изменения блеска, связанные с прохождением планет по диску звезд, хотя первые сообщения о наблюдениях подобных явлений уже появились, а первая переменная звезда такого типа включена в 76-й Список обозначений переменных звезд (2001г.).            Бывает, что у звезды наблюдаются изменения в спектре, которые, вообще говоря, должны сопровождаться некоторой фотометрической переменностью (ведь методами фотометрии можно, например, выделить даже отдельную переменную спектральную линию). По историческим причинам, однако, к переменным звездам относят лишь объекты, у которых фотометрическая переменность обнаружена непосредственно, а не по косвенным данным.            Второе ограничение в какой-то степени связано с первым: это ограничение на скорость изменений блеска. Ясно, что, например, звездная эволюция способна привести к весьма значительным изменениям блеска, но у большинства звезд соответствующие процессы проистекают столь медленно, что за время, охваченное наблюдениями современной точности, еще не накопилось изменение блеска обнаружимых масштабов. (Быстрые эволюционные изменения, несомненно, наблюдаются у некоторых звезд, очевидный пример - сверхновые). Ни для одной звезды не достигли обнаружимости изменения блеска, связанные с изменениями расстояния. Итак, в своей совокупности первое и второе ограничения означают, что у переменной звезды должны происходить изменения блеска с амплитудой, обнаружимой наблюдениями, за интервал времени, охваченный наблюдениями соответствующей точности.           Следующее ограничение - на спектральный диапазон. В каталоги переменных звезд принято включать лишь объекты, у которых выявлены изменения блеска в ультрафиолетовом, видимом или инфракрасном диапазоне. Переменность в радиодиапазоне или в рентгеновском диапазоне, безусловно, делает поиск оптической переменности звезды весьма перспективным, но переменной звездой такой объект будет объявлен лишь после успешного завершения этого поиска.            Подведем итог. Звезду считают переменной и включают в соответствующие каталоги, если ее заатмосферный блеск в ультрафиолетовом, видимом или инфракрасном диапазоне меняется (менялся) в масштабах, обнаружимых при достигнутой точности наблюдений за интервал времени, охваченный наблюдениями такой точности.           В последнее десятилетие ХХ века темп открытий новых переменных звезд вновь резко возрос. Это связано с двумя основными обстоятельствами. Во-первых, получили широкое распространение методы ПЗС-фотометрии, при которых практически с фотоэлектрической точностью исследуется не отдельная звезда, а целая площадка, причем в последнее время размеры ПЗС-детекторов позволяют наблюдать достаточно обширные поля. При помощи ПЗС-камер начаты обзоры плотно населенных звездных полей с целью выявления эффектов переменности особой природы (гравитационное линзирование). Побочным результатом таких программ становится открытие многочисленных переменных звезд различных типов. За последние годы так были обнаружены многие тысячи новых переменных звезд в балдже Галактики и в Магеллановых Облаках. Начаты и специализированные программы автоматического поиска переменных звезд (ASAS), а также программы с покрытием всего неба до определенной, пока не слишком глубокой, звездной величины (ROTSE). Во-вторых, массовые открытия переменных звезд стали побочным результатом и некоторых космических программ, в частности, астрометрических проектов HIPPARCOS и TYCHO. Так, первый из них позволил выявить около 6000 новых переменных звезд, из которых свыше 3500 уже получили окончательные обозначения в системе ОКПЗ. Десятки тысяч переменных звезд открыто или заподозрено и во втором эксперименте, однако его низкая фотометрическая точность затрудняет включение этих звезд в списки обозначений. Поток новых открытий заставляет пересматривать принципы составления каталогов переменных звезд, все в большей степени переходить к чисто компьютерным каталогам, чтобы оперативно предоставлять пользователям максимально полную информацию о выявленной звездной переменности. |

**1.2 Некоторые важные понятия и формулы из общей астрономии**

Прежде, чем приступить к описанию затменно-переменных звёзд, которым посвящена данная работа, рассмотрим некоторые основные понятия, которые нам понадобятся в дальнейшим.

*Звёздная величина* небесного светила – это принятая в астрономии мера его блеска. *Блеском* называется интенсивность света, доходящего до наблюдателя или освещённость, создаваемая на приёмнике излучения (глаз, фотопластинка, фотоумножитель и т.п.) Блеск обратно пропорционален квадрату расстояния, разделяющего источник и наблюдателя.

Звёздная величина *m* и блеск *E*  связаны между собой формулой:

 (1.1)

В этой формуле *Ei*– блеск звезды *mi* -й звёздной величины, *Ek* - блеск звезды *mk* -й звёздной величины. Пользуясь этой формулой, нетрудно видеть, что звёзды первой звёздной величины (1m ) ярче звёзд шестой звёздной величины (6m), которые видны на пределе видимости невооружённого глаза ровно в 100 раз. Именно это обстоятельство и легло в основу построения шкалы звёздных величин.

Прологарифмировав формулу (1) и приняв во внимание, что lg 2,512 =0,4, получим:

, (1.2)

откуда:

 (1.3)

Последняя формула показывает, что разность звёздных величин прямо пропорциональна логарифму отношения блесков. Знак минус в этой формуле говорит о том, что звёздная величина возрастает (убывает) с уменьшением (возрастанием) блеска. Разность звёздных величин может выражаться не только целым, но и дробным числом. С помощью высокоточных фотоэлектрических фотометров, можно определять разность звёздных величин с точностью до 0,001m. Точность визуальных (глазомерных) оценок опытного наблюдателя составляет около 0,05m.

Следует отметить, что формула (3) позволяет вычислять не звёздные величины, а их разности. Чтобы построить шкалу звёздных величин, нужно выбрать некоторый нуль-пункт (начало отсчета) этой шкалы. Приблизительно можно считать таким нуль-пунктом Вегу (α Лиры) – звезду нулевой звёздной величины. Существуют звёзды, у которых звёздные величины отрицательны. Например, Сириус (α Большого Пса) является самой яркой звездой земного неба и имеет звёздную величину -1,46m.

