

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВОЙ БЛЕСКА SS Cyg

Н. Ф. Войханская, Г. Н. Алексеев

Исследована кривая блеска SS Cyg за период 1896—1971 гг. Определены относительные энергии вспышек и показано, что по величине энергии вспышки делятся на большие и малые. Рассмотрены свойства каждого вида вспышек. Введено понятие об энергетическом цикле звезды, с помощью которого делается попытка объяснить некоторые особенности кривой блеска.

The light-curve of SS Cyg of the period from 1896 to 1971 is investigated. Relative energies of the flares are determined. It is shown that according to the amount of energy the flares may be divided into large and small. The properties of each kind of flares are considered. A notion of the energetic cycle, with the help of which an attempt is made to explain certain peculiarities of the light-curve, is introduced.

Кривая блеска SS Cyg изучалась ранее в работах [1—3], в которых было установлено, что вспышки делятся по продолжительности на две большие группы: короткие E и длинные L . Неоднократно указывалось (см., например, [4]), что недостатком работ [1—3] является то, что в них используются звездные величины, а не энергия, выделившаяся за время вспышки. Звездная величина, как известно, зависит от распределения энергии в спектре и нелинейно связана с энергией. Вызывает также возражение принятая авторами [1—3] характеристика продолжительности вспышек на уровне $m = 10$. Это, в частности, привело к тому, что в каталоге [5] некоторым вспышкам приписана нулевая продолжительность. Кроме того, при таком способе определения вспышки ставятся в неравное положение, так как вспышки с одинаковой формой кривой блеска и амплитудой могут иметь значительно различающиеся длительности только за счет колебаний среднего уровня, доходящих до 1^m . Может быть и наоборот.

Целью настоящей работы является изучение кривой блеска SS Cyg с попыткой освободиться от указанных недостатков. Материалом для этого послужила сводная визуальная кривая блеска, ежегодно публикуемая Американской ассоциацией наблюдателей переменных звезд (AAVSO). В работе было рассмотрено 550 вспышек за период с момента открытия переменности этой звезды (1896 г.) по 1971 г. Как известно [3], точность сводной кривой блеска составляет $0^m.5$ (по случайному разбросу отдельных оценок блеска). После того как в работе [6] было показано, что распределение энергии в спектре при возгорании вспышки меняется не сильно, оказалось возможным довольно просто получить относительную энергию вспышки:

$$W \approx \int_{t_1}^{t_2} 10^{-0.4m(t)} dt,$$

где t_1 и t_2 — моменты начала и конца вспышки, $m(t)$ — видимая звездная величина в момент t .

Коэффициент пропорциональности можно было бы легко определить, так как известно распределение энергии в спектре звезды и расстояние до нее. Это, однако, не было сделано, так как он постоянен для всех вспышек. Вычисленные величины W пропорциональны энергии и легко могут быть в нее переведены умножением на вышеупомянутый коэффициент пропорциональности. Интегрирование проводилось на ЭВМ «Мир-1». Состояние звезды в периоды минимума характеризовалось средним значением блеска и его дисперсией σ . Вспышкой считалось возрастание блеска, превышающее 3σ . При определении энергии вспышки продолжительность определялась на уровне 3σ , что дало приращение энергии во время вспышки по сравнению с энергией, выделяемой звездой в состоянии минимума

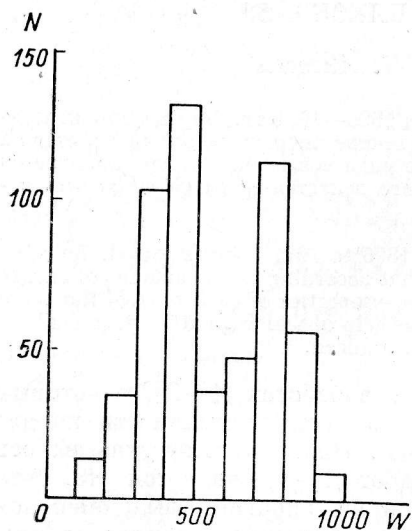


Рис. 1. Распределение вспышек по энергиям.

