

## I. МАТЕРИЯ. ДВИЖЕНИЕ. ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ.

*Единство природы* (Иванов, 1986). 1. *Иерархия объектов в природе.* Слово «иерархия» в применении к рассматриваемому случаю отображает лестницу объектов, качественно отличающихся или характеризующихся степенью сложности. В окружающем нас мире можно подметить (а это стало возможным в результате многовекового изучения природы человеком) следующую иерархию объектов: элементарные частицы – ядра – атомы – молекулы – макротела (кристаллы, жидкости, газы, плазма) – планеты – звезды – галактики – Вселенная.

Человек обычно имеет дело с макротелами (приставка «макро» означает большой) и сам таковым является. Как исследователь, человек всегда, во все времена стремился познать природу в ее двух крайних проявлениях: в очень малом (микромир) и в очень большом (мегамир). Каждое звено цепи «макротела – молекулы – атомы – ядра – элементарные частицы» отражает исторические вехи в исследованиях, этапы познания. Заметим, что если попытаться проследить за этой цепочкой в обратном направлении от частиц к макротелам (считая свойства частиц известными, и определять по ним свойства совокупностей частиц, т. е. самих макротел), то задача окажется не из легких. Так, например, в физике до сих пор отсутствует последовательная макроскопическая теория жидкого состояния вещества, в геофизике и астрофизике – теория образования и жизни планет, звездных систем (галактик) и Вселенной в целом.

Итак, рассмотрим всю иерархию основных объектов природы и дадим краткую характеристику.

1.1. *Элементарные частицы.* На сегодня эти образования являются исходными, простейшими в смысле структуры. Однако это не означает, что их свойства просты. Для описания поведения элементарных частиц используются наиболее глубокие физические теории, представляющие собой синтез теории относительности и квантовой теории.

В настоящее время все взаимодействия элементарных частиц представляются как своеобразная «игра в мячики».

Мир короткоживущих элементарных частиц может быть искусственно создан человеком в экспериментах на ускорителях – приборах, представляющих собой грандиозные инженерно-физические сооружения.

В самой природе короткоживущие элементарные образования могут играть роль при самых экстремальных условиях существования вещества и поля, например: в «начальных» стадиях эволюции Вселенной, при образовании таких астрофизических объектов, как «черные дыры», в формировании сердцевины нейтронных звезд.

Объединение релятивистских и квантовых представлений, осуществленное в значительной степени еще в 30-е годы прошлого столетия, привело к одному из наиболее выдающихся предсказаний в физике – открытию мира *античастиц*. Частица и соответствующая античастица имеют одинаковые времена жизни, одинаковые массы, их электрические заряды равны, но противоположны по знаку. Самым характерным свойством пары частица – античастица является способность *аннигилировать* (самоуничтожаться) при встрече с превращением в частицы другого рода.

Несмотря на микроскопическую симметрию между частицами и античастицами, во Вселенной до сих пор не обнаружены области со сколько-нибудь заметным содержанием антивещества.

Заметим, что частицы и соответствующие им античастицы одинаково взаимодействуют с полем тяготения; это указывает на отсутствие «антигравитации».

1.2. *Ядра.* Атомные ядра представляют собой связанные системы протонов и нейтронов. Плотность числа частиц в многонуклонных ядрах порядка  $10^{44}$  нуклонов/м<sup>3</sup>, а плотность массы  $10^{17}$  кг/м<sup>3</sup>. «Радиусы ядер» изменяются от  $2 \cdot 10^{-15}$  м (ядро гелия) до  $7 \cdot 10^{-15}$  м (ядро урана). Ядро имеет «форму» вытянутого или сплюснутого эллипсоида (или еще более сложную).

1.3. *Атомы и молекулы.* Ядра имеют положительный электрический заряд и окружены роем отрицательно заряженных электронов. Такое электрически нейтральное образование называют *атомом*. *Атом есть наименьшая структурная единица химических элементов.*

Не всякие атомы способны соединяться друг с другом. Связь возможна в том случае, если совместный «верхний этаж» целиком заполнен электронами. Такое образование называют *молекулой*. *Молекула есть наименьшая структурная единица сложного химического соединения.* Число возможных комбинаций атомов, определяющих число химических соединений, составляет около  $10^6$ .

Некоторые атомы (например, углерода и водорода) способны образовывать сложные молекулярные цепи, являющиеся основой для образования еще более сложных структур (макромолекул), которые проявляют уже биологические свойства.

1.4. *Макротела.* При определенных условиях однотипные атомы или молекулы могут собираться в огромные совокупности – *макроскопические тела (вещество)*. Простое вещество является атомарным, сложное – молекулярным.

При достаточно низких температурах все тела являются *кристаллическими*. В кристаллах взаимное расположение атомов тела является правильным.