Блеск звезды, оцениваемый глазом, называется *визуальным.* Ему соответствует звёздная величина, обозначаемая *mυ*. или *mвиз.*. Блеск звёзд, оцениваемый по их диаметру изображения и степени почернения на фотопластинке (фотографический эффект) называется *фотографическим*. Ему соответствует *фотографическая* звёздная величина *mpg*  или *mфот .*  Разность *С= mpg* - *mфот* , зависящая от цвета звезды, называется *показателем цвета*.

Существуют несколько условно принятых систем звёздных величин, из которых наибольшее распространение получили системы звёздных величин U, B и V. Буквой U обозначаются ультрафиолетовые звёздные величины, B–синие (близки к фотографическим), V – жёлтые (близки к визуальным). Соответственно определяются два показателя цвета: U – B и B – V, которые для чисто белых звёзд равны нулю.

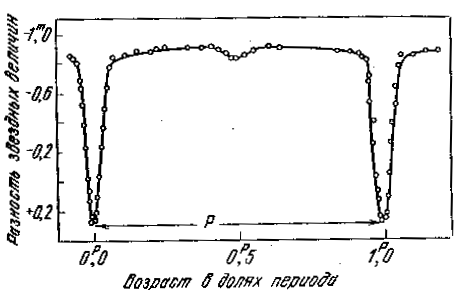
**Глава 2.**

**Теоретические сведения о затменно-переменных звёздах**

**2.1 История открытия и классификация затменно-переменных звёзд**

Первая затменно-переменная звезда Алголь (β Персея) была открыта в 1669г. итальянским математиком и астрономом Монтанари. Впервые её исследовал в конце XVIII в. английский любитель астрономии Джон Гудрайк. Оказалась, что видимая невооружённым глазом одиночная звезда β Персея на самом деле представляет собой кратную систему, которая не разделяется даже при телескопических наблюдениях. Две из входящих в систему звёзд обращаются вокруг общего центра масс за 2 суток 20 часов и 49 минут. В определённые моменты времени одна из звёзд, входящих в систему закрывает от наблюдателя другую, что вызывает временное ослабление суммарного блеска системы.

Кривая изменения блеска Алголя, которая приведена на *рис. 1*



**Рис.1**

Данный график построен по точным фотоэлектрическим наблюдениям. Видны два ослабления блеска: глубокий *первичный минимум* – главное затмение (яркая компонента скрывается за более слабой) и небольшое ослабление блеска – *вторичный минимум*, когда более яркая компонента затмевает более слабую.

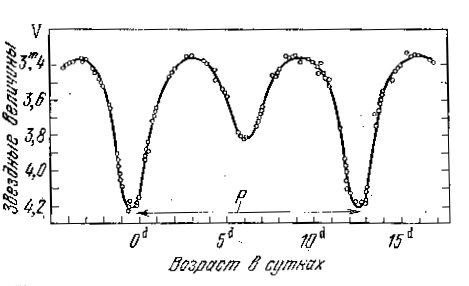
Эти явления повторяются через 2,8674 суток (или 2 дня 20часов 49минут).

Из графика изменения блеска видно (*Рис.1)*, что у Алголя сразу же после достижения главного минимума (наименьшее значение блеска) начинается его подъём. Это означает, что происходит *частное затмение*. В некоторых же случаях может наблюдаться и *полное затмение*, что характеризуется сохранением минимального значения блеска переменной в главном минимуме в течение некоторого промежутка времени. Например, у затменно-переменной звезды U Цефея, которая доступна наблюдениям в сильные бинокли и любительские телескопы, в главном минимуме продолжительность полной фазы составляет около 6ч.

Внимательно рассмотрев график изменения блеска Алголя, можно обнаружить, что между главным и вторичным минимумами блеск звезды не остаётся постоянным, как это могло казаться на первый взгляд, а слегка изменяется. Объяснить данное явление можно следующим образом. Вне затмения до Земли доходит свет от обеих компонент двойной системы. Но обе компоненты близки друг к другу. Поэтому более слабая компонента (часто большая по размерам), освещаемая яркой компонентой, рассеивает падающее на неё излучение. Очевидно, что наибольшее количество рассеянного излучения будет доходить до земного наблюдателя в тот момент, когда слабая компонента расположена за яркой, т.е. вблизи момента вторичного минимума (теоретически это должно наступать непосредственно в момент вторичного минимума, но суммарный блеск системы резко уменьшается вследствие того, что происходит затмение одной из компонент).

Данный эффект называется *эффектом переизлучения*. На графике он проявляется постепенным подъёмом общего блеска системы по мере приближения ко вторичному минимуму и убыванию блеска, которое симметрично его возрастанию относительно вторичного минимума.

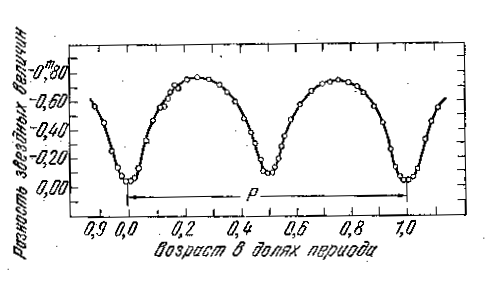
В 1874г. Гудрайк открыл вторую затменно-переменную звезду - β Лиры. Она меняет блеск сравнительно медленно с периодом, равным 12 суткам 21 часу 56 минутам (12,914суток). В отличие от Алголя кривая блеска имеет более плавную форму. *(Рис.2)* Это объясняется близостью компонент друг к другу.



**Рис.2**

Возникающие в системе приливные силы заставляют обе звезды вытянуться вдоль линии, соединяющей их центры. Компоненты уже не шаровые, а эллипсоидальные. При орбитальном движении диски компонент, имеющие эллиптическую форму, плавно изменяют свою площадь, что приводит к непрерывному изменению блеска системы даже вне затмения.

В 1903г. была открыта затменная переменная W Большой Медведицы, у которой период обращения составляет около 8 часов (0,3336834 суток). За это время наблюдаются два минимума равной или почти равной глубины (*Рис.3*). Изучение кривой блеска звезды показывает, что компоненты почти равны по размерам и почти соприкасаются поверхностями.



