

Расчет радиуса красного сверхгиганта Бетельгейзе

Болтовский Лев Александрович

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

Целью данной статьи является, определить радиус полуправильной переменной звезды Бетельгейзе. В ходе данной работы использованы поисковые, аналитические и вычислительные методы исследования, позволившие определить радиус данного небесного тела с высокой точностью. В результате была описана методика расчётов, получен радиус α Ориона.

Ключевые слова: Бетельгейзе, радиус, Орион, небесное тело

Calculation of the radius of the red supergiant Betelgeuse

Boltovskiy Lev Alexandrovich

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

The purpose of this paper is to determine the radius of the semi-regular variable star Betelgeuse. In the course of this work, search, analytical and computational methods of investigation were used, which allowed us to determine the radius of this celestial body with high accuracy. As a result, the calculation methodology was described and the radius α of Orion was obtained.

Keywords: Betelgeuse, radius, Orion, celestial body

1. Введение

1.1 Актуальность исследования

Расчет радиуса красного сверхгиганта, является актуальной задачей современной астрономии, так как эта звезда находится на финальной стадии своей эволюции и может в будущем взорваться как сверхновая. Понимание ее размеров, динамики и физических характеристик позволяет лучше прогнозировать время и природу такого события. Бетельгейзе находится сравнительно близко к Земле (примерно 650 световых лет), и взрыв подобной звезды окажет значительное влияние на космическую среду в окрестностях Солнечной системы. Кроме того, расчет радиуса звезды помогает понять физические процессы, протекающие в оболочках красных сверхгигантов, и их взаимодействие с окружающим пространством.

Еще одним важным аспектом является развитие методов астрофизических наблюдений. Измерение радиуса таких объектов, как Бетельгейзе, требует высокой точности данных, что стимулирует развитие

интерферометрии, спектроскопии и других технологий наблюдений. Эти методики находят применение не только в изучении сверхгигантов, но и в других областях астрофизики, таких как поиск экзопланет или исследование галактических процессов. Таким образом, исследование радиуса Бетельгейзе не только углубляет наше понимание звездной эволюции, но и способствует развитию научного инструментария для исследования Вселенной.

1.2 Обзор исследований

В статье Ю. А. Фадеева [1] на основе решения уравнений радиационной газовой динамики и турбулентной конвекции исследуется возникновение радиальных пульсаций в красных сверхгигантах. Предложена модель, объясняющая особенности стратификации излучения в линиях [OIII] и некоторых кольцевых туманностей вокруг звезд типа Вольфа-Райе. в исследовании К. В. Бычкова [2]. В работе Н. А. Тихонова [3] на основе архивных снимков космического телескопа Хаббла проведена звездная фотометрия карликовой irregular галактики Кассиопея-1 (Cas1), находящейся в зоне Млечного пути. Разработан метод определения радиуса звезды по эффективной температуре и поверхностному ускорению силы тяжести, основанный на расчетах моделей внутреннего строения звезды и ее эволюции. в статье С. Г. Сичевского [4]. Установлены количественные взаимосвязи между такими параметрами звезд как их светимость, масса, видимый радиус, температура поверхности, радиус ядра и температура ядра, а также функциональная зависимость температуры от глубины погружения в недра звезды в исследовании В. С. Кошмана [5].

1.3 Цель исследования

Целью данной статьи является, определить радиус полуправильной переменной звезды Бетельгейзе.

2. Методы исследования

Бетельгейзе (рис. 1) — это красная сверхгигантская звезда, одна из самых ярких и первых звезд на ночном небе. Она находится на расстоянии около 640 световых лет от Земли. Бетельгейзе находится на поздней стадии своей жизни и в будущем взорвется как сверхновая, создавшая яркую вспышку, видимую даже днём. Звезда также включила свою переменность, связанную с ее пульсациями.



Рисунок 1 – Фотография Бетельгейзе

Данная звезда находится в созвездии Ориона (рис. 2). Она имеет 0,6 звёздную величину, что позволяет ей быть самой яркой звездой созвездия.

