

зависимости от темп-ры, от времени при пост. темп-ре, от энергии ионизирующих электронов судят о составе газовой фазы, рассчитывают *энтальпии* равновесных процессов, энтальпии образования, энергии разрыва связей в молекулах и т. п. Информация, получаемая этим методом, имеет применение в материаловедении, при расчёте конструкций узлов и установок, работающих в экстремальных условиях, и т. д.

Другие исследования (верхних слоёв атмосферы, космического пространства, электрического газового разряда и ионизации в плазмах). На спутниках, ракетах, автоматич. межпланетных станциях устанавливают, как правило, один из вариантов динамич. масс-спектрометров.

Масс-спектральное исследование ионов, образующихся в плазмах, позволило выявить ряд происходящих процессов и, в частности, установить важную роль кластерных и сольватиров. ионов.

Лит. см. при ст. Масс-спектрометр.

МАССЫ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ (методы определения). В основе определения М. н. т. лежит *всемирного тяготения закон*. В астрономии часто (но не всегда) можно пренебречь размерами небесных тел по сравнению с разделяющими их расстояниями и отличим их формы от точной сферы, т. е. уподобить небесные тела точечным массам.

Масса Земли может быть определена по величине ускорения свободного падения g :

$$M_3 = gR_3^2/G.$$

Величина g определяется гравиметрич. методами (см. *Гравиметр, Гравиметрия*), а R_3 — на основе геодезич. измерений. Таким путём найдено, что масса Земли $\approx 6,0 \cdot 10^{27}$ г. Более точно M_3 (вернее, произведение GM_3) определяется по наблюдениям ИСЗ или космич. аппаратов. Помимо массы Земли, прямым гравиметрич. методом измерения силы тяжести на поверхности небесного тела можно определить массу Луны, а в дальнейшем всех планет и их спутников с твёрдой поверхностью.

Определение массы Земли является первым звеном в цепи определений масс др. небесных тел (Луны, планет, Солнца, а затем и др. звёзд). Массы этих тел находят, опираясь либо на 3-й закон Кеплера (см. *Кеплера законы*), либо на след. правило: расстояния к.-л. масс от общего центра масс обратно пропорциональны самим массам. Это правило позволяет, в частности, определить массу Луны. Отношение расстояний центров Луны и Земли от центра масс система Земля — Луна (барицентра) равно $1/81,3$, т. е. $M_L \approx (1/81,3)M_3 \approx 7,35 \cdot 10^{26}$ г.

Массу Солнца (M_\odot) можно определить, применив 3-й закон Кеплера к движению Земли (вместе с Луной) вокруг Солнца и к движению Луны вокруг Земли:

$$\frac{a_3^3}{T_3^2(M_\odot + M_3)} = \frac{a_L^3}{T_L^2(M_3 + M_L)}, \quad (1)$$

где a — большие полуоси орбит, T — периоды (звёздные, или сидерические) обращения. Если пренебречь массой Земли по сравнению с массой Солнца, то отношение $M_\odot/(M_3 + M_L)$ оказывается равным 329390 , отсюда $M_\odot \approx 2 \cdot 10^{33}$ г.

Ф-ла (1) даёт возможность сравнить массы Солнца и любой планеты, имеющей спутник, или массы двух планет, имеющих спутники. Массы планет, у которых спутников, определяют по возмущениям, оказываемым ими на движение соседних планет.

Массу звезды (помимо Солнца) можно определить со сравнительно большой надёжностью только в том случае, если она является физ. компонентом визуальной двойной звезды (см. *Двойные звёзды*), расстояние до к-рой известно. 3-й закон Кеплера в этом случае

даёт сумму масс компонентов (в единицах солнечной массы):

$$M_1 + M_2 = \left(\frac{a''}{\pi''}\right)^3 \cdot \frac{1}{P^3},$$

где a'' — большая полуось (в секундах дуги) относительной орбиты спутника вокруг главной (обычно более яркой) звезды, к-рую в этом случае считают неподвижной; P — период обращения в годах; π'' — параллакс системы (в секундах дуги). Величина a''/π'' даёт значение большой полуоси орбиты в а. е. Если можно измерить угл. расстояния ρ_1 и ρ_2 компонентов от общего центра масс [напр., по положению каждого компонента относительно несколько более слабых звёзд (звёзд фона) или в случае заметного собств. движения центра масс, как у Сириуса и его спутника], то находят отношение масс, $M_2/M_1 = \rho_1/\rho_2$, и, следовательно, массу каждой звезды в отдельности.

Для определения малых значений ρ у *тесных двойных звёзд* успешно применяются методы *спекл-интерферометрии*. Если компоненты двойной имеют примерно одинаковый блеск и сходные спектры, то сумма масс даёт достаточно надёжную оценку массы каждого компонента и без дополнит. определения отношения M_1/M_2 .

Для др. типов двойных звёзд (затменно-двойных и спектрально-двойных) имеется ряд возможностей приблизительно определить массы звёзд или оценить их ниж. предел.

Совокупность данных о массах компонентов более чем сотни двойных звёзд разных типов позволила обнаружить важную статистич. *масса — светимость зависимость*. На основе этой зависимости оценивают массы одиночных звёзд по их *светимостям*.

Ещё один метод оценки массы звезды связан с измерением гравитац. *красного смещения* спектральных линий в поле тяготения. В сферически симметричном поле тяготения звезды оно эквивалентно доплеровскому красному смещению:

$$\Delta v_r = 0,635 M_{зв}/R_{зв}, \quad (2)$$

где $M_{зв}$ — масса звезды в единицах массы Солнца, $R_{зв}$ — радиус звезды в единицах радиуса Солнца, Δv_r — в км/с. Соотношение (2), наиб. успешно применяемое к белым карликам, проверено по ряду белых карликов, входящих в состав двойных систем. Для них были известны радиусы, массы и истинные *лучевые скорости*.

У т. н. астрометрич. двойных звёзд один компонент невидим. Массу невидимого (тёмного) спутника звезды можно оценить по колебаниям положения звезды, связанным с её движением около общего центра масс. Невидимые спутники звёзд имеют массы меньше $0,2 M_\odot$ и, вероятно, похожи на планеты. Возможно, что вместо одного тёмного спутника имеются два-три, а может быть, и большее число спутников (планет), т. е. планетные системы.

На релятивистском эффекте вращения линии апсид орбиты звезды-компаньона (подобного эффекту вращения линии апсид планетарных орбит, см. *Тяготение*) основан ещё один способ определения масс компонентов двойной звезды.

Массы звёзд заключены в пределах прибл. от $0,03$ до $60 M_\odot$ (теоретич. предел стабильной массы нормальной звезды $\approx 62 M_\odot$). Наиб. число звёзд имеет массы от $0,3$ до $3 M_\odot$, много более половины звёзд входят в двойные системы. Ср. масса звезды в ближайших окрестностях Солнца $\approx 0,5 M_\odot$, т. е. $\approx 1 \cdot 10^{33}$ г. Различия в массах звёзд оказывается много меньшим, чем их различие в светимостях (последнее может достигать десятков млн.). Сильно отличаются радиусы звёзд. В результате диапазон их ср. плотностей от $5 \cdot 10^{-6}$ г/см³ (красные гиганты) до 10^8 г/см³ (белые карлики) и даже $\sim 10^{14-15}$ г/см³ (нейтронные звёзды). Ср. плотность Солнца равна $1,41$ г/см³.