

Моделирование фотометрического эффекта от движения планеты в атмосфере красного гиганта

Д. А. Павленко, Г. М. Рудницкий¹, В. И. Марсакова²

Одесский национальный университет, кафедра астрономии

¹*Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга,
Московский государственный университет*

²*НИИ "Астрономическая обсерватория" Одесского национального университета*

Проведено численное моделирование эффекта изменения блеска красного гиганта, связанного с движением планеты в его атмосфере. При этом предполагалось, что величина эффекта и прозрачность атмосферы будут обратно пропорциональны квадрату расстояния от планеты до центра звезды. Полученные результаты для разных точек орбиты планеты были представлены в виде кривых зависимости светимости от времени. Кривые были рассчитаны для разных значений таких параметров, как большая полуось, эксцентриситет, коэффициент прозрачности, а также положение орбиты планеты в пространстве. Проведено сравнение полученных кривых блеска с фотометрическим поведением переменных звезд типа Миры Кита.

По одной из современных теорий переменность красных гигантов может быть связана с движением планет в фотосфере этих звезд [1, 2]. Когда звезда находилась на стадии главной последовательности, эти планеты вращались на орбитах с радиусами, не превышающими несколько астрономических единиц, но в результате расширения звезды попали внутрь ее фотосферы. Возникающие при движении этих планет силы трения будут способствовать возникновению ярко светящегося объекта, движение и условия видимости которого могут вызывать переменность звезды.

При расчетах использовалось предположение, что величина эффекта, вызванного движением планеты в атмосфере звезды, будет обратно пропорциональна квадрату расстояния от планеты до звезды и прозрачность атмосферы звезды будет также обратно пропорциональна квадрату расстояния. Значение светимости с учетом прозрачности определяется с помощью формулы:

$$f = \frac{(1-p)\exp(m)}{r^2},$$

где m – сумма коэффициентов прозрачности всех слоев, через которые проходит луч света от положения эффекта к наблюдателю,

$$m = \int_y^{+\infty} \frac{1}{x^2 + y^2 + z^2} dy,$$

p – коэффициент прозрачности.

Координаты x , y , z определяются в определенные моменты времени и показывают положение планеты относительно звезды. Для их определения использовались формулы:

$$P = a(1 - e^2),$$

$$v = GM \sqrt{\frac{2}{r} - \frac{1}{a}},$$

$$X = \sin d \cdot \cos i \cdot r,$$

$$Y = \cos d \cdot \cos i \cdot r,$$

$$Z = \sin(i \cos(d_T - d)) \cdot r,$$

где $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$, e – эксцентриситет, a – большая полуось, i – наклонение орбиты, d – положение периастра, d_T – положение планеты в данный момент времени, v – скорость планеты в данной точке орбиты.

Полученные результаты для разных точек орбиты планеты были представлены в виде кривых зависимости светимости звезды и эффекта от времени (рис. 1). Кривые были рассчитаны для разных значений таких параметров, как большая полуось, эксцентриситет, коэффициент прозрачности, а также положение орбиты планеты в пространстве. Полученные кривые могут быть использованы для проверки теории переменности красных гигантов