**Рис.3**

Кроме звёзд типа Алголя, β Лиры и W Большой Медведицы существуют более редкие объекты, которые также относят к затменно-переменным звёздам. Это эллипсоидальные звёзды, которые вращаются вокруг оси. Изменение площади диска вызывает небольшие изменения блеска.

**2.2. Информация, которую можно получить, изучая кривую блеска звезды типа Алголя**

Математическая обработка кривой изменения блеска даёт возможность получить ценную информацию о двойной системе. Приведём простейший пример, предположив, что компоненты шарообразны и движутся вокруг общего центра масс системы по круговым орбитам. Обозначим массу первой компоненты через *М1*и через *a1* радиус орбиты первой компоненты, через *М2* и *a2* - массу и радиус орбиты второй компоненты. Из определения центра масс следует соотношение:

, (2.1)

так как центр масс расположен между компонентами на расстояниях от них, обратно пропорциональных их массам.

Обозначим радиус относительной орбиты, т.е. расстояние между центрами компонент через *a*:

 , (2.2)

радиус первой компоненты через *R1* , радиус второй компоненты через *R2*.

Тогда можно ввести следующие отношения:

 и , (2.3)

которые являются двумя элементами системы, определяемые из анализа кривой блеска.

Если *Е1*  - блеск первой (определение блеска небесного светила см. выше), а *Е2* - блеск второй компоненты, то суммарный блеск системы вне затмения:

 (2.4)

Разделим последнее равенство на *Е* и введём обозначения:

 и  (2.5)

Величины  и  являются третьим и четвёртым элементами системы. Они, очевидно, связаны соотношением:

 (2.6)

Существует и пятый элемент системы. Плоскость, перпендикулярная лучу зрения называется картинной плоскостью. Плоскость относительной орбиты двойной звезды пересекает картинную плоскость по прямой, называемой **линией узлов**. Наклон относительной орбиты к картинной плоскости называется **наклонением орбиты** и обозначается через *i*. Наклонение орбиты- есть пятый элемент системы. У затменно-переменных величина *i*  близка к 90є, иначе бы не происходило затмений.

Из кривой блеска можно определить все 5 элементов. Особенно надёжно они вычисляются при полном затмении. Например, вычислим  и . Допустим, что первая компонента с большим радиусом *R1* закрывает вторую компоненту, имеющую радиус *R2 .*

Вне затмения мы воспринимаем полный блеск системы *E*; звёздная величина вне затмения – *m0* . Во время полной фазы мы воспринимаем блеск только от большой звезды с блеском *Е1*, которая закрывает более яркую, но меньшую по размерам компоненту. Если звёздная величина во время полной фазы затмения *m1* , то можно определить отношение блесков *Е1* к *E*:

 (2.7)

Найдя по логарифму число, получим *l1* , а затем найдём 

Например, для уже упоминавшейся звезды U Цефея звёздная величина в максимуме

m0 =6,63, а во время полной фазы затмения m1=9,79. Поэтому в данном случае:

,

откуда  и 

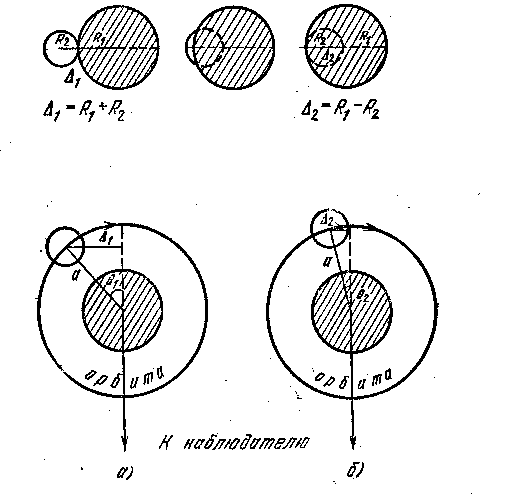
Значительно труднее определить *r1*и *r2* , поскольку для этого нужно знать наклонение орбиты. Упростим задачу, положив (с некоторой погрешностью) *i* =90°, т.е. будем считать, что затмение полное и центральное. Рис.4 показывает обстоятельства затмения при двух положениях дисков компонент: вначале затмения (Рис.4, *а*) и вначале полной фазы (Рис.4 *б*).

В начале затмения диски компонент находятся во внешнем касании, поэтому видимое расстояние между их центрами равно , а угол в орбите равен θ1 . В начале полной фазы затмения диски находятся во внутреннем касании и расстояние между их центрами равно , а соответствующий угол в орбите равен θ2.

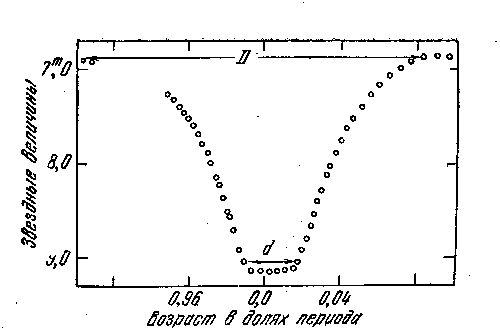
Из треугольников (см. рис.4) видно, что:

, (2.8)

где a – радиус относительной орбиты.



**Рис.4**



**Рис.5**

Чтобы решить эту систему уравнений относительно *r1* и *r2* , нужно знать углы θ1 иθ2 , их определяют из кривой блеска.

Если орбита круговая, то орбитальная скорость движения постоянна и угол θ растёт пропорционально времени, увеличиваясь на 360° за один период P. По кривой блеска можно определить продолжительность затмения D и продолжительность полной фазы d в долях периода. (Рис.5). Нетрудно видеть, что углы θ1 иθ2 связаны с величинами D и d следующими соотношениям и:



(2.9)  
 

Решая уравнения (2.8), можно получить значения r1 и r2 .

Для звезды U Цефея, часть кривой блеска которой изображена на рис.5, период P=2,493 суток. Из кривой блеска следует, что *D*=0,160 и *d*=0,039, откуда θ1=28,8° и θ1=7,02°. Решая уравнения (2.8), получаем *r1*=0,302 и *r2*=0,180.