Тела могут сильно отличаться в отношении механических, тепловых, электрических, магнитных и оптических свойств. Зная атомную природу тел и зависимость указанных свойств от нее, можно целенаправленно создавать новые материалы.

Перейдем от кристаллического состояния вещества к *жидкому*. При значительном повышении температуры происходит *фазовый переход* кристалл – жидкость (*плавление*). В жидком состоянии атомы уже не являются строго локализованными, т. е. связанными с какими-то определенными положениями в теле. Тепловое движение в жидкости носит довольно сложный характер.

При переходе жидкости в пар (при атмосферном давлении) вещество практически полностью теряет свою индивидуальность. Это связано с малой плотностью газообразного вещества.

Дальнейшее весьма значительное повышение температуры (до  $10^4 - 10^5$  К) среды ведет к *ионизации* атомов, т. е. распаду их на ионы и свободные электроны. Такое состояние вещества называют *плазменным*.

Поскольку ионы и электроны в отличие от атомов несут не скомпенсированные электрические заряды, их взаимное влияние становится существенным. Плазма в противовес газам может проявлять коллективные свойства, что сближает ее с *конденсированным состоянием*, т. е. с твердыми телами и жидкостями. В плазме легко возбуждается всякого рода упруго-электрические колебания.

Приведем в качестве справки значения плотностей макротел в обычных условиях: в твердых телах и жидкостях она имеет порядок  $10^{28} - 10^{29}$  атомов/м<sup>3</sup>, в газах  $\sim 10^{25}$  молекул/м<sup>3</sup>, в искусственно создаваемой плазме плотность частиц  $\sim 10^{19}$  м<sup>-3</sup>.

1.5. *Планеты.* Следующей ступенью в иерархии объектов природы являются макротела астрономического масштаба – *планеты*. Изучение планет солнечной системы по существу только начинается. Что показали эти исследования? Во-первых, условия, в которых находится вещество планет, отличается от земных условий. Во-вторых, в составе вещества планет не обнаружено никаких новых химических элементов по сравнению с элементами на земле.

Внутреннее строение планет изучать особенно сложно. Даже о своем «собственном доме» – планете Земля – человек знает недостаточно. По оценкам, при среднем радиусе Земли  $R_3 = 6374$  км, массе  $M_3 = 5,977 \cdot 10^{27}$  г, средней плотности  $\bar{\rho} = 5,517$  г/см<sup>3</sup> внутреннее давление в центральных областях земного шара имеет порядок  $10^7$  атм. ( $10^{12}$  Па). Какие изменения испытывает вещество при таких давлениях?

Если при невысоких давлениях вещество отличается крайним разнообразием своих свойств и обнаруживает чрезвычайно резкую и немонотонную зависимость от химического состава, то при сжатии вещества проявляется ярко выраженная тенденция «сглаживания» его свойств. Это последнее обстоятельство легко понять. В самом деле, наружные электронные оболочки вещества, ответственные за отмеченную не монотонность, при давлениях порядка  $10^7 - 10^8$  атм. перестают существовать, ибо входящие в их состав электроны отрываются от атомов и становятся коллективными. Внутренние же электронные оболочки уплотняются, и распределение плотности электронов меняется сравнительно медленно при переходе от одного вещества к другому.

Давления порядка  $10^7$  атм. физики научились создавать в экспериментах по ударному сжатию тел. Исследования по физике высоких давлений привели к созданию целой группы новых материалов, среди них искусственные алмазы. Есть надежда на получение при давлениях порядка  $10^7$  атм. металлического водорода. Его свойства должны резко отличаться от обычных диэлектрических кристаллов молекулярного водорода, существующих при низких температурах и нормальном давлении. По оценкам физиков-теоретиков, кристаллы металлического водорода должны быть сверхпроводниками при комнатной температуре. Если это так, то мы станем свидетелями новой революции в электротехнике.

Одной из планет-гигантов солнечной системы является Юпитер, масса которого составляет  $M_{Ю} = 318 \cdot M_{З}$ . Он почти в 10 раз превосходит Землю по размерам и находится, по-видимому, в жидком состоянии. Его вещество богато водородом, и наверняка центральные области планеты состоят из металлического водорода.

*1.6. Звезды. Галактики. Вселенная.* Как ни странно, но физики гораздо лучше представляют себе состояние вещества внутренних областей звезд, чем планет. Центральные области Солнца, при его радиусе  $R_{С} = 7 \cdot 10^8$  м, массе около  $M_{С} \approx 3 \cdot 10^{33}$  г, характеризуются температурой порядка  $10^7$  К и давлением около  $10^{11}$  атм. В этих условиях вещество является полностью ионизованной плазмой: голые ядра и свободные электроны. При этом становятся возможными термоядерные реакции, окончательным итогом которых является слияние ядер водорода и превращение их в ядра гелия. Эта ядерная реакция служит источником энергии звезд. Следует отметить, что существует и другая точка зрения (Потапов, Фоминский, Потапов, 2000), отличная от общепринятой.

По мере потери энергии звезды уплотняются. Свободные электроны начинают как бы вдавливаться в ядра. Происходит захват электронов протонами с превращением последних в нейтроны, при этом одновременно испускается нейтрино. В результате такой реакции уменьшается заряд ядра (при неизменной его массе), что, вообще говоря, приводит к уменьшению энергии связи ядра. В конце концов, ядра, содержащие слишком много нейтронов, станут неустойчивыми и распадутся. Вещество звезды будет представлять собой сверхплотный нейтронный газ.

*Нейтронные звезды* имеют массу, сравнимую с массой Солнца, а размеры - в  $10^5$  раз меньше. Плотность нейтронной звезды сравнима с плотностью ядерного вещества, т. е.  $10^{17}$  кг/м<sup>3</sup>. Масса 1 см<sup>3</sup> вещества такой звезды составляет сотни миллионов тонн!

Галактики – это звездные системы. Число звезд в них порядка  $10^9 - 10^{12}$ . Если масса звезды порядка  $10^{30}$  кг (как у нашего Солнца), то масса Галактики порядка  $10^{41}$  кг.

Известная нам часть *Вселенной* содержит число таких галактик порядка  $10^{11}$ . Общее число протонов и нейтронов в известной нам части Вселенной порядка  $10^{80}$ .

Астрономические данные показывают, что галактики во Вселенной стремительно «разбегаются» друг от друга. Расширение Вселенной позволяет предположить, что когда-то в прошлом она занимала весьма малый объем. Это, в свою очередь, означает, что «дозвездное вещество» было сверхплотным и чрезвычайно горячим (температура порядка  $10^{13}$  К). При таких температурах вещество может состоять в основном из излучения – фотонов и нейтрино.

Общепринятая «горячая» модель Вселенной приводит к целому ряду следствий, которые могут быть проверены наблюдениями. Обнаружение так называемых *реликтовых фотонов*, являющихся остатками «дозвездного» состояния вещества, является неплохим доказательством справедливости наших представлений о самых ранних стадиях развития мира.

2. *Четыре вида фундаментальных взаимодействий. 2.1. Связанные системы объектов. Взаимодействия.* Как мы убедились выше, в природе существуют качественно различные системы объектов. Так, ядра есть связанные системы протонов и нейтронов; атомы – связанные ядра и электроны; макротела – совокупность атомов или молекул; солнечная система – «связка» планет и массивной звезды и т. д.

Наличие связанных систем объектов говорит о том, что должно существовать нечто такое, что скрепляет части системы в целое. Чтобы «разрушить» систему частично или полностью, нужно затратить энергию. Взаимное влияние частей системы характеризуется *энергией взаимодействия*, или просто *взаимодействием*.

В настоящее время принято считать, что любые взаимодействия каких угодно объектов могут быть сведены к ограниченному классу основных фундаментальных взаимодействий: сильному, электромагнитному, слабому и гравитационному.

2.2. *Гравитационные взаимодействия (тяготение).* Притяжение тел к земле, существование солнечной системы, звездных систем (галактик) обусловлено действием *сил тяготения* или, иначе, гравитационными взаимодействиями.

2.3. *Электромагнитные взаимодействия.* Ими обусловлены связи в атомах, молекулах и обычных макротелах.

2.4. *Сильные (ядерные) взаимодействия.* Наличие в ядрах одинаковых заряженных протонов и нейтральных частиц говорит о том, что должны существовать взаимодействия, которые гораздо интенсивнее электромагнитных, ибо иначе ядро не могло бы образоваться. Эти взаимодействия, их называют сильными, проявляются лишь в пределах ядра.

2.5. *Слабые взаимодействия.* Под влиянием «внутренних причин», нестабильные свободные частицы за те или иные характерные времена превращаются в другие частицы (распадаются). Существуют медленные распады с характерным временем  $10^{-10} - 10^{-6}$  сек; они происходят за счет так называемого *слабого взаимодействия*.

2.6. *Сравнительная оценка интенсивностей всех видов взаимодействий.* Если рассматривать только элементарные частицы, то интенсивность различных взаимодействий по отношению к сильным распределяется следующим образом: сильное  $\sim 1$ ; электромагнитное  $\sim 10^{-3}$ ; слабое  $\sim 10^{-14}$ ; гравитационное  $\sim 10^{-40}$ .

В вопросах строения и развития мира, как целого, роль гравитации становится определяющей. Исследование же конкретных астрофизических объектов (звезд, пульсаров, квазаров и др.) невозможно без привлечения всех фундаментальных взаимодействий.

