

венного дифференц. ур-ния сводится к решению пелинейного В. у.

Лит.: Морс Ф., Фешбах Г., Методы теоретической физики, пер. с англ., т. 1, М., 1958; Трикоми Ф., Интегральные уравнения, пер. с англ., М., 1960; Владимиров В. С., Уравнения математической физики, 4 изд., М., 1981. С. В. Молодцов.

**ВОЛЬФА ЧИСЛА** — относительные числа солнечных пятен, определяются как  $R=k(f+10g)$ , где  $f$  — число пятен на видимой полусфере Солнца,  $g$  — число групп пятен,  $k$  — коэфф. порядка 1, зависящий от условий наблюдений и приводящий конкретный ряд наблюдений к стандартному. Введены Р. Вольфом (R. Wolf) в сер. 19 в. В.ч. используются как характеристика пятнообразоват. деятельности Солнца и вообще уровня *солнечной активности*. Пределы изменений В.ч.— от 0 до прибл. 300 (в дни нек-рых высоких максимумов *солнечных циклов*). Для статистич. исследований употребляются только среднесемячные и среднегодовые В.ч. В качестве индексов солнечной активности используются также площади солнечных пятен, поток радиоизлучения Солнца на волне 10,7 см, поток рентг. излучения в диапазоне 2—8 Å и др.

**ВОЛЬФА—РАЙЕ ЗВЁЗДЫ (WR)** — открыты в 1867 М. Вольфом (M. Wolf) и Ж. Райе (G. Rayet). Известно св. 300 таких объектов в нашей Галактике и др. близких галактиках. Спектры звёзд WR содержат очень яркие и широкие линии излучения элементов He, N, а также N, C и O в разных стадиях ионизации (NII, HeII, NIII—NV, CIII—CIV, OIII—OV). Широкие линии достигают неск. нм (что соответствует в шкале скоростей  $\sim 1000$  км/с; см. *Уширение спектральных линий*), интенсивность излучения в центре линий иногда в 10—20 раз превосходит интенсивность соседних участков непрерывного спектра. Для возбуждения линейчатого спектра звёзд WR требуется темп-ра  $\sim 10^5$  К (потенциалы ионизации и возбуждения соответствующих атомов и ионов лежат в диапазоне от 10 до 100 эВ). В то же время распределения интенсивности в непрерывных спектрах этих звёзд соответствуют цветовой темп-ре  $\sim 10^4$  К. Это говорит о сильной температурной стратификации и аномальном строении атмосфер этих звёзд. Звёзды WR делятся на две последовательности: азотную (класс WN) и углеродную (класс WC). В спектрах звёзд WN содержатся в осн. линии азота, в спектрах звёзд WC — углерода и кислорода. И в тех и в других линии водорода слабее линий гелия, что, по-видимому, свидетельствует о преимущественном гелиевом хим. составе звёзд WR.

Спектры звёзд WR схожи со спектрами объектов иной природы — *новых звёзд* во время вспышек, ядер нек-рых *планетарных туманностей*, что отражает сходство процессов возбуждения спектров в атмосферах этих объектов с процессами, протекающими в звёздах WR.

Вопрос о происхождении эмиссионного линейчатого спектра звёзд WR окончательно не решён. Для его решения привлекаются в осн. две альтернативные модели протяжённой атмосферы: *небулярная* и *хромосферно-корональная*. В небулярной модели протяжённая атмосфера звезды WR трактуется как малая планетарная туманность: гл. процессами возбуждения эмиссионных линий являются радиативные процессы — ионизация и возбуждение атомов и ионов КВ-излучением горячего ( $T \sim 10^5$  К) «ядра» звезды WR с последующими каскадными рекомбинациями при сравнительно низкой ( $\sim 10^4$  К) кинетич. темп-ре электронов. В хромосферно-корональной модели наличие высокой темп-ры у «ядра» звезды WR не обязательно, а гл. механизм возбуждения эмиссионных линий — электронные удары при высокой ( $\sim 10^5$  К) электронной темп-ре вещества протяжённой атмосферы. Ряд новых наблюдений данных о преобладающей роли радиативных процессов существенно сужает диапазон возможных моделей атмосфер звёзд WR и позволяет отдать предпочтение небулярной модели.

Для звёзд WR характерна сильная концентрация к плоскости Галактики, они часто просецируются на молодые рассеянные звёздные скопления и OB-ассоциации (возраст к-рых  $\sim 10^6$ — $10^7$  лет) и, следовательно, являются абсолютными молодыми объектами. Многочисл. факты указывают на то, что это — горячие массивные звёзды высокой светимости ( $T \sim 10^5$  К,  $M \approx 10$ — $20 M_{\odot}$ ,  $L \sim 10^5 L_{\odot}$ , где  $M_{\odot}$  и  $L_{\odot}$  — масса и светимость Солнца).

