



ЗВЁЗДНАЯ СТАТИСТИКА

Авторы: А. С. Расторгуев

ЗВЁЗДНАЯ СТАТИСТИКА, раздел *звёздной астрономии*, в котором исследуются взаимосвязи между разл. физич. характеристиками звёзд и звёздных скоплений, а также строение, звёздные населения и подсистемы Галактики на основе массовых наблюдательных данных.

Изучение строения нашей Галактики и Вселенной в целом базируется на умении определять расстояния до объектов разл. природы: звёзд, звёздных скоплений, газовых туманностей и галактик. Поэтому одной из наиболее важных задач З. с. является установление шкалы расстояний. Поскольку определение надёжных расстояний прямыми геометрич. методами (тригонометрич. параллакс) возможно лишь для ограниченного числа относительно близких звёзд и звёздных скоплений (не далее 100–200 пк от Солнца), расстояния до более далёких объектов определяются косвенными методами. В их основе лежит принцип «стандартной свечи», т. е. сравнение видимой звёздной величины

m звезды с известной абсолютной звёздной величиной

M , которые связаны простым соотношением:

$$m - M = 5 \lg r (\text{пк}) - 5 + E(r), \text{ где}$$

$E(r)$ – межзвёздное поглощение света на пути до звезды,

r – расстояние вдоль луча зрения.

«Стандартными свечами» могут служить звёзды любого спектрального класса и класса светимости, но в первую очередь это легко отождествляемые и яркие объекты, напр. некоторые типы переменных звёзд (цефеиды, сверхновые типа Ia и др.). У цефеид существует зависимость между ср. абсолютной звёздной величиной $\langle M \rangle$ и периодом

P пульсаций:

$\langle M \rangle = a + b \lg P$. С её помощью удаётся определять расстояния до далёких галактик вплоть до расстояний 20 Мпк. Сверхновые звёзды типа Ia в максимуме блеска – одни из ярчайших объектов во Вселенной – широко используются в космологии для определения самых больших расстояний. Взаимная калибровка светимостей «стандартных свечей» разл. типов проводится по звёздным скоплениям или галактикам, содержащим как те, так и др. объекты. Особым классом «стандартных свечей» служат рассеянные и шаровые звёздные скопления, расстояния до которых определяются путём сравнения видимых и абсолютных величин звёзд главной последовательности. Эти расстояния известны с большой точностью, т. к. для их определения используется большое число звёзд. Светимость «стандартных свечей» – пример важнейших калибровочных связей звёздных характеристик, встречающихся в звёздной астрономии.

Большое значение в звёздной астрономии и астрофизике имеют статистич. связи (калибровки) между наблюдаемыми и вычисляемыми физич. характеристиками звёзд, устанавливаемые, как правило, по звёздам с хорошо известными расстояниями и звёздным скоплениям. С помощью калибровок удаётся по наблюдаемым параметрам определить ряд характеристик, недоступных прямым измерениям. Это калибровочные соотношения между нормальным цветом, с одной стороны, и эффективной темп-рой, болометрич. поправкой и абсолютной звёздной величиной – с другой. Существуют также статистич. связи между вычисленными величинами (напр., зависимость масса – светимость для звёзд главной последовательности) и между наблюдаемыми характеристиками (спектральный класс – нормальный цвет, ультрафиолетовый избыток цвета – содержание тяжёлых химич. элементов и др.). Большинство соотношений являются многомерными, поскольку отражают зависимость не только от параметров звёзд, но и от их эволюц. статуса, т. е. класса светимости. Примером двумерной функции распределения по абсолютным звёздным величинам и нормальным цветам служит [Герцшпрунга – Рассела диаграмма](#) (цвет – абсолютная звёздная величина) с семью осн. последовательностями (классами светимости) звёзд на ней, от сверхгигантов до белых карликов. Диаграмма Герцшпрунга – Рассела представляет собой эффективный инструмент описания звёздных населений и исследования проявлений звёздной эволюции, широко применяемый в звёздной

астрономии и астрофизике.

Математич. аппарат 3. с. – использование статистич. функций распределения (в т. ч. многомерных) объектов по разл. характеристикам. В 3. с. используются распределения звёзд по абсолютным звёздным величинам (т. н. функция светимости) и по видимым звёздным величинам (т. н. дифференциальная функция блеска).