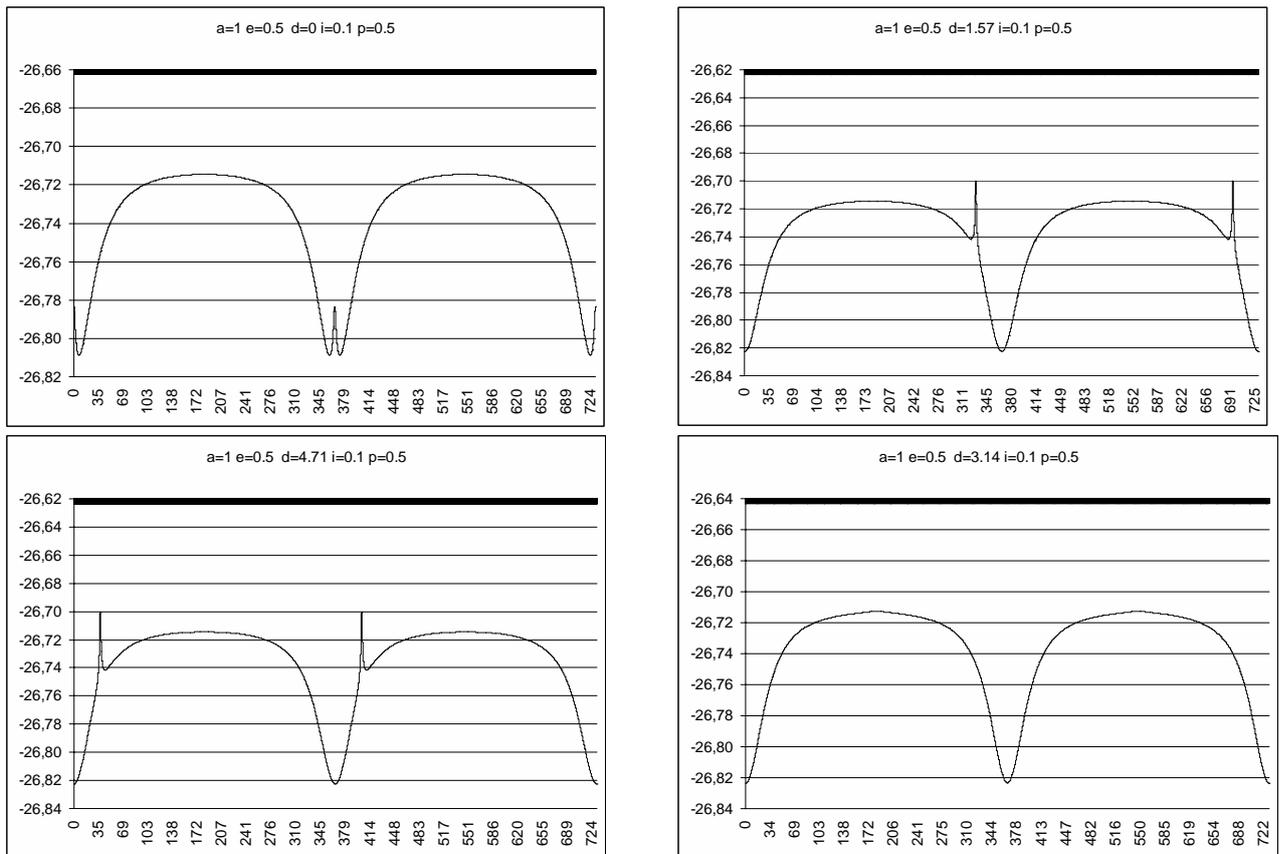


Рис. 1. Результаты моделирования для различных ориентаций орбиты в пространстве

На рис. 2 и рис. 3 приведены примеры кривых блеска переменных звезд типа Миры Кита, а также изменения вида этих кривых со временем. В результате нашего анализа [3, 5, 6, 7], мы убедились, что кривые блеска большинства мирид сильно переменны от цикла к циклу, поэтому одна данная модель вряд ли сможет описать их наблюдаемые особенности.