В частности, светимость звёзд WR в рентг. диапазоне не превышает  $10^{33}$  эрг/с и соответствует рентг. светимости обычных OB-звёзд. Абс. звёздные величины звёзд WR достигают  $-6,8^m$ . Атмосферы звёзд WR очень протяжённые, их вещество истекает в межзвёздное пространство со скоростями  $\sim 1000$  км/с, ежегодная потеря массы составляет  $\sim 10^{-5} M_{\odot}$ .

Ок. 50% звёзд WR — тесные двойные системы, в к-рых второй компонент — массивная ( $\approx 20$ — $30 M_{\odot}$ ) OB-звезда. У более 10 звёзд WR, ранее считавшихся одиночными, открыта слабая периодич. фотометрическая и спектральная переменность. Это, по-видимому, означает, что мн. звёзды WR, считавшиеся одиночными, на самом деле являются тесными двойными системами, содержащими в качестве спутников маломассивные ( $\approx 1$ — $3 M_{\odot}$ ) объекты. Согласно совр. эволюц. представлениям, они могут быть релятивистскими объектами (*нейтронными звёздами* или *чёрными дырами*), аккрецирующими вещество мощного звёздного ветра звёзд WR (см. *Аккреция*).

Анализ данных наблюдений показывает, что звёзды WR являются гелиевыми остатками первоначально очень массивных ( $\approx 30$ — $50 M_{\odot}$ ) звёзд, потерявших значит. часть ( $\approx 20$ — $30 M_{\odot}$ ) своей массы в процессе эволюции. Поэтому они, будучи объектами молодыми, находятся, по-видимому, на конечном этапе своей эволюции: на стадии исчерпания запасов ядерной энергии, после к-рой через  $\sim 10^5$  лет должен следовать коллапс звезды с образованием релятивистского объекта (см. *Эволюция звёзд*). Как возможные прародители нейтронных звёзд и чёрных дыр, звёзды WR привлекают к себе пристальное внимание исследователей. Особенно интересные результаты получены в области наблюдат. и теоретич. исследований звёзд WR в тесных двойных системах. Развиг эволюц. сценарий для массивных двойных систем, согласно к-рому в таких системах из-за обмена веществом между компонентами может дважды реализовываться стадия звезды WR: до стадии рентг. двойной системы (типа Cyg X—1) и после этой стадии (см. *Тесные двойные звёзды*).

Лит.: Рублев С. В., Черепашук А. М., Звёзды Вольфа—Райе, в кн.: Явления нестационарности и звездная эволюция, М., 1974; Звёзды и звездные системы, М., 1981. А. М. Черепашук.

**ВОЛЬФРАМ (Wolframium), W**, — хим. элемент VI группы периодич. системы элементов, ат. номер 74, ат. масса 183,85. Природный W. содержит 5 стабильных изотопов:  $^{180}\text{W}$  (0,13%),  $^{182}\text{W}$  (26,3%),  $^{183}\text{W}$  (14,3%),  $^{184}\text{W}$  (30,67%) и  $^{186}\text{W}$  (28,6%). Из искусств. изотопов наиб. важны  $\beta$ -радиоактивные  $^{185}\text{W}$  ( $T_{1/2} = 75,3$  сут) и  $^{187}\text{W}$  ( $T_{1/2} = 23,9$  ч), а также  $^{181}\text{W}$  ( $T_{1/2} = 121,2$  сут). Конфигурация внеш. электронных оболочек  $5s^2 4d^4 6s^2$ . Энергии последоват. ионизаций равны соответственно 7,98 и 17,7 эВ; предполагаемые энергии 3-й, 4-й, 5-й и 6-й ионизаций — 24, 35, 48 и 61 эВ. Металлич. радиус 0,140 нм, радиусы ионов  $\text{W}^{4+}$  0,068 нм и  $\text{W}^{6+}$  0,065 нм. Значение электроотрицательности 1,7.

Свободный W. — светло-серый металл с кубич. объёмно-центрир. решёткой, параметр к-рой  $a = 0,31647$  нм. Плотность 19,35 кг/дм<sup>3</sup>,  $t_{\text{пл}} = 3420^\circ\text{C}$  (выше — только у графита),  $t_{\text{кип}} = \text{ок. } 5680^\circ\text{C}$ ; теплота плавления 192 кДж·кг<sup>-1</sup>, теплота испарения 4007 кДж·кг<sup>-1</sup>, уд. теплоёмкость 0,136 кДж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup> (при 0 —  $1000^\circ\text{C}$ ). Коэф. термич. расширения В. низок ( $5,5 \cdot 10^{-6}$  при 20— $300^\circ\text{C}$ ). Теплопроводность 154 Вт/(м·К)