Распределение звёзд в телесном угле вдоль луча зрения по расстояниям представляет собой распределение плотности, тесно связанное с общим распределением массы в Галактике. Из-за влияния эффектов селекции функция светимости наиболее надёжно определяется по звёздам вблизи окрестностей Солнца, а также звёздам – членам рассеянных звёздных скоплений. Из функции светимости выводится функция масс – распределение звёзд главной последовательности по массам, широко применяемая в астрофизике. Важной проблемой остаётся поведение функции светимости слабых (маломассивных) звёзд, которые могут внести большой вклад в полную массу Галактики.

Для исследования строения звёздных подсистем и населений Галактики используется метод звёздных подсчётов, впервые применённый У. [Гершелем](#) ещё в 18 в. В нач. 20 в. К. [Шварцшильд](#) вывел интегральное уравнение, связывающее непосредственный результат звёздных подсчётов – дифференциальную функцию блеска

$A(m)$, закон распределения звёздной плотности вдоль луча зрения

$D(r)$, функцию светимости

$\Phi(M)$ и величину межзвёздного поглощения света

$E(r)$:

$$A(m) = w \int_0^{\infty} D(r) \Phi(M = m - 5 \lg r + 5 - E(r)) r^2 dr.$$

Здесь

ω – телесный угол наблюдений. В совр. астрономии используют многоцветные дифференциальные функции блеска, полученные при наблюдениях в разных направлениях в Галактике, и многоцветные функции светимости, а вместо прямого решения интегрального уравнения применяют метод популяционного синтеза. Он состоит в том, что Галактика представляется совокупностью взаимопроникающих

подсистем, каждая из которых характеризуется определённым законом пространственного распределения, звёздным населением, возрастом, химич. составом, происхождением, начальной функцией масс. В результате звёздная плотность

$D(r)$ становится функцией множества параметров (не только структурных, но и астрофизических) и решается задача их оптимального подбора, при котором модельные функции блеска лучше всего согласуются с наблюдаемыми функциями $A(m)$. Для строгого решения требуется знать ход поглощения

$E(r)$ с расстоянием в разных направлениях, т. е. трёхмерную модель распределения поглощающей материи. На больших расстояниях от плоскости симметрии Галактики ход поглощения с расстоянием неплохо описывается моделью плоских слоёв с экспоненциальным уменьшением плотности пыли. Отсутствие адекватных моделей поглощения вблизи плоскости Галактики пока не даёт возможности построения надёжных моделей распределения звёзд в наиболее плотных частях галактич. диска, хотя большие надежды связываются с наблюдениями в ИК-диапазоне.

В совр. подходах к популяционному моделированию Галактики учитывается её многокомпонентное строение, включающее не менее трёх гл. структурных компонентов: диск (тонкий и толстый), балдж (яркая центр. популяция звёзд), галактич. корона (внутр. и внешнее гало). Они различаются размерами и законами изменения пространственной плотности. Радиальное и вертикальное распределения звёзд в тонком и толстом диске описываются экспоненциальными законами, в то время как для балджа и сфероида используются более сложные степенные или нормальные распределения, часто с учётом трёхосности балджа и наличия центр. бара (перемычки). Наиболее сложно строение тонкого диска, состоящего из целого ряда взаимопроникающих подсистем, различающихся возрастом (от миллионов лет до 8–10 млрд. лет), характерной толщиной (от 100 до 400 пк) и кинематич. характеристиками. Радиус видимого диска Галактики составляет примерно 20–25 кпк, полная масса Галактики в этих пределах близка к 200 млрд. масс Солнца. Для описания тёмной материи в модель распределения масс часто вводится почти сферическая «корона» с изотермич. распределением плотности. Одной из важнейших структурных и динамич. характеристик Галактики является звёздная плотность

вблизи Солнца. По данным о ближайших звёздах, она близка к $0,12 \pm 0,02$ звезды на кубич. парсек. Плотность массы при этом (с учётом вклада межзвёздного вещества) оценивается в $0,075 \pm 0,01$ массы Солнца на кубич. парсек.

Литература

Лит. см. при ст. Звёздная астрономия.

Processing math: 100%