Таким образом, в системе U Цефея относительный радиус большей звезды *r1*=0,302, а на долю её излучения приходится всего *l1*=0,0545 общего излучения системы. Малая же звезда несмотря на меньший радиус обладает гораздо большей светимостью. Такое распределение излучения между компонентами вызвано различиями их температур[[1]](#footnote-1).

К сожалению, из кривой блеска нельзя определить ни абсолютные размеры системы, ни массы компонент. Для этого необходимы ещё и спектральные наблюдения, позволяющие определить лучевые скорости звёзд.

**2.3 Элементы изменения блеска.**

**Изменение периодов затменно-переменных звёзд**

    В старой литературе по переменных звездам различают понятия "кривая блеска" (под которой традиционно понималась таблица, например, приведенного выше вида) и "график кривой блеска" (графическое представление этой таблицы). Такая терминология не соответствует общепринятому в науке словоупотреблению и нами применяться не будет.   
  
         Кривая блеска непериодической переменной звезды - это график зависимости звездной величины от времени. Если же изменения блеска имеют периодический характер, наглядность кривой блеска может быть значительно повышена, если привести наблюдения к одному периоду. Пусть элементы изменения блеска переменной звезды имеют вид:

**** (2.10)

Здесь T0 - начальная юлианская дата максимума (минимума) блеска

Р0 - период (в сутках);

Е - текущий номер эпохи максимума (минимума) блеска, отсчитываемый от момента T0.

Для любого момента времени T > T0 можно ввести величину Ф, которая называется фазой и выражается следующей формулой:

Ф = Fract {(T - T0) / P}, (2.11)

где символом Fract обозначена дробная часть числа.

Известно, что период изменения блеска Алголя равен 2,86732 суток. Как можно определить его с такой точностью? Для этого сравнивают между собой достаточно удалённые по времени моменты минимума блеска. Каждое определение минимума редко бывает точнее 1-2минут, т.е. около 0,001 суток. Но, если разделить разность моментов минимумов на количество протекших между ними периодов, то точность определения среднего значения периода значительно повышается.

Формула (2.10) используется как для представления уже наблюдавшихся минимумов блеска затменно-переменных, так и для вычисления моментов будущих минимумов блеска. Вычисленные по ней моменты минимумов обозначают буквой С (от английского слова Calculated – вычислено), а наблюденные моменты – буквой О (от английского слова Observed –наблюдалось). Их разность обозначают **О-С.**

Сопоставление значений О-С с номерами Е даёт возможность судить о постоянстве или переменности периода. Для этого строится график О-С. Если период остаётся постоянным, то все точки расположатся около горизонтальной оси, с небольшими случайными отклонениями.

Если же график *O-C* представляет собой кривую линию, имеют место изменения периода. Здесь интересны следующие частные случаи. Если кривая - квадратичная парабола, то период - линейная функция времени. Рассеяние точек около синусоиды говорит о гармоническом законе изменения периода. Нередко график *O-C* удовлетворительно представляется ломаной линией. Это говорит о наличии интервалов времени, в течение которых период постоянен, меняясь между ними практически скачкообразно.

Причины изменений периодов весьма разнообразны. Например, переменная звезда β Лиры увеличивает свой период из-за непрерывной потери вещества. Наблюдался случай внезапного увеличения периода W Большой Медведицы после вспышки её блеска, вызванной, извержением огромного протуберанца.

Другой причиной изменения периода является наличие третьей звезды в системе. Обычно третья звезда находится на большом расстоянии от затменной пары. Например система Алголя имеет третью компоненту, которая удалена от затменной пары так, что период её орбитального движения составляет 1,873 года.

         В случае переменных звезд, быстро меняющих свой блеск, принято приводить моменты наблюдений к центру Солнца (чтобы избежать влияния на характерные точки кривой блеска периодического движения Земли по орбите, которое, в частности, может создавать иллюзию изменений периода). Для этого используют формулу:

|  |  |
| --- | --- |
| *t = -0d.0058 cos cos(L - )* | (2.12) |

где Δt - поправка к моментам наблюдений, λ и β - эклиптические координаты звезды, L**  - долгота Солнца в момент наблюдений. В более редких случаях особо быстрой переменности имеет смысл учитывать поправку, приводящую наблюдения не к центру Солнца, а к барицентру Солнечной системы. Эта поправка не превышает 16,6мин. и при наблюдении долгопериодических переменных ей можно пренебречь.

**Глава 3.**

**Наблюдения затменно-переменных звёзд визуальными методами**

Несмотря на бурное развитие современных высокоточных методов измерения блеска звёзд, любительские наблюдения переменных звёзд до сих пор не утратили своей ценности. Более того, если они проводятся целенаправленно, систематически и с использованием одного и того же инструмента, то полученные в результате данные могут принести пользу науке. Дело в том, что на сегодняшней день известно несколько десятков тысяч переменных звёзд. Естественно, за всеми звёздами учёные уследить не в состоянии. Кроме того, постоянно открываются новые переменные звёзды. Для многих тысяч звёзд элементы изменения блеска определены недостаточно точно и нуждаются в постоянной корректировке. И значительный вклад в это дело могут внести любители астрономии, имеющие в своём распоряжении даже простые бинокли.