N — число вспышек, W — относительная энергия вспышки.

ветвях вспышки. Амплитуда вспышки Δm_{\max} — это разность в звездных величинах между средним уровнем под вспышкой и максимальным значением блеска во время вспышки. Полуширина δ — это ширина вспышки на уровне половины амплитуды.

Остановимся подробнее на определении продолжительности вспышки. Выше говорилось о неудовлетворительности принятого в [1—3] способа определения этой величины. Вместо него рассматривались следующие способы: по полуширине δ , по эффективной длительности t , по истинной длительности T . В большинстве случаев ($\approx 65\%$) продолжительность, определенная по полуширине вспышки, оказывается больше, чем в [1—3]. Это связано с отмеченной выше неравнозначностью положения отдельных вспышек относительно уровня $m = 10$. Эффективной длительностью t назовем ширину вспышки прямоугольной формы, у которой амплитуда и полная энергия равны соответствующим величинам реальной вспышки. Истинной длительностью T назовем длительность, определенную по моментам пересечения восходящей и нисходящей ветвей кривой блеска вспышки со средним уровнем под вспышкой. Приведенные на рис. 2 распределения вспышек заметно отличаются от их распределения по продолжительности на уровне $m = 10$, полученного в работах [1—3].

Для всех других определявшихся параметров также были построены

блеска. На рис. 1, показывающем распределение вспышек по энергиям, видно, что вспышки делятся на две четкие группы. В этот рисунок вошли все вспышки, отмеченные наблюдателями AAVSO. Если под энергией вспышки понимать полную энергию, выделившуюся за время вспышки (т. е. над средним уровнем под вспышкой), это приведет к тому, что гистограмма на рис. 1 несколько сдвинется вправо и максимумы будут раздвинуты больше.

Характеризовать вспышку величиной ее энергии весьма желательно, но определять эту характеристику трудно. Поэтому очень хотелось бы найти какую-нибудь формальную и легко определяемую по кривой блеска характеристику, однозначно связанную с энергией. С этой целью определялись следующие параметры вспышки: амплитуда, полуширина, продолжительность, средний и максимальный градиенты блеска на восходящей и нисходящей

функции распределения. При этом оказалось, что ни один из них (в том числе δ , t , T) не связан однозначно с энергией. Лучше других параметров энергию вспышки характеризует величина t . Характеристика вспышек по длительности, принимавшаяся ранее в [1—3], для каждой отдельной вспышки не имеет смысла, хотя достаточно большую выборку она характеризует в среднем правильно по числу больших и малых вспышек.

Рассмотрение свойств вспышек большой и малой энергии показало, что первые имеют большую амплитуду и продолжительность (рис. 3). Это в более общей форме выражает отмеченный в [3] факт, что вспышки L в максимуме более ярки, чем вспышки E : в среднем L -вспышки — это вспышки большой энергии.

Поиски статистических связей между параметрами, характеризующими вспышку (продолжительность, амплитуда, средний и максимальный градиенты блеска на восходящей и нисходящей ветвях вспышки), а также между ними и параметрами, характеризующими состояние звезды в минимуме блеска (среднее значение блеска, дисперсия, интервал времени между вспышками), не дали определенного результата: коэффициенты корреляции всегда были малы. В частности, нам не удалось подтвердить высказанное в [7] предположение о связи активности звезды в минимуме блеска с характером следующей вспышки. Это, возможно, объясняется недостаточной точностью использованной нами кривой блеска. Вероятно, такого рода зависимости надо искать на основе более точных фотоэлектрических наблюдений. Анализ распределения вспышек во времени (подсчитывалась энергия, сбрасываемая звездой за фиксированный интервал времени) не показал существования периодичности во вспышечной активности звезды.