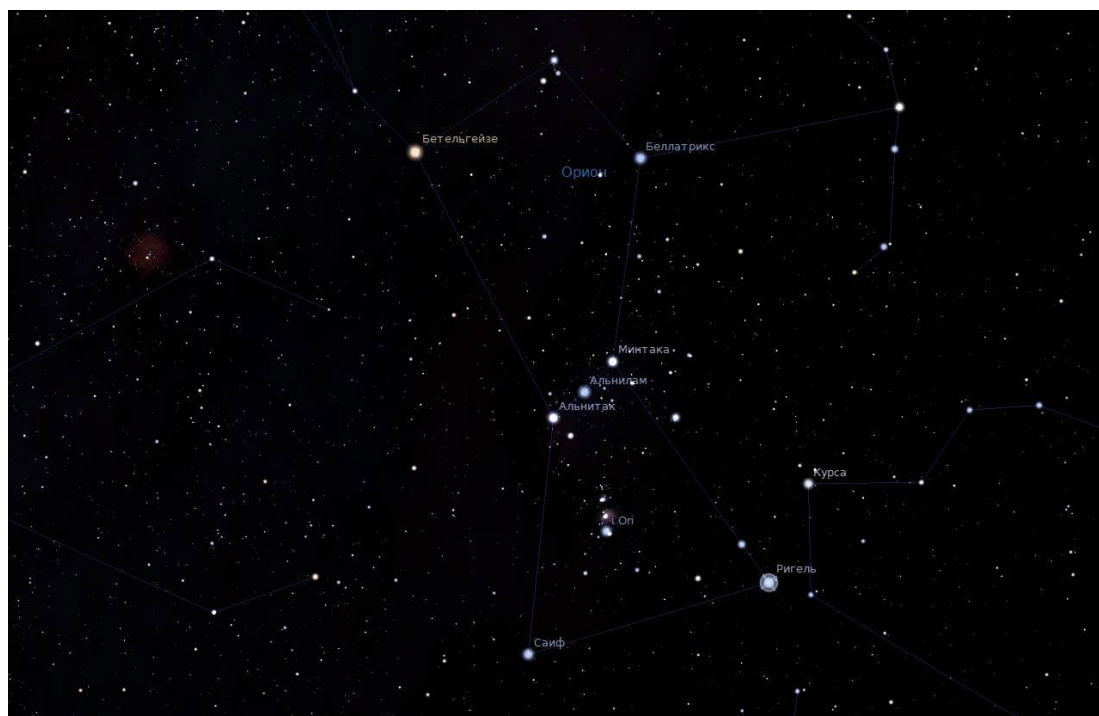


Рисунок 2 – Расположение Бетельгейзе в созвездии Ориона

Процесс взрыва сверхновой происходит, когда массивная звезда достигает конца своей жизни, используя запасы топлива для термоядерного синтеза. Кратко, этот процесс можно описать следующим образом:

1. Конец термоядерного синтеза: Звезда сжигает водород, превращая его в гелий, затем гелий в более тяжелые элементы (углерод, кислород и т. д.), пока железо не будет потрачено в ядре. Железо не

учитывается в термоядерных реакциях, так как его синтез требует больше энергии, чем предложенные.

2. Коллапс ядра: когда ядро накапливает слишком много железа, большее радиационное давление не может удерживать гравитационное сжатие. Ядро быстро сворачивается, сжимаясь до чрезвычайно высокой плотности.
3. Отскок и взрыв: Коллапс ядра приводит к выбросу количества нейтрино. Горячая и плотная материя в центре вызывает взрывной отскок внешнего слоя звезды. Эта ударная волна, проходя через звёздное вещество, выбрасывает его в космос.
4. Формирование новых объектов: после взрыва остаётся компактный объект — либо нейтронная звезда, либо чёрная дыра, в зависимости от массы звезд. Остатки внешнего слоя расширяют возникающую оболочку — туманность (например, Крабовидная туманность).
5. Энергия и светимость: во время взрыва выделяется колоссальное количество энергии. Сверхновая может на короткое время стать ярче целой галактики, воспламеняющей космос.

Понимание как протекает данный процесс необходимо для того, чтобы иметь возможность определить, когда звезда взорвется. Как и было описано во втором пункте во время коллапса ядра оно сжимается. Перед самым взрывом радиус данного объекта уменьшится в несколько раз. По этим причинам нам необходимо понимать от каких параметров зависит радиус небесного тела.

Формула позволяющая рассчитать радиус:

$$\frac{R}{R_{\text{сол}}} = \left(\frac{T_{\text{сол}}}{T} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{L}{L_{\text{сол}}}} \quad (1)$$

Где:

$R_{\text{сол}}$ - радиус солнца (равно 700000 км);

$T_{\text{сол}}$ - температура солнца (равно 6000 К);

$L_{\text{сол}}$ – светимость (равно $3,86 \cdot 10^{33}$ эрг/сек);

R - радиус звезды;

T - температура звезды;

L - светимость звезды.

Для расчетов в астрономии используются относительные значения, так радиус часто определяют как:

$$n \cdot R_{\text{сол}}$$

В данной формуле радиус звезды выражается в радиусах Земли.

Из формулы видно, что для расчета R необходимо знать температуру и светимость звезды. В случае определения температуры используется цвет звезды (рис. 2).

Обозначение	O	B	A	F	G	K	M
Цвет							
Температура в градусах Кельвина	40000	20000	10000	8000	6000	4500	3000

Рисунок 2 – Определение температуры по цвету звезды

Из этого можно сделать вывод:

$$T = 3500 \text{ К}$$

Для определения светимости используются данные, полученные фотометрическим методом:

$$L = 80000 \cdot L_{\text{сол}}$$

Подставим все имеющиеся данные в формулу (1)

$$\frac{R}{R_{\text{сол}}} = \left(\frac{T_{\text{сол}}}{T} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{L}{L_{\text{сол}}}} = \left(\frac{6000}{3500} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{80000 \cdot L_{\text{сол}}}{L_{\text{сол}}}} = \frac{28800\sqrt{2}}{49} = 831,2$$

Следовательно радиус равен:

$$R = 831,2 R_{\text{сол}}$$

Или:

$$R = 831,2 \cdot 700000 = 581840000 \text{ км}$$

3. Выводы

В результате была описана методика расчётов, получен радиус α Ориона. Продемонстрирована методика расчётов.

Библиографический список

1. Фадеев Ю. А. Нелинейные пульсации красных сверхгигантов // Письма в Астрономический журнал. 2012. Т. 38. №. 4. С. 295.
2. Бычков К. В., Ситник Т. Г. Стратификация оптического излучения NGC 6888 как след взаимодействия ветра звезды Вольфа-Райе с оболочкой

- красного сверхгиганта // Письма в Астрономический журнал. 2006. Т. 32. №. 6. С. 452–459.
3. Тихонов Н. А. Расстояние до иррегулярной галактики Кассиопея-1, расположенной в зоне Млечного пути // Астрофизический бюллетень. 2019. Т. 74. №. 4. С. 423–430.
 4. Сичевский С. Г. Оценка радиуса звезды по эффективной температуре и поверхностному ускорению с учетом эффектов звездной // Астрономический журнал. 2016. Т. 93. №. 9. С. 804.
 5. Кошман В. С. Расширение возможностей прогноза радиуса и температуры в центрах звезд главной последовательности // Sciences of Europe. 2022. №. 88–1(88). С. 29–32.