На сегодняшний день самой крупной организацией, осуществляющая сбор и обработку наблюдений переменных звёзд, полученных из разных точек мира является Американская Ассоциация наблюдателей переменных звезд **AAVSO** (American Association of Variable Star Observers). Основателем данной организации стал любитель астрономии Вильям Олкотт. В октябрьском выпуске журнала “Популярная астрономия” за 1911г. он собрал воедино основные принципы и задачи новой любительской организации, которая смогла бы помочь профессиональным астрономам в исследованиях переменных звезд. К выходу следующего номера журнала эта группа объединяла шесть членов с 71 звездой для исследований. На сегодняшний день AAVSO имеет собственный современный офис, откуда осуществляется координация работы около шестисот наблюдателей из 40 стран, которые исследуют более 5 тысяч переменных звезд, и архив, содержащий **около 7.5 миллионов (!)** наблюдений отдельных звезд, многие из которых начаты еще в 1911 году. Сегодня все эти данные полностью систематизированы и доступны любому исследователю - как профессионалу, так и любителю **через сеть Интернет** (*http://www.aavso.org*). Наряду с исследовательскими задачами, ассоциация проводит большую работу по пропаганде своих достижений и привлечению в свои ряды новых членов и обучению их технике и методам наблюдений.Можно только сожалеть, что наши отечественные профессиональные астрономы никак не могут организовать подобного взаимодействия с достаточно многочисленной и зачастую высокообразованной армией российских любителей астрономии...

Некоторое содействие российским наблюдателем переменных звёзд может оказать основанная в 2002г. группа информационной поддержки наблюдателей переменных звёзд “Мира” (*http://www.varstar.narod.ru*). Группа оказывает помощь в подготовке и осуществлении любительских наблюдательных проектов, сбору и обработке полученных материалов, публикации интересных и ценных результатов в научных и любительских журналах и бюллетенях. Результаты наблюдений направляются в Российские и зарубежные астрономические организации и институты в о том числе и в AAVSO.

В заключение хотелось бы отметить, что наблюдать переменные звёзды может каждый любитель астрономии. Наиболее яркие переменные звёзды доступны наблюдениям и невооруженным глазом. Однако серьёзные наблюдения требуют немало времени и сил, а также хорошего инструмента с большим полем зрения. Прежде чем приступить к проведению наблюдений, нужно их тщательно спланировать (особенно это касается слабых переменных звёзд, так как вначале их необходимо найти с помощью телескопа среди россыпей звёзд, которые могут быть расположены в данном участке неба). Особое внимание также следует уделить записям наблюдений – они должны быть чёткими и аккуратными. Наблюдения невозможно повторить, поэтому все записи в некотором роде могут считаться уникальными. Ни в коем случае нельзя выдавать кажущееся за действительное. Нужно фиксировать то, что действительно наблюдается, а не то, что кажется, хотя визуальная оценка блеска, безусловно, носит субъективный характер. Важна также и обработка наблюдений, которую желательно проводить с использованием персонального компьютера.

Следующая курсовая работа будет в большей степени посвящена методике проведения наблюдений переменных звёзд. В работе будут подробно рассмотрены методы визуальных оценок блеска переменных звёзд, возможности проведения фотографических наблюдений переменных звёзд, а также особенности планирования и обработки наблюдений и использованием специализированных астрономических программ. В этой работе будут обобщены результаты всех наблюдений переменных звёзд, которые удалось провести астрономическому клубу «Фомальгаут». Кроме того, будут рассмотрены вопросы, связанные с изучением переменных звёзд на факультативных занятиях по астрономии (физике) в средней школе.

**Приложения**

**Некоторые наблюдения затменно-переменных звёзд в 2004г.**

В качестве примера приведём результаты наблюдений затменно-переменной звезды **АB Андромеды**, проведённых летом 2004г. Эта переменная звёзда была выбрана не случайно. Она входит в наблюдательный проект MIMAX -1 E уже упоминавшейся группы МИРА (также поводились наблюдения другой затменно-переменной из этого проекта – CG Лебедя). Данным проектом предусмотрены комплексные исследования затменно-переменных звёзд с целью поиска:

1. физической переменности одного или обоих компонентов (аномалии кривой блеска в минимуме);
2. третьего компонента в системе (периодические изменения периода);
3. пятен в атмосферах компонентов (звёзды типа RS Гончих Псов). Кроме того, предполагается провести ревизию блеска ряда затменных звёзд, блеск которых как в максимуме, так и в минимуме, отличается от указанного в ОКПЗ (Общий Каталог Переменных Звёзд) значения. Исследования в этом направлении проводятся с целью уточнения каталожных данных.

Наблюдения переменной АB Андромеды

Наблюдения были проведены в июле-сентябре 2004г. Всего удалось сделать 69 оценок блеска. Карта окрестностей звезды была скопирована с сайта AAVSO. Для наблюдений использовался телескоп-рефлектор «Мицар» (диаметр объектива – 110мм., увеличение – 32х). Звезда относится к типу EW (затменно-переменная типа W Большой Медведицы). Принадлежность звезды к данному типу означает одинаковые глубины главного и вторичного минимумов. По данным AAVSO во внезатменном состоянии блеск звезды составляет около 9,3m , а во время минимумов опускается до 10,1m. Период изменения блеска звезды P=0,332d. Нетрудно видеть, что в течение суток звезда 3 раза успевает пройти цикл изменения блеска. При таком значении периода летом во время непродолжительной ночи удавалось пронаблюдать вначале вторичный, а затем и главный минимум (в июле в среднем время, когда возможно проведение наблюдение таких объектов составляет не более 3-4ч., а в августе - около 6ч.).

Каждой оценке блеска соответствовал некоторый момент времени. Поскольку период изменения блеска непродолжителен, время необходимо было фиксировать с точностью до 0,1 мин. Затем все моменты времени были переведены в юлианские. Из-за того, что блеск переменой изменялся быстро пришлось учесть поправку, называемую приведением моментов времени к центру Солнца и вычисляемую по формуле (2.12) (вычисления были упрощены путём введения вспомогательных коэффициентов A, B и С для Солнца, зависящие от его эклиптической долготы, которая из года в год в один и тот же день принимает почти одни и те же значения и коэффициентов a, b и c, зависящие от её экваториальных координат, которые для избранной звезды вычисляются один раз).

Моменты всех наблюдений были приведены к одному периоду по формуле (2.11). Пользуясь блеском звёзд сравнения, который приведён на карте окрестностей переменной (в наблюдениях использовались 2 карты окрестностей: одна от AAVSO, где были указаны звёздные величины звёзд сравнения с точностью до 0,1m, а другая была составлена самостоятельно по астрономической программе Cartes du Ciel с указанием звёздных величин звёзд сравнения с точностью до 0,01 m). Обе карты приложены к работе.