Обращает на себя внимание следующее: хотя больших вспышек примерно в полтора раза меньше, чем малых, в них сбрасывается в полтора раза больше энергии. Кроме того, они более регулярно распределены во времени и поэтому амплитуда колебаний величины $O-C$ (наблюденный — вычисленный момент появления вспышки) для них меньше, чем для малых вспышек. Все это позволило сделать предположение, что в процессе сброса звездой энергии большие вспышки представляют собой основное явление, а малые вспышки — вторичное, дополнительное к основному. Если это так, то можно ввести понятие об энергетическом цикле звезды и ожидать, что должна существовать некоторая характерная энергия такого цикла. Под энергетическим циклом или просто циклом мы будем понимать большую вспышку вместе со всеми малыми вспышками, следующими за ней, до очередной большой вспышки, с которой начинается новый цикл. Энергия цикла равна сумме энергий всех вспышек, входящих в цикл. Если существует характерная энергия цикла, то распределение циклов по энергиям должно иметь максимум (возможно, не один), положение которого определяет величину характерной энергии цикла. На рис. 4, показывающем распределение циклов по энергии, заметны два четких максимума: 750 и 1250. Первый из них составлен единичными большими вспышками, поэтому положение этого максимума совпадает с максимумом больших вспышек на рис. 1. Второй максимум составляют циклы из двух и более вспышек. Хотя распределение имеет довольно плавный ход в сторону больших энергий, видно, что циклы, состоящие из нескольких вспышек, с энергией, равной или больше двойной характерной энергии ($W \geq 2500$), очень редки. Иногда за большой вспышкой довольно длительное время следуют малые. При этом звездой может быть сброшена значительная энергия. Такие моменты назовем «сбоем». За рассмотренный интервал времени у звезды было два очень крупных «сбоя», во время которых была сброшена энергия, равная примерно величинам четырех характерных энергий (они на рис. 4 не показаны),

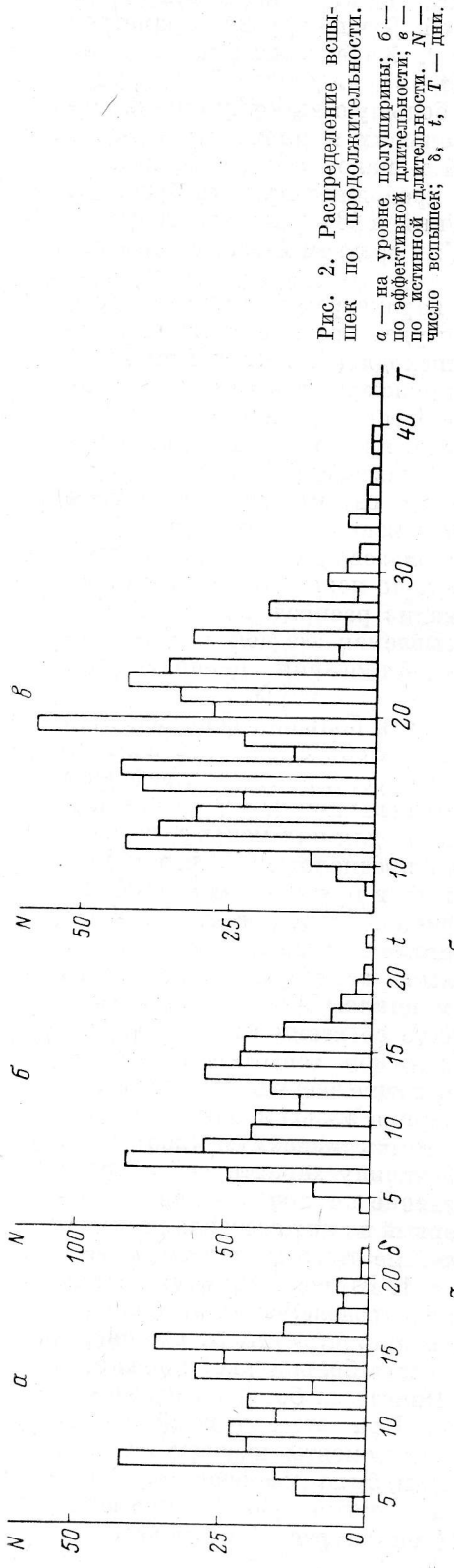


Рис. 2. Распределение всплесков по продолжительности. а — на уровне полуширины; б — по эффективной длительности; в — по истинной длительности. N — число всплесков; δ , t , T — дни.

