



На правах рукописи

Э. Ф. БРАЖНИКОВА

**ОСОБЕННОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПЕРИАСТРОВ ОРБИТ  
СПЕКТРАЛЬНО-ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД**

(Специальность 01.031 — астрофизика)

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Московском государственном педагогическом институте имени В. И. Ленина.

Научные руководители — доктор физико-математических наук, профессор Р. В. Куницкий, доктор физико-математических наук, профессор В. В. Радзиевский.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор Д. Я. Мартынов, доктор физико-математических наук, профессор Е. П. Аксенов.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Астрономическая обсерватория Одесского университета.

Автореферат разослан 1971 г.

Защита состоится 1971 г. на заседании Ученого совета Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (Москва, В-234, Университетский проспект, 13).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга.

Ученый секретарь  
кандидат физико-математических наук  
Л. Н. Бондаренко

32  
А7

Вопрос ориентации плоскостей орбит и линий апсид спектрально-двойных звезд уже несколько десятков лет привлекает внимание астрономов. Было проведено много статистических исследований с целью обнаружить какие-либо закономерности в расположении плоскостей орбит этих звезд по отношению к галактическому экватору, а также в расположении периастров орбит по отношению к картинной плоскости.

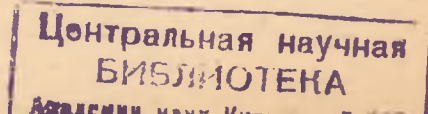
Результаты этих исследований в настоящее время не оставляют места для сомнений в том, что плоскости орбит спектрально-двойных звезд расположены в галактическом пространстве совершенно случайно и не обнаруживают никаких закономерностей. Однако этого нельзя сказать о расположении периастров орбит ярких компонентов спектрально-двойных звезд, которые имеют тенденцию концентрироваться за картинной плоскостью, проведенной через центр масс бинарных систем /В-эффект/.

Впервые явление преимущественной концентрации периастров орбит таких звезд за картинной плоскостью было обнаружено Д. Барром в 1908 году. В дискуссии этого феномена приняли участие такие астрономы, как Р. Эйткен, Р. В. Куницкий, О. Струве, Э. Скотт, М. Яшек, К. Яшек и многие другие.

Настоящая диссертация посвящена особенностям расположения периастров орбит спектрально-двойных звезд. Диссертант поставил перед собой задачу произвести новую статистическую обработку элементов орбит спектрально-двойных звезд, проверить уже установленные закономерности, выявить новые и попытаться дать им физическое объяснение. Поставленная задача была в основном решена.

Данная работа отличается от ранее выполненных тем, что

1-2011



автор диссертации, не ограничиваясь обсуждением и интерпретацией В-эффекта, рассмотрел в новом аспекте ряд вопросов звездной астрономии, астрофизики и космогонии, например, вопрос о динамическом взаимодействии бинарных систем с межзвездной средой, о возникающих эффектах селекции при открытии этих объектов и другие вопросы. Теоретические выводы работы подтверждены наблюдательными данными. Приводится оценка вероятности случайности обнаруженных распределений, которая имеет порядок  $10^{-2} - 10^{-3}$ . Основные результаты диссертации могут быть сформулированы следующим образом:

I. Произведена новая всесторонняя обработка статистического материала, подготовленного по каталогам А.Бечваржа и А.Бэттена.

2. Подтверждено существование преимущественной концентрации периастров за картинной плоскостью в среднем у всех использованных в работе орбит.

3. Обнаружена зависимость В-эффекта от знака средней лучевой скорости  $V_z$  центра масс двойных звезд, т.е. установлено усиление В-эффекта у звезд с  $V_z < 0$  и ослабление его или даже инверсия у звезд с  $V_z > 0$ , что приводит к представлению о существовании антиапексального эффекта, проявляющегося в преобладании бинарных систем с периастром яркого компонента в антиапексе их пекулярного движения.

4. Обнаружено наличие уверенно выраженного В-эффекта у спектрально-двойных звезд с  $V_z < 0$  и периодом  $P > 20^d$ , что опровергает прочно сложившееся представление об его отсутствии у долгопериодических систем.

5. Установлена тенденция к ориентации периастров ярких

компонентов в антиапексе галактического движения долгопериодических спектрально-двойных звезд.

6. Обнаружено резкое усиление антиапексального и В-эффекта у звезд с низкой галактической широтой.

7. Исследована зависимость В-эффекта от долготы периастра у долгопериодических пар и установлен факт преобладания периастров не только в районе  $\omega = 90^\circ$ , но и в районе  $\omega = 30^\circ$ .

8. Показано, что гипотеза О.Струве, удовлетворительно объясняющая существование В-эффекта у тесных пар с коротким периодом, является неприемлемой по отношению к широким системам и не может интерпретировать зависимость знака В-эффекта от знака  $V_z$ .