Результатом наблюдений стал график зависимости видимой звёздной величины от фазы (времени, выраженном в долях периода).

Проанализируем полученный график.

Во-первых, из графика видно, что внезатменная визуальная звёздная величина составляет 9,35m, а во время главного (вторичного) минимума опускается до 10,4m, что слегка расходится с данными от AAVSO (9,3m и 10,1m соответственно), но это может быть вызвано и субъективным фактором отдельного наблюдателя.

Расчёт по формуле (2.7) нам даёт *l1=*0,380 и *l2 =*0,620

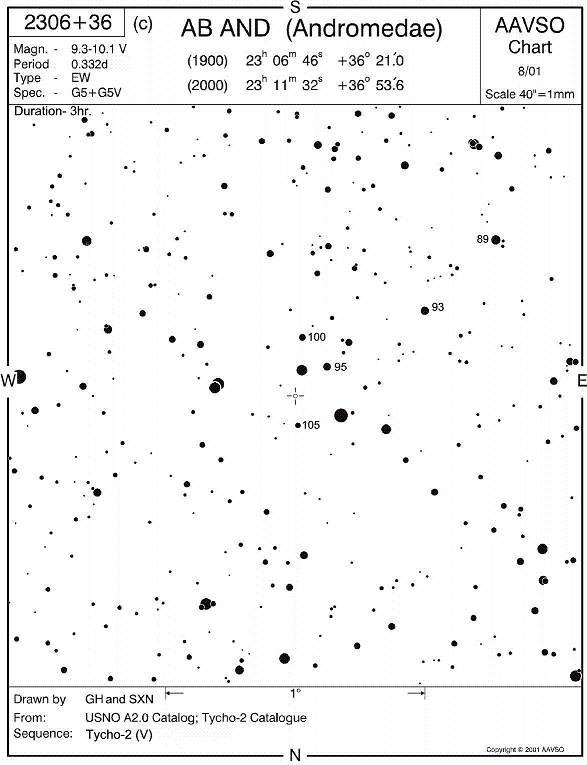
К сожалению, пока не удалось получить точки на восходящей ветви вторичного минимума, поэтому ещё трудно сделать вывод о существовании некоторой ассиметрии кривой относительно вторичного минимума.

Если же в качестве аппроксимирующей кривой взять кривую шестого порядка, то полученная кривая по своей форме близка к кривой для W Большой Медведицы (Рис. 3). В данном случае во время глубина вторичного минимума почти на 0,2m  меньше, чем главного. Сами же ветви кривой практически симметричны как относительно главного, так и вторичного минимума.

Продолжительность главного затмения составляет D1 =0,44 долей периода, а вторичного, очевидно, D2=1- D1 =0,56 долей периода. По построенной кривой практически невозможно оценить отличие периода от его эфемеридного (т.е. заранее вычисленного) значения. Это можно сделать, построив график О-С. Строить его на основании только данных, полученных в результате одной серии наблюдения, не имеет смысла. Выяснить, как же изменился период изменения блеска можно проанализировав данные, полученные большим числом наблюдателей за довольно продолжительный интервал времени, чтобы как можно сильнее снизить влияние субъективного фактора. Именно этим и занимается AAVSO. Довольно скоро данные, полученные из наблюдений этой и других переменной будут отправлены в AAVSO. Проанализировав данные, можно будет судить об изменении периода и наглядно увидеть, какой вклад внесла та или иная серия наблюдений, проделанная конкретным наблюдателем для уточнения элементов блеска звезды.



