

Массу рассеянного звёздного скопления можно найти, сложив массы всех его членов, светимости которых определяют по их видимому блеску и расстоянию до скопления, а массы — по зависимости масса—светимость.

Массу шарового звёздного скопления $M_{СК}$ далеко не всегда можно оценить путём подсчёта звёзд, т. к. изображения звёзд центра области большинства шаровых скоплений на фотографиях, полученных с оптим. экспозицией, сливаются в одно светящееся пятно. Есть методы оценки общей массы всего скопления, основанные на статистич. принципах. Так, напр., применение *вириала теоремы* позволяет оценить $M_{СК}$ по эфф. радиусу скопления $R_{СК}$ и ср. квадрату отклонения $(\Delta v)^2$ лучевой скорости отд. звёзд от её ср. значения (т. е. от лучевой скорости скопления как целого):

$$M_{СК} \approx 800(\overline{\Delta v})^2 R_{СК}$$

(здесь $M_{СК}$ в M_{\odot} , Δv в км/с, $R_{СК}$ в пк).

Если возможен подсчёт всех звёзд — членов шарового скопления, то общую массу скопления можно определить как сумму произведений $M_i \varphi(M^*_i)$, где $\varphi(M^*)$ — ф-ция светимости этого скопления, т. е. ф-ция, показывающая число звёзд, приходящихся на разл. интервалы значений абс. звёздных величин M^* (обычно их подсчитывают в интервалах, равных 1^m), а M_i — масса, соответствующая данной звёздной величине M^*_i по зависимости масса — светимость. Т. о., общая масса скопления

$$M_{СК} = \sum M_i \varphi(M^*_i),$$

где сумма взята от самых ярких до самых слабых членов скопления.

Метод определения массы Галактики M_G использует факт вращения Галактики. Устойчивость вращения позволяет предположить, в частности, что центрострем. ускорение Солнца определяется притяжением массы M_0 всего вещества Галактики внутри сферы с радиусом r_0 , где r_0 — расстояние Солнца от центра Галактики, равное пригл. $3 \cdot 10^{22}$ см. Ср. гравитационное ускорение Солнца $g_0 = GM_0/r_0^2$ равно его центрострем. ускорению v_0^2/r_0 (без учёта влияния внеш. части Галактики и при условии эллипсоидальности поверхностей равной плотности в её внутр. части). Собств. галактич. скорость Солнца (т. н. круговая скорость на расстоянии r_0 от центра) $v_0 \approx 220$ км/с, отсюда $g_0 = v_0^2/r_0 \approx 1,6 \cdot 10^{-8}$ см/с² и $M_0 = g_0 r_0^2/G \approx 2,2 \cdot 10^{44}$ г. Масса Галактики в сферич. объёме радиусом ≈ 15 кпк, как показывают подобные расчёты, равна $\approx 3 \cdot 10^{44}$ г $\approx 1,5 \cdot 10^{11} M_{\odot}$. При этом учитывается также масса всей диффузной (рассеянной) материи в Галактике.

Масса спиральной галактики может быть определена по результатам изучения её кривой вращения (см. *Вращение галактик*). Кривые вращения указывают на наличие больших масс невидимого (несветящегося) вещества (т. н. *скрытой массы*). Масса невидимого вещества галактик может в 10 раз и более превосходить массу светящегося (излучающего) вещества.

Для медленно вращающихся галактик, какими являются, напр., эллиптич. галактики, трудно получить кривую вращения, но зато можно по расширению спектральных линий оценить дисперсию скоростей звёзд в системе и, сопоставив её с истинными размерами галактики, по теореме о вириале оценить массу эллиптич. галактики.

Ещё один способ оценки масс галактик, входящих в двойные системы, аналогичен методу оценки масс компонентов спектрально-двойных звёзд. Используют также установленную статистич. зависимость между массой и интегральной светимостью галактик разл. типа (своего рода зависимость масса — светимость для галактик). Светимость определяется по видимой

интегральной звёздной величине галактики и расстоянию до неё, оценённому по величине красного смещения спектральных линий.