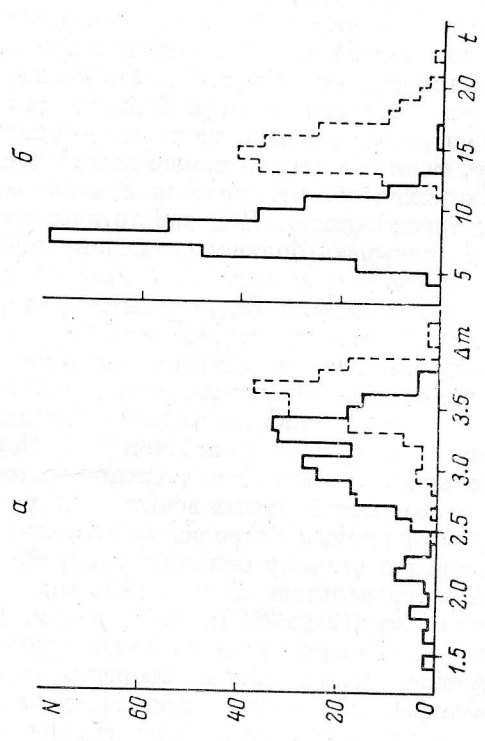


Рис. 3. Распределение всплесков. а — по амплитуде, б — по продолжительности. Сплошная линия — малые всплески, пунктирная — большие. N — число всплесков; Δm — звездные величины; t — дни.

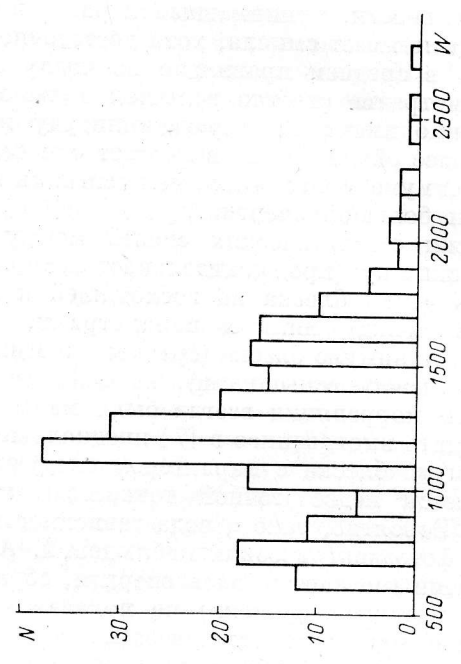


Рис. 4. Распределение энергетических циклов по энергии. N — число энергетических циклов, W — энергия цикла.

и три более мелких «сбоя», энергетически равных примерно двум циклам.

Как видно из рис. 4, имеются два типа энергетических циклов: первый состоит из одной большой вспышки, второй — из одной большой и одной или нескольких малых. Накопленные к настоящему времени спектроскопические и фотоэлектрические данные говорят о том, что между разными вспышками нет принципиальных различий, поэтому первый тип циклов соответствует, по-видимому, «спокойному» течению процесса сброса энергии звездой (в том смысле, что причина увеличения энерговыделения устраняется одной вспышкой). Второй тип цикла соответствует, по-видимому, возникновению каких-то возмущений, которые не устраняются большой вспышкой, и появляются вторичные, более мелкие вспышки. Энергетический цикл, как указывалось ранее, определен нами как большая вспышка плюс все малые вспышки, следующие за ней.

В принципе его можно определить иначе: большая вспышка плюс все малые вспышки, предшествующие ей. Совершенно очевидно, что ни один из полученных результатов от этого не изменится, но для будущей интерпретации явления вспышки способ определения энергетического цикла очень важен. К сожалению, нельзя привести убедительных аргументов в пользу того или другого определения. По некоторым, очень косвенным, соображениям мы остановились на первом способе определения энергетического цикла.

Ранее отмечалось [3], что есть какая-то закономерность в следовании вспышек друг за другом: иногда после L -вспышки следуют две или более E -вспышки, а иногда L - и E -вспышки чередуются. С введением понятия об энергетическом цикле это становится более ясным: чем меньшая доля энергии цикла сброшена во время большой вспышки, тем большее количество малых вспышек последует за ней (рис. 5). Зависимость, подобную приведенной на рис. 5, можно получить, откладывая по оси абсцисс энергию большой вспышки в цикле. В этом случае получим семейство примерно подобных кривых, каждая из которых соответствует моноэнергетическим циклам. Нормировка полной энергии цикла к 100% позволила свести эти отдельные кривые в одну и увеличить вес точек на графике. Характер зависимости на рис. 5 до некоторой степени очевиден. Чтобы проверить насколько она реальна, были вычислены вероятности различных событий для полного количества вспышек и соотношения больших (b) и малых (m) вспышек, равного реальному. Результаты приведены ниже:

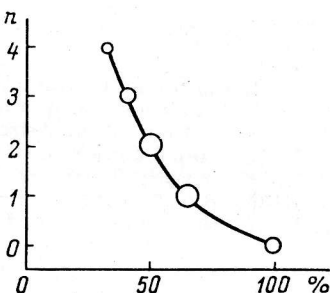


Рис. 5. Зависимость количества (n) малых вспышек в цикле от доли энергии (%) большой вспышки.

Диаметры кружков пропорциональны количеству усредненных точек.

Вероятность	Событие				
	$b + b$	$b + 1m$	$b + 2m$	$b + 3m$	$b + 4m$
Теоретическая	21.1	59.5	14.5	6.6	2.8
Осуществившаяся	17.5	45.6	25.9	7.0	2.7
σ_P	2.5	3.3	2.9	1.7	1.1

При вычислении теоретической вероятности каждый раз считалось, что выборка полная и разные виды вспышек распределены в ней случайно. Величину случайного отклонения при данной осуществившейся вероятности P показывает σ_P . Из приведенных данных следует, что циклы, в которых имеются три и более малых вспышки, являются случайными

событиями. Таким образом, «сбои», о которых говорилось выше и к которым следует, по-видимому, отнести также циклы $b+km$ ($k \geq 3$), являются случайными, хотя и не очень редкими явлениями в процессе сброса энергии звездой. Вероятность чередования больших вспышек хотя и отличается от случайной, но мало, поэтому «спокойное» (в смысле указанном выше) течение процесса сброса энергии не характерно для этой звезды. Самыми вероятными являются циклы из двух и трех вспышек, т. е. причина, которая приводит к резкому увеличению энерговыделения, не устраняется одной большой вспышкой, а после нее последуют еще одна или две малые вспышки. Проведенное исследование показало, что введение понятия об энергетическом цикле несколько облегчает понимание процесса сброса энергии звездой по сравнению с рассмотрением каждой вспышки отдельно.

В заключение выражаем благодарность И. М. Копылову и Е. Л. Ченцову за полезное обсуждение работы.

Л и т е р а т у р а

1. L. Campbell, Ann. Harv. Coll. Obs., 90, 93, 1934.
 2. T. E. Sterne, L. Campbell, Ann. Harv. Coll. Obs., 90, 189, 1934.
 3. L. Martel, Ann. Astrophys., 24, 267, 1961.
 4. В. Г. Горбачкий. В кн.: Эруптивные звезды. М., «Наука», 1970.
 5. L. Martel, J. Observ. Marseille, 44, 281, 1961.
 6. Н. Ф. Войханская, Астр. ж., 50, 786, 1973.
 7. К. К. Чуваев, Изв. Крымск. астрофиз. обс., 28, 141, 1962.
-