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ п/п.** | **Дата** | **Время (моск. летнее)** | **Момент наблюдения по всемирному времени (UT)** | **Момент наблюдения в JD** | **Момент наблюдения в JD, приведённый к центру Солнцу** | **Время в долях периода** | **Оценка  блеска** | **Блеск с точностью 0,01m** | **Степень уверенности** | **Примечания** |
| 1 | 09.07.2004 | 2:10 | 08.07.2004 22:10 | 2453195,4236 | 2453195,4217 | 0,1487 | V=C | 9,48 | 4 |  |
| 2 | 19.07.2004 | 3:30 | 18.07.2004 23:30 | 2453205,4792 | 2453205,4769 | 0,4453 | V=C | 9,48 | 3 | Uh |
| 3 | 24.07.2004 | 3:09 | 23.07.2004 23:09 | 2453210,4646 | 2453210,4622 | 0,4659 | D4V2E | 10,34 | 3,5 |  |
| 4 | 24.07.2004 | 3:12 | 23.07.2004 23:12 | 2453210,4667 | 2453210,4643 | 0,4723 | D3V1E | 10,39 | 4 |  |
| 5 | 24.07.2004 | 3:17 | 23.07.2004 23:17 | 2453210,4701 | 2453210,4677 | 0,4825 | D3V1E | 10,39 | 3 |  |
| 6 | 24.07.2004 | 3:23 | 23.07.2004 23:23 | 2453210,4743 | 2453210,4719 | 0,4952 | D3V1E | 10,39 | 3 |  |
| 7 | 24.07.2004 | 3:32 | 23.07.2004 23:32 | 2453210,4806 | 2453210,4782 | 0,5141 | D3V1E | 10,39 | 3 |  |
| 8 | 01.08.2004 | 2:44 | 31.07.2004 22:44 | 2453218,4472 | 2453218,4445 | 0,5170 | D3V2E | 10,31 | 4 |  |
| 9 | 01.08.2004 | 3:32 | 31.07.2004 23:32 | 2453218,4806 | 2453218,4779 | 0,6176 | C3V1D | 9,85 | 3,5 |  |
| 10 | 05.08.2004 | 1:55:30 | 04.08.2004 21:55 | 2453222,4135 | 2453222,4107 | 0,4672 | D2V1E | 10,34 | 4 | M |
| 11 | 05.08.2004 | 2:09 | 04.08.2004 22:09 | 2453222,4229 | 2453222,4201 | 0,4956 | D2V1E | 10,34 | 3,5 | M |
| 12 | 05.08.2004 | 2:20 | 04.08.2004 22:20 | 2453222,4306 | 2453222,4278 | 0,5188 | D4V2E | 10,34 | 3 | M |
| 13 | 05.08.2004 | 2:34:50 | 04.08.2004 22:35 | 2453222,4409 | 2453222,4381 | 0,5498 | D3V3E | 10,25 | 4 | M |
| 14 | 05.08.2004 | 2:40 | 04.08.2004 22:40 | 2453222,4444 | 2453222,4416 | 0,5603 | D2V5E | 10,13 | 4 | M |
| 15 | 05.08.2004 | 2:49 | 04.08.2004 22:49 | 2453222,4507 | 2453222,4479 | 0,5793 | D1V4E | 10,08 | 3,5 | M |
| 16 | 05.08.2004 | 3:04:30 | 04.08.2004 23:04 | 2453222,4615 | 2453222,4587 | 0,6119 | C2V1D | 9,81 | 3 | M |
| 17 | 05.08.2004 | 3:21 | 04.08.2004 23:21 | 2453222,4729 | 2453222,4701 | 0,6462 | C1V3D | 9,6 | 3,5 | M |
| 18 | 06.08.2004 | 2:23 | 05.08.2004 22:23 | 2453223,4326 | 2453223,4298 | 0,5377 | D2V2E | 10,25 | 4 | M B2 |
| 19 | 06.08.2004 | 2:36:20 | 05.08.2004 22:36 | 2453223,4419 | 2453223,4391 | 0,5658 | D2V3E | 10,19 | 3,5 | M B2 |
| 20 | 06.08.2004 | 2:51 | 05.08.2004 22:51 | 2453223,4521 | 2453223,4493 | 0,5965 | D2V4E | 10,16 | 3 | M B2 |
| 21 | 06.08.2004 | 3:14:50 | 05.08.2004 23:15 | 2453223,4686 | 2453223,4658 | 0,6462 | C2V1D | 9,81 | 3 | M B2 |
| 22 | 06.08.2004 | 3:29 | 05.08.2004 23:29 | 2453223,4785 | 2453223,4757 | 0,6760 | C1V2D | 9,64 | 3,5 | M B2 |
| 23 | 08.08.2004 | 1:24:30 | 07.08.2004 21:24 | 2453225,3920 | 2453225,3892 | 0,4413 | D2V1E | 10,34 | 4 | M B2 |
| 24 | 09.08.2004 | 4:13 | 09.08.2004 0:13 | 2453226,5090 | 2453226,5061 | 0,8068 | B1V2C | 9,37 | 3 | M B2 |
| 25 | 11.08.2004 | 0:57 | 10.08.2004 20:57 | 2453228,3729 | 2453228,3700 | 0,4227 | D3V3E | 10,25 | 3 | B2 |
| 26 | 11.08.2004 | 1:18 | 10.08.2004 21:18 | 2453228,3875 | 2453228,3846 | 0,4667 | D4V2E | 10,34 | 3 | B2 |
| 27 | 16.08.2004 | 4:42:30 | 16.08.2004 0:43 | 2453233,5295 | 2453233,5265 | 0,9594 | D3V1E | 10,39 | 3 |  |
| 28 | 16.08.2004 | 5:05 | 16.08.2004 1:05 | 2453233,5451 | 2453233,5421 | 0,0064 | D3V1E | 10,39 | 3 | B1 |
| 29 | 16.08.2004 | 5:11:20 | 16.08.2004 1:11 | 2453233,5495 | 2453233,5465 | 0,0197 | D3V1E | 10,39 | 3 | B1 |
| 30 | 17.08.2004 | 3:08 | 16.08.2004 23:08 | 2453234,4639 | 2453234,4609 | 0,7747 | B2V2C | 9,395 | 3,5 |  |
| 31 | 17.08.2004 | 3:44:40 | 16.08.2004 23:45 | 2453234,4894 | 2453234,4864 | 0,8516 | B2V1C | 9,42 | 3 |  |
| 32 | 17.08.2004 | 3:59:30 | 17.08.2004 0:00 | 2453234,4997 | 2453234,4967 | 0,8826 | V=C | 9,48 | 3 |  |
| 33 | 17.08.2004 | 4:18 | 17.08.2004 0:18 | 2453234,5125 | 2453234,5095 | 0,9212 | C3V2D | 9,77 | 2,5 | H |
| 34 | 18.08.2004 | 1:37:30 | 17.08.2004 21:38 | 2453235,4010 | 2453235,3980 | 0,5982 | V=C | 9,45 | 3,5 |  |
| 35 | 18.08.2004 | 2:02 | 17.08.2004 22:02 | 2453235,4181 | 2453235,4151 | 0,6497 | B2V1C | 9,42 | 3 |  |