Известные ныне массы галактик заключены в пределах от $\sim 10^5 M_{\odot}$ — для т. н. карликовых галактик до $\sim 10^{12} M_{\odot}$ — для сверхгигантских эллиптич. галактик (напр., для галактики М87).

Общая масса галактик, входящих в скопления галактик, определяется суммированием масс галактик данного скопления с учётом их типов. С др. стороны, полная масса скопления может быть определена по теореме о вириале (по дисперсии лучевых скоростей галактик в скоплении в предположении, что галактики скопления являются гравитационно связанными между собой). Подобные определения показывают, что полная масса скопления (её наз. *вириальной массой*) больше суммы масс отд. галактик скопления. Это свидетельствует о том, что в межгалактич. пространстве в скоплениях содержится много невидимой (скрытой) массы. Сверхскопление галактик с центром в созвездии Девы обладает суммарной массой $\sim 10^{15} M_{\odot}$.

Точность определения M н. т. зависит от точности определения всех величин, входящих в соответствующие формулы. Масса Земли найдена с погрешностью $\approx 0,05\%$, масса Луны — с погрешностью $\approx 0,1\%$. Погрешность определения массы Солнца также составляет $\approx 0,1\%$, она зависит от точности определения астр. единицы. Вообще, в значит. степени точность определения массы зависит от точности определения *расстояний шкалы*, а также расстояний между звёздами (в случае двойных звёзд), линейных размеров тел и т. д. Массы планет известны с погрешностью от 0,05 до 0,7%. Массы звёзд определены с погрешностью $\approx 20-60\%$. Неуверенность определения массы галактик можно характеризовать коэф. 2, даже если надёжно определено расстояние до них.

Лит.: Сагитов М. У., Постоянная тяготения и масса Земли, М., 1969; Физика космоса. Маленькая энциклопедия, 2 изд., М., 1986; Куликовский П. Г., Звёздная астрономия, 2 изд., М., 1985; Климишин И. А., Открытие Вселенной, М., 1987. П. Г. Куликовский.

МАССШТАБ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ — отношение линейного размера изображения оптического к линейному размеру предмета. Служит характеристикой проекционных систем и определяется их линейным увеличением (см. *Увеличение оптическое*). Выбор M о. и. диктуется размерами изображаемого объекта: у телескопа, фотоаппарата, глаза M о. и. меньше единицы (у телескопа M о. и. практически равен нулю), у микроскопов (оптических и электронных), кино- и диапроекторов, фотоувеличителей — больше единицы. Если изображение получается с помощью неск. последоват. проекций, его M о. и. определяется произведением M о. и. каждой проекции в отдельности.

МАССШТАБНАЯ ИНВАРИАНТНОСТЬ (скейлинг) — свойство неизменности ур-ний, описывающих нек-рую физ. теорию или к.-л. физ. процесс, при изменении всех расстояний и промежутков времени в одинаковое число раз. Такие изменения образуют группу масштабных преобразований (называемых также преобразованиями подобия), определяемую след. законом изменения координат пространства и времени:

$$x \rightarrow \rho x, \quad y \rightarrow \rho y, \quad z \rightarrow \rho z, \quad t \rightarrow \rho t,$$

где $\rho > 0$ — числовой параметр преобразования, k -ый при $\rho > 1$ соответствует однородному растяжению, а при $\rho < 1$ — однородному сжатию пространства-времени в ρ раз. В релятивистской теории масштабное преобразование вместе с 10 преобразованиями группы Пуанкаре (см. *Пространственно-временная симметрия*) образует т. н. группу Вейля. Физ. величины изменяются при масштабном преобразовании в соответствии со своими размерностями, напр. вектор-потенциал эл.-магн. поля и ток преобразуются по законам $A \rightarrow \rho^{-1}A$, $j \rightarrow \rho^{-3}j$. Безразмерные величины,