9. Предложено две гипотезы, объясняющие совокупность обнаруженных эффектов на основании взаимодействия бинарных систем с межзвездной пылевой средой.

10. Доказано несколько новых теорем, относящихся к движению компонентов двойных систем.

II. Сделан вывод о концентрации пылевой межзвездной среды в области апоафра гравитирующего компонента и рассеянии этой среды со стороны апоафра репульсирующего компонента, приводящим к явлению анизотропии блеска двойных систем, ответственному за преимущественное открытие двойных звезд с периастром яркого компонента за картинной плоскостью.

Диссертация, содержащая 161 страницу /включая 16 рисунков и 10 таблиц/, подразделяется на пять глав, выводы и приложения.

В первой главе дается критический обзор дискуссии эффекта неравномерности расположения периастров орбит спектрально-двойных звезд относительно картинной плоскости. Подчеркивается, что

дискуссия проблемы в основном касалась вопроса: около какой долготы  $0^\circ < \omega < 180^\circ$  имеет место преимущественная концентрация периастров. Отмечается, что большинство исследователей приходило к заключению о реальности этого феномена для короткопериодических пар  $P < 20^d - 30^d$  и об его отсутствии для спектрально-двойных звезд с большими периодами. В 1965 году диссертантом также было подтверждено существование В-эффекта для звезд с периодом  $P < 30^d$ : за картинной плоскостью оказались периастры ярких компонентов 149 звезд, перед — только у 96 из общего числа 245 звезд.

Во второй главе излагаются различные гипотезы /Д.Барра, Р.В.Кунцикого, О.Струве/, объясняющие физическую природу В-эффекта. Суть их сводится к следующему: В-эффект является результатом происходящих в звездных парах физических процессов, искажающих кривую лучевых скоростей и вызывающих систематические ошибки в определении элементов орбит компонентов. Дается оценка гипотез. Подчеркивается, что статистические исследования многих авторов приводили к результатам, находящимся в хорошем согласии с гипотезой О.Струве для короткопериодических спектрально-двойных звезд, особенно раннего спектрального класса. Попутно приводятся результаты проверки некоторых статистических следствий гипотезы О.Струве, выполненной М.Яшек и К.Яшек. Здесь же указывается, что в литературе не известны какие-либо попытки представить эффект Барра как феномен, отражающий реальное пространственное распределение периастров орбит, и дать этому явлению физическую или динамическую интерпретацию.

Третья глава посвящена методике и результатам обработки наблюдательного материала. Вводится количественная характеристика

тика В-эффекта, позволяющая представить его в виде сглаженной функции долготы периастра  $\omega$  :

$$B(\omega) = \frac{2n(\omega) - n}{n},$$

где  $n(\omega)$  — число звезд с долготой периастра  $\omega \pm 90^\circ$ , а  $n$  — полное число звезд.

На основании интегральной предельной теоремы Лапласа получена формула для оценки вероятности случайности этого феномена:

$$W(B) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{B\sqrt{n}}^{\sqrt{n}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 2[\Phi(\sqrt{n}) - \Phi(B\sqrt{n})],$$

где  $W(B)$  — вероятность того, что модуль случайного отклонения В-эффекта от нулевого значения будет не меньше некоторой конкретной величины  $B$ , а  $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$  — интеграл ошибок в той форме, в которой его значения обычно приводятся в таблицах.

Аналогично вводится количественная характеристика антиапексального и галактического эффектов и вероятность их случайности /сами эффекты анализируются ниже/.

Диссертантом была принята следующая градация вероятности: распределение считается случайным, если вероятность случайности  $W > 0.3$ , сомнительным при  $0.1 < W \leq 0.3$  и неслучайным, нуждающимся в физической интерпретации, если  $W \leq 0.1$ .

На основании обработки статистического материала /приведенного в приложениях/ в этой же главе исследуется ориента-

ция линий апсид орбит долгопериодических звезд /  $P > 20^d$ /. Устанавливается преимущественная концентрация перед картинной плоскостью периастров этих звезд с лучевой скоростью  $V_z > 0$ , а за картинной плоскостью — периастров звезд с  $V_z < 0$ . Отсюда делается заключение, что у рассматриваемых бинарных систем имеется тенденция к преобладанию периастров в антиапексиальной полусфере по ходу движения звезд относительно космической пыли, т.е. обнаруживается существование антиапексиального эффекта. Показывается, что гипотеза О.Струве, удовлетворительно объясняющая наличие В-эффекта у очень тесных пар с коротким периодом, является неприемлемой по отношению к широким системам и не может интерпретировать зависимость знака В-эффекта от знака  $V_z$ .