| 36 | 18.08.2004 | 2:27:40 | 17.08.2004 22:28 | 2453235,4359 | 2453235,4329 | 0,7034 | B1V2C | 9,37 | 4 |  |
| 37 | 18.08.2004 | 3:06 | 17.08.2004 23:06 | 2453235,4625 | 2453235,4595 | 0,7835 | B2V1C | 9,42 | 4,5 |  |
| 38 | 18.08.2004 | 3:24 | 17.08.2004 23:34 | 2453235,4750 | 2453235,4720 | 0,8212 | V=C | 9,48 | 4 |  |
| 39 | 18.08.2004 | 3:45 | 17.08.2004 23:45 | 2453235,4896 | 2453235,4866 | 0,8652 | C1V2D | 9,64 | 3,5 |  |
| 40 | 23.08.2004 | 4:11 | 23.08.2004 0:11 | 2453240,5076 | 2453240,5045 | 0,9844 | D4V1E | 10,42 | 3,5 |  |
| 41 | 24.08.2004 | 2:17:20 | 23.08.2004 22:17 | 2453241,4287 | 2453241,4256 | 0,7597 | B3V2C | 9,41 | 4 |  |
| 42 | 24.08.2004 | 3:01:20 | 23.08.2004 23:01 | 2453241,4593 | 2453241,4562 | 0,8518 | B4V2C | 9,42 | 3,5 |  |
| 43 | 24.08.2004 | 3:32 | 23.08.2004 23:32 | 2453241,4806 | 2453241,4775 | 0,9160 | C1V1D | 9,73 | 2,5 |  |
| 44 | 24.08.2004 | 3:45:20 | 23.08.2004 23:45 | 2453241,4898 | 2453241,4867 | 0,9437 | D3V1E | 10,39 | 4 |  |
| 45 | 24.08.2004 | 4:09:40 | 24.08.2004 0:10 | 2453241,5067 | 2453241,5036 | 0,9947 | D4V1E | 10,42 | 3,5 |  |
| 46 | 25.08.2004 | 3:21 | 24.08.2004 23:21 | 2453242,4729 | 2453242,4698 | 0,9058 | C2V1D | 9,81 | 3,5 |  |
| 47 | 25.08.2004 | 3:30 | 24.08.2004 23:30 | 2453242,4792 | 2453242,4761 | 0,9248 | D2V2E | 10,25 | 3 |  |
| 48 | 25.08.2004 | 3:38:20 | 24.08.2004 23:38 | 2453242,4850 | 2453242,4819 | 0,9423 | D4V1E | 10,42 | 3,5 |  |
| 49 | 25.08.2004 | 4:11 | 25.08.2004 0:11 | 2453242,5076 | 2453242,5045 | 0,0104 | D4V1E | 10,42 | 3,5 |  |
| 50 | 28.08.2004 | 3:23 | 27.08.2004 23:23 | 2453245,4743 | 2453245,4712 | 0,9491 | D4V1E | 10,42 | 3,5 |  |
| 51 | 28.08.2004 | 3:53:40 | 27.08.2004 23:54 | 2453245,4956 | 2453245,4925 | 0,0132 | D4V1E | 10,42 | 4 |  |
| 52 | 28.08.2004 | 4:09:30 | 28.08.2004 0:09 | 2453245,5066 | 2453245,5035 | 0,0464 | D3V1E | 10,39 | 3 |  |
| 53 | 28.08.2004 | 4:17:20 | 28.08.2004 0:17 | 2453245,5120 | 2453245,5089 | 0,0626 | D2V4E | 10,16 | 3,5 |  |
| 54 | 28.08.2004 | 4:23:20 | 28.08.2004 0:23 | 2453245,5162 | 2453245,5131 | 0,0753 | V=D | 9,97 | 3 | Ul |
| 55 | 28.08.2004 | 4:27:20 | 28.08.2004 0:27 | 2453245,5190 | 2453245,5159 | 0,0837 | C2V1D | 9,81 | 4 |  |
| 56 | 28.08.2004 | 4:31:20 | 28.08.2004 0:31 | 2453245,5218 | 2453245,5187 | 0,0922 | C1V2D | 9,64 | 3,5 |  |
| 57 | 28.08.2004 | 4:33 | 28.08.2004 0:33 | 2453245,5229 | 2453245,5198 | 0,0955 | V=C | 9,48 | 4 |  |
| 58 | 28.08.2004 | 4:37 | 28.08.2004 0:37 | 2453245,5257 | 2453245,5226 | 0,1039 | B4V1C | 9,45 | 3,5 |  |
| 59 | 28.08.2004 | 4:48:30 | 28.08.2004 0:48 | 2453245,5337 | 2453245,5306 | 0,1280 | B5V2C | 9,43 | 3 | Ul |
| 60 | 28.08.2004 | 4:53 | 28.08.2004 0:53 | 2453245,5368 | 2453245,5337 | 0,1374 | B4V2C | 9,42 | 3,5 |  |
| 61 | 28.08.2004 | 5:02 | 28.08.2004 1:02 | 2453245,5431 | 2453245,5400 | 0,1563 | B4V2C | 9,42 | 3 | H |
| 62 | 05.09.2004 | 0:24 | 04.09.2004 20:24 | 2453253,3500 | 2453253,3469 | 0,6787 | B4V2C | 9,42 | 3 | B2 |
| 63 | 05.09.2004 | 1:13 | 04.09.2004 21:13 | 2453253,3840 | 2453253,3809 | 0,7812 | B3V3C | 9,4 | 3 | B2 |
| 64 | 05.09.2004 | 1:49 | 04.09.2004 21:49 | 2453253,4090 | 2453253,4059 | 0,8565 | B3V1C | 9,44 | 3 | B2 |
| 65 | 05.09.2004 | 2:02 | 04.09.2004 22:02 | 2453253,4181 | 2453253,4150 | 0,8839 | C1V3D | 9,6 | 3,5 | B2 |
| 66 | 05.09.2004 | 2:13 | 04.09.2004 22:13 | 2453253,4257 | 2453253,4226 | 0,9068 | D1V3E | 10,11 | 3 | B2 |
| 67 | 05.09.2004 | 2:18:30 | 04.09.2004 22:19 | 2453253,4295 | 2453253,4264 | 0,9183 | D3V2E | 10,31 | 2,5 | B2 |
| 68 | 05.09.2004 | 2:26 | 04.09.2004 22:26 | 2453253,4347 | 2453253,4316 | 0,9339 | D3V1E | 10,39 | 4 | B2 |
| 69 | 05.09.2004 | 3:44 | 04.09.2004 23:44 | 2453253,4889 | 2453253,4858 | 0,0972 | D1V3E | 10,11 | 3 | B2 |



**Список использованных источников**

1. В.П. Цесевич «Переменные звёзды и их наблюдения», Москва «Наука», 1980г.
2. Н.Н. Самусь «Переменные звезды», учебное пособие по курсу астрономии.
3. Куликовский П.Г*.* «Справочник любителя астрономии», 5-е изд., перераб. и полн. обновленное, 2002г.
4. Статья С. Гурьянова «Знакомьтесь, AAVSO» в журнале «Звездочёт»
5. Карта окрестностей переменной АВ Андромеды (сайт AAVSO)

1. Подробнее см. в книге В.П. Цесевича «Переменные звёзды и их наблюдения» [↑](#footnote-ref-1)