

ур-вия распределения массы

$$\frac{dM}{dr} = 4\pi r^2 \rho(r)$$

и ур-ний состояния

$$\rho_i = \rho_i(P)$$

Для предполагаемой смеси компонент с плотностью  $\rho = (\sum x_i \rho_i^{-1})^{-1}$ , где  $\rho_i$  и  $x_i$  — плотность и доля  $i$ -й компоненты по массе ( $x_i = m_i/m$ ,  $m_i$  — масса  $i$ -й компоненты),  $M$  — суммарная масса в единичном объёме). Ср. плотности планет и данные по ур-ниям состояния для осн. породообразующих элементов Si, Mg, Fe, Al, Ca и их окислов показывают, что в среднем планеты земной группы на  $2/3$  состоят из ферромагнезиальных силикатов и на  $1/3$  из железа с примесью никеля и др. элементов. Модели внутр. строения Земли благодаря глубинному сейсмич. зондированию, данным о нутации и прецессии разработаны весьма детально, и осуществляется переход к более сложным моделям, учитывающим особенности горизонтального строения литосферы и верхней мантии под океанич. и континентальными регионами. Для построения моделей планет земной группы широко используются представления об оболочечной структуре, полученные для Земли. Обычно выделяют кору (10—100 км), мантию (1000—3000 км) и ядро. Ядро — наиб. плотная часть (12—13 г/см<sup>3</sup> в центре Земли), кора — наименее плотная (для Земли 2,7—2,8 г/см<sup>3</sup>), плотность мантии — промежуточная (для Земли 2,8—3,5 г/см<sup>3</sup>). У Земли ядро подразделяется на внешнее (жидкое) и внутреннее (твёрдое). Предполагают, что жидкое ядро имеется у Меркурия и Венеры. Марс, обладая заметным вращением, имеет сравнительно небольшую магн. момент, и существование расплавленного ядра для него остаётся под вопросом. Внутр. строение Венеры в основном схоже со строением Земли, однако из-за медленного вращения Венеры не удаётся оценить её момент инерции и, следовательно, в отсутствие сейсмич. данных, нет строгого подтверждения существования у неё ядра и соответствующих земным верхней и нижней мантийных оболочек. Отсутствие сейсмич. данных не позволяет также сделать определённые выводы о структуре и размерах оболочек др. планет земной группы. Момент инерции Марса свидетельствует о наличии небольшого ( $\leq 15\%$  от массы планеты) ядра. Размеры и фазовое состояние ядра зависят от его хим. состава (рис. 1). На больших временах ( $10^6$ — $10^9$  лет) вещество планетных недр ведёт себя как вязкая жидкость. В результате неравномерных нагрева и распределения состава в оболочках могут возникать конвективные движения, приводящие к тепло- и массопереносу. Масштаб конвекции определяется величиной отклонений распределений темп-ры и состава от равновесных, а интенсивность — вязкостью и др. реологич. параметрами. Оценки темп-р в недрах планет земной группы основаны на представлениях об их образовании путём аккумуляции из твёрдых тел и относительно раннем формировании оболочек (в ходе этих процессов происходило выделение гравитац. энергии  $\sim 10^{11}$  эрг/г), а также на данных о содержании радиоакт. элементов U, Th и <sup>40</sup>K. Согласно оценкам, темп-ра в центре Земли  $\approx 5000$ — $6000$  К, на границе ядро — мантия —  $3500$ — $4000$  К. Темп-ры центральных областей Венеры, по-видимому, на  $100$ — $300$  К ниже земных. В ядрах Меркурия и Марса темп-ра, вероятно, ок.  $2500$ — $3000$  К.

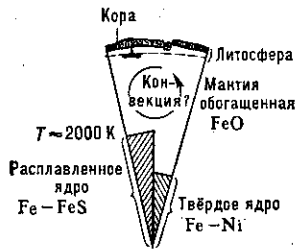


Рис. 1. Модель внутреннего строения Марса. Показаны два варианта ядра.

П л у т о н, по-видимому, имеет силикатное ядро и ледяную оболочку.

А с т е р о и д ы. О внутр. строении астероидов также известно мало. Метеоритные данные указывают на то, что вещество малых планет (по крайней мере многих из них) прошло через интенсивную ударную переработку, нагрев и дегазацию уже в ходе их образования. Существование каменных и железных метеоритов свидетельствует о том, что недра отд. астероидов были нагреты до темп-р плавления, обеспечивших возможность расслоения (дифференциации) первичного вещества на силикаты и железоникелевый сплав. Осн. особенностью внутр. строения малых планет являются сравнительно низкие темп-ры и давления, а также относительно большая толщина неконсолидиров. пород (реголита), образованного ударами др. тел. Не исключено, что астероиды, от к-рых поступает дифференциров. вещество, не расслоены на соответствующие оболочки, а содержат лишь отд. области, испытавшие высокотемпературный нагрев и местную дифференциацию вещества (модель «визюминки в тесте»).

П л а н е т ы - г и г а н т ы принято считать газо-жидкими телами с конвективными оболочками, в к-рых распределение темп-ры близко к адиабатическому. Это заключение основано на след. данных наблюдений. По данным ИК-наблюдений, поток тепла из недр планет оказался равным  $10^4$  эрг/см<sup>2</sup>·с (для Юпитера) и  $3 \cdot 10^3$  эрг/см<sup>2</sup>·с (для Сатурна). Поскольку такой поток более чем на 4 порядка превышает поток тепла за счёт молекулярной теплопроводности, то это указывает на конвективное состояние внеш. зоны или всей планеты. Юпитер, Сатурн, Уран и, возможно, Нептун обладают собств. магн. полем, к-рое, вероятно, генерируется в конвективном ядре. Эволюция орбит спутников Юпитера, Сатурна и Урана, измерения гравитац. поля Юпитера также указывают на жидкое, близкое к гидростатически равновесному, состояние планет.

Хим. состав планет-гигантов резко отличается от состава планет земной группы. Согласно теории происхождения Солнечной системы, в протопланетном облаке в области планет-гигантов темп-ры после остывания облака не превышали  $150$  К, а газовое давление  $10^{-5}$ — $10^{-7}$  бар (в зоне Юпитера и Сатурна) и  $10^{-7}$ — $10^{-8}$  бар (в зоне Урана и Нептуна). При таких условиях большинство элементов образуют гидриды и окислы. Вещества, из к-рых построены планеты-гиганты, принято разделять по летучести на газовую компоненту —  $H_2$ ,  $He$ ,  $Ne$ , «льды» —  $Li(CH_4, NH_3, H_2O)$  и тяжёлую компоненту —  $Tk(SiO_2, MgO, FeO, FeS, Fe, Ni, \dots)$ . Сведения о хим. составе недр планет-гигантов даёт расчёт моделей внутр. строения планет, удовлетворяющих

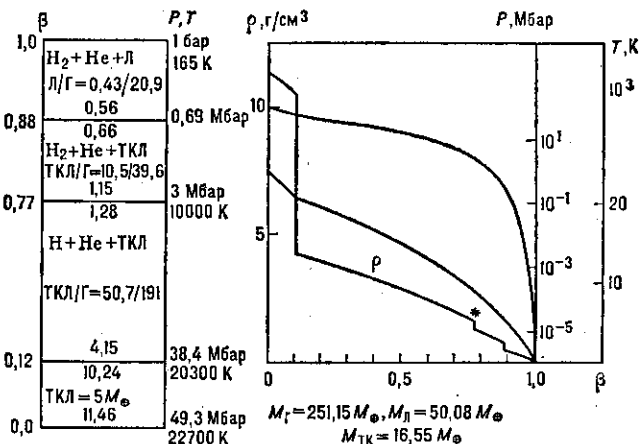


Рис. 2. Четырёхслойная модель Юпитера с двухслойной молекулярной оболочкой. Справа показано распределение давления P, температуры T и плотности ρ по относительному радиусу  $\beta = r/R_{Ю}$  ( $R_{Ю}$  — радиус Юпитера). Слева дан разрез модели с указанием значений плотности на границах раздела и отношения  $L(TKL)/\Gamma$  в оболочках. Полные значения масс  $\Gamma$ ,  $L$  и  $TKL$ -компонент выражены в массах Земли.