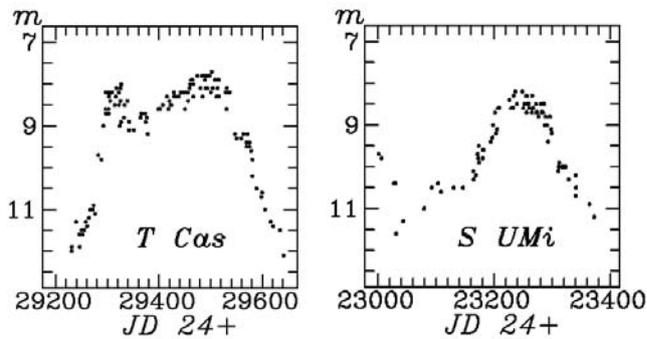


Рис. 2. Кривые блеска мирид с горбом на восходящей ветви

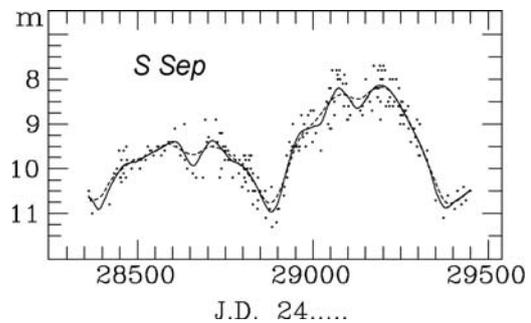


Рис. 3. Кривая блеска мириды S Sep в двух соседних циклах

Однако у некоторых звезд (например, [4]) наблюдаются циклические изменения всех параметров кривой блеска, которые могут, в частности, объясняться взаимодействием двух близких периодов, один из которых связан с движением планеты в атмосфере.

Литература

1. Rudnitskij G. M., Influence of a Close Companion on the Variability of a Mira-Type Star. The Impact of Large-Scale Surveys on Pulsating Star Research, ASP Conference Series. Vol. 203; also IAU Colloquium No. 176. Edited by L. Szabados and D. Kurtz. ISBN: 1-58381-030-7 (2000), pp. 384-385.
2. Berlioz-Arthaud P. Mira Variables explained by a planetary companion interaction: A means to drop the pulsation paradigm? Astronomy and Astrophysics. Vol. 397, pp. 943-950 (2003).
3. Marsakova V. I., Andronov I. L. Cycle-to-cycle changes in the Mira type star RT Cyg. Odessa Astron. Publ. 1997, v. 10, pp. 109-114.
4. Marsakova V. I., Andronov I. L. Unusual secondary variations in the Mira star T Cep. Astron. Soc. Pacif. Conference Series. 2000, v. 203, pp. 131-132.
5. Андронов И. Л., Марсакова В. И. Изменения характеристик индивидуальных циклов пульсаций долгопериодических переменных звезд. I. Методы анализа наблюдений. Астрофизика. 2006, т. 49, №3, с. 433-451.
6. Марсакова В. И., Андронов И. Л. Изменения характеристик индивидуальных циклов пульсаций долгопериодических переменных звезд. II. Дополнительные параметры классификации звезд. Астрофизика. 2006, т. 49, №4, с. 595-612.
7. Марсакова В. И., Андронов И. Л. Изменения характеристик индивидуальных циклов пульсаций долгопериодических переменных звезд. III. Изменения параметров горбов на восходящей ветви. Астрофизика. 2007, т. 50, №1, с. 99-105.

Моделювання фотометричного ефекту від руху планети в атмосфері червоного гіганта

Д. О. Павленко, Г. М. Рудницький, В. І. Марсакова

Виконано числове моделювання ефекту зміни блиску червоного гіганта, пов'язаного з рухом планети в його атмосфері. При цьому вважалось, що величина ефекту та прозорість атмосфери будуть обернено пропорційні квадрату відстані планети від центру зірки.

Отримані результати для різних точок орбіти планети були подані у вигляді кривих залежності світності від часу. Криві розраховано для різних значень таких параметрів як велика піввісь, ексцентриситет, коефіцієнт прозорості, а також положення орбіти планети у просторі. Виконано порівняння отриманих кривих блиску з фотометричною поведінкою змінних зірок типу Міри Кита.

Modeling of Photometric Effect Caused by Planet Motion in the Red Giant Atmosphere

D. A. Pavlenko, G. M. Rudnitskij, and V. I. Marsakova

The effect of red giant luminosity changing caused by planet motion in its atmosphere was simulated numerically. It was suggested that the effect value and opacity of atmosphere were inverse proportional to the distance from center of the star. The results were obtained for different points of planet's orbit and shown as dependencies of luminosity vs. time. Curves were obtained for different values of such parameters as major semiaxis, eccentricity, opacity coefficient and for different orientation of the orbit in space. The results were compared with photometric behavior of Mira-type variable stars.