Далее проводится исследование /с помощью графиков функции  $B(\omega)$  / зависимости В-эффекта от долготы периастра у звезд с  $P > 20^d$  и галактической широтой  $|b| \leq 45^\circ$ . Устанавливается факт существования повышенной концентрации периастров в полусфере с вершиной не только  $\omega = 90^\circ$ , но и  $\omega = 30^\circ$ . Обнаруживается наличие галактической ориентации линий апсид долгопериодических звезд: показано, что периастры этих пар концентрируются в среднем в направлении  $l = 270^\circ$ . Дается кинематическая интерпретация В-эффекта и других особенностей расположения периастров спектрально-двойных звезд.

В этой же главе исследуется зависимость В-эффекта от различных характеристик спектрально-двойных звезд. С этой целью составлена таблица вероятности вклада различных свойств спектрально-двойных звезд в создание В-эффекта. Устанавливается, что существует преимущественное преобладание периастров за

картинной плоскостью в среднем у всех использованных в работе орбит и что этот эффект усиливается для звезд с низкой галактической широтой. Этот положительный В-эффект целиком обеспечивается звездами с отрицательной лучевой скоростью центра масс. В то же время звезды с положительной лучевой скоростью практически не обнаруживают В-эффекта. Для звезд с коротким периодом положительный В-эффект сильно возрастает. Его рост происходит главным образом за счет звезд с  $V_z < 0$ . Но и у звезд с  $V_z > 0$  появляется небольшой положительный В-эффект. У долгопериодических звезд имеет место отрицательный В-эффект, обусловленный главным образом системами с  $V_z > 0$ .

Показывается, что антиапексиальный эффект усиливается с увеличением периода. При этом у систем с коротким периодом антиапексиальный эффект накладывается на абсолютно преобладающий положительный В-эффект, усиливая его у звезд с  $V_z < 0$  и ослабляя у звезд с  $V_z > 0$ . У звезд же с длинным периодом он является преобладающим.

Абсолютно положительный В-эффект, проявляющийся резко лишь у короткопериодических звезд, по-видимому, является эффектом О.Струве, обусловленным ошибками, допускаемыми при построении кривых лучевых скоростей, вследствие наличия мощных газовых потоков между компонентами тесных пар. О том, что наблюдаемый у короткопериодических систем положительный В-эффект не может отражать реального расположения периастров, убедительно свидетельствует ряд исследований последних лет, выполненных различными авторами, показавших, что линии апсид тесных пар подвержены настолько быстрому перемещению, что любая закономерность в их ориентации должна была бы быстро нарушиться.

Факт зависимости расположения периастров от направления скорости звезд относительно галактической среды, а также усиление антиапексального эффекта у звезд с низкими галактическими широтами, по-видимому, свидетельствует о том, что антиапексальный эффект обусловлен взаимодействием звезд с этой средой.

Показывается, что сложением эффекта О.Струве и антиапексального эффекта можно объяснить все обнаруженные закономерности в расположении периастров орбит спектрально-двойных звезд.

Четвертая глава посвящена динамической интерпретации закономерностей в ориентации орбит спектрально-двойных звезд. С точки зрения этой гипотезы, расположение периастров в антиапексах является реальным и возникает вследствие взаимодействия компонентов с хвостовым уплотнением диффузной среды, возникающим за счет гравитационной фокусировки частиц. Доказывается теорема о том, что периастр яркого компонента стремится переместиться в область с повышенной плотностью. Дается основанная на работах Т.А.Агекяна приближенная количественная оценка того, что разность плотностей со стороны апекса и антиапекса звезды может быть достаточной для перемещения периастра в антиапекс за космогонически приемлемые сроки. Вытекающее из гипотезы следствие, что В-эффект звезд с  $v_z < 0$  обусловлен группой визуально ярких систем, хорошо подтверждается данными наблюдений.

В диссертации сделана попытка объяснения, с позиций этой же гипотезы, факта преобладания периастров звезд в антиапексе их галактического движения. Показано, что если большинство окрестных звезд находится, как и Солнце, вблизи перигалактикума, то вектор их галактической скорости совпадает с вектором скорости относительно межзвездной среды /при условии кругового движения последней/, в связи с чем галактический эффект можно

рассматривать как проявление антиапексального эффекта.

В пятой главе исследуется роль селекции при открытии спектрально-двойных звезд. Для улучшения теории взаимодействия спектрально-двойной звезды с частицами межзвездной среды данная проблема рассмотрена в рамках ограниченной задачи трех тел с двумя неподвижными центрами. При этом используется новый случай применимости модели двух неподвижных центров, соответствующий быстрому обращению массивных компонентов по эллиптической орбите и медленному движению весьма удаленной пылинки. Попутно доказывается теорема о том, что среднее по времени положение каждого из двух тел, движущихся по эллиптическим орбитам относительно общего центра масс, совпадает с точкой, лежащей на большой оси орбиты посередине между центром эллипса и его вторым /свободным/ фокусом. Показано, что среднее по времени положение компонентов имеет не только кинематический, но и динамический смысл. В данной главе рассматривается взаимодействие двойной звезды с такими пылинками, для которых редуцированная /эффективная/ масса яркого компонента  $m'_1$  будет отрицательной /сила светового отталкивания  $F_p$  превосходит силу гравитационного притяжения  $F_g$  /, а редуцированная масса спутника  $m'_2$  - положительной /  $F_p < F_g$  /, причем по модулю  $|m'_1| > m'_2$ . Для этих условий был получен интеграл энергии в виде

$$v^2 = -\frac{2\mu_1}{r_1} + \frac{2\mu_2}{r_2} + v_\infty^2$$

/где  $\mu_1$  и  $\mu_2$  - модули произведений гравитационной постоянной  $G$  на редуцированные массы соответственно первого и второго компонента,  $r_1$  и  $r_2$  - расстояния от этих компонентов до на-

линки, а  $v_{\infty}^2$  — постоянная интегрирования, имеющая смысл квадрата скорости при  $r_1 \rightarrow r_2 \rightarrow \infty$  /, который затем используется для построения поверхности нулевой скорости. Высказывается теоретически обоснованная гипотеза, согласно которой взаимодействие двойной звезды с межзвездной средой приводит к интенсивному захвату и накоплению оптически эффективной космической пыли в том случае, если система движется вперед периастром яркого компонента. Такие звезды оказываются погруженными в экранирующее их блеск облако космической пыли, и открытие их становится менее вероятным, причем малочисленными и наименее яркими должны быть те, у которых  $V_{*} < 0$ . У звезд, имеющих периастр в антиапексе, накопления пыли не происходит, поэтому они в среднем должны быть ярче и открываться чаще, что и следует из обработки статистического материала.

Здесь же показано, что гипотеза экранирования и связанной с ним селекции при открытии спектрально-двойных звезд в состоянии объяснить все основные наблюдаемые особенности в расположении периастров орбит их ярких компонентов. В случае справедливости второй гипотезы первая гипотеза может играть вспомогательную роль, так как ее следствием является устойчивое положение периастра в области повышенной плотности.

Выводы содержат главные итоги данной работы и намечают пути дальнейших исследований в рассматриваемом вопросе. Особенно подчеркивается важность проверки гипотезы экранирования, подтверждение которой представляет интерес в космогоническом аспекте, так как ее следствием является новый механизм захвата космической пыли двойной звездой.

В приложениях приводятся два каталога спектрально-двойных

звезд, составленные диссертантом по материалам каталогов А.Бечваржа и А.Бэттена, с указанием используемых параметров.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих статьях:

1. Э.Ф.Бражникова, С.В.Бабинчук, Об особенности расположения периастров орбит спектрально-двойных звезд, *Астрономический журнал*, 42, № 3, 1965.
2. Э.Ф.Бражникова, Загадка спектрально-двойных звезд, *Земля и Вселенная*, № 5, 1968.
3. Э.Ф.Бражникова, М.М.Дагаев, В.В.Радзиевский, Об ускорении галактического движения звезд, *Астрономический журнал*, 46, № 3, 1969.
4. Э.Ф.Бражникова, О селекции при открытии спектрально-двойных звезд и интерпретации В-эффекта, *Астрономический журнал*, 47, № 1, 1970.
5. В.В.Радзиевский, Э.Ф.Бражникова, Интеграл биполярных моментов в некоторых задачах небесной механики, *Астрономический журнал*, 47, № 1, 1970.
6. Э.Ф.Бражникова, В.В.Радзиевский, Поверхность нулевых моментов в задаче двух неподвижных центров, *Астрономический журнал*, 47, № 3, 1970.
7. Э.Ф.Бражникова, Об ориентации периастров орбит спектрально-двойных звезд с периодом  $P > 20$  суток, *Ученые записки Горьковского пединститута*, вып.123, 1970.
8. Э.Ф.Бражникова, М.М.Дагаев, В.В.Радзиевский, О галактической ориентации орбит спектрально-двойных звезд, *Бюллетень Астрономических институтов Чехословакии*, в печати, 1970 /на английском языке/.

ПОДП. К ПЕЧАТИ 31/ХП-70 Г. Л-122774. Ф. 60x90/18  
ФИЗ.П.Л. 0,76. ЗАКАЗ 2011. ТИРАЖ 200 ЭКЗ.

---

ОТПЕЧАТАНО НА РОТАПРИНТАХ В ТИП. ИЗД. МГУ  
МОСКВА, ЛЕНГОРЫ.