2.7. *Поля и вещество.* Вся совокупность элементарных частиц с их взаимодействиями проявляет себя макроскопически в форме вещества и поля.

Поле в отличие от вещества обладает особыми свойствами. Физическая реальность электромагнитного поля видна хотя бы из того, что существуют радиоволны. Они имеют конечную скорость распространения; так, при локации Луны с помощью радиоволн время запаздывания радиоэха составило около 2,5 сек.

Источником электромагнитного поля являются движущиеся заряженные частицы. Взаимодействие зарядов происходит по схеме: частица – поле – частица. Поле является переносчиком взаимодействия. В некоторых условиях поле может «оторваться» от своих источников и свободно распространяться в пространстве. Такое поле носит волновой характер.

3. *Пространство и время. 3.1. Пространственная и временная шкалы в природе.* Явления и процессы, происходящие с взаимодействующими объектами, протекают в

пространстве и во времени. Пространство и время являются той своеобразной «ареной», на которой разыгрываются события. Если событие характеризовать местоположением и моментом времени, то существование пространственно-временных связей накладывает определенные ограничения на возможный ход событий.

Рассмотренной выше иерархии объектов и взаимодействий могут быть сопоставлены пространственные и временные характеристики. Так, верхняя грань для пространственной области, в которой действуют сильные и слабые взаимодействия, имеет размер порядка  $10^{-15}$  м; радиус действия электромагнитных и гравитационных взаимодействий неограничен, в связи с чем становится ясным, почему эти последние взаимодействия могут проявлять себя макроскопически.

Между взаимодействиями имеются существенные различия во временных характеристиках. Процессы, которые происходят под влиянием сильных взаимодействий, характеризуются временами порядка  $10^{-23}$  сек. Для процессов, связанных с электромагнитным взаимодействием частиц, характерны времена порядка  $10^{-15}$  сек. Наконец, для процессов, ход которых регулируют слабые взаимодействия, характерны времена  $\geq 10^{-8}$  сек.

Связанные системы протонов и нейтронов (ядра) характеризуются пространственной областью порядка  $10^{-15}$  м. Для электронов в атоме характерна пространственная область движения с размерами порядка  $10^{-10}$  м.

Еще раз приведем сравнительные данные о пространственно-временной шкале астрофизических объектов. Средний радиус Земли равен  $6,4 \cdot 10^6$  м, время ее существования  $4,6 \cdot 10^9$  лет. У Солнца радиус  $7 \cdot 10^8$  м, его возраст  $(5-10) \cdot 10^9$  лет. Для галактик характерны размеры  $\sim 10^{21}$  м, возраст вещества звезд составляет  $(5-10) \cdot 10^9$  лет. Что касается известной части Вселенной, то ее радиус  $\sim 10^{26}$  м, а возраст  $\sim 10^{10}$  лет.

*3.2. Однородность пространства и времени.* Пространство и время обладают определенными свойствами, что, несомненно, влияет на ход физических явлений. Важнейшим из этих свойств является так называемая *однородность*. *Однородность пространства* означает, что любая его точка физически равноценна, т. е. *перенос любого объекта в пространстве никак не влияет на процессы, происходящие с этим объектом*. Так, мы совершенно уверены, что свойства атомов у нас на Земле, в условиях Луны и на Солнце одни и те же.

*Однородность времени* нужно понимать как физическую неразличимость всех моментов времени для свободных объектов. Другими словами, *если объекты не взаимодействуют с окружением, то для них любой момент времени может быть принят за начальный*. Мы считаем, что изученные сегодня закономерности в поведении атомов были теми же самыми и многие миллионы лет тому назад.

Приведем еще ряд иллюстраций. Один и тот же физический эксперимент, поставленный в Москве и Нью-Йорке, дает одинаковые результаты – это есть ни что иное, как отражение эквивалентности различных точек пространства в условиях Земли. В свое время Архимед открыл законы плавания тел; в настоящее время каждый из нас их может легко воспроизвести, создав соответствующие условия наблюдения, т. е. все моменты времени в рассмотренной ситуации физически равнозначны.

Если бы кажущиеся столь очевидными свойства однородности пространства и времени отсутствовали, то было бы почти бессмысленно заниматься наукой. В самом деле, представьте себе, к чему бы вело отсутствие однородности пространства: законы физики в Москве были бы одни, в Туле – другие, в Воронеже – третьи. Отсутствие однородности времени вело бы к тому, что люди не могли бы прогрессировать в познании. Открытый вчера закон плавания тел – сегодня был бы уже несправедлив, и нужно было бы вновь вести исследование; завтра он, в свою очередь, будет снова несправедлив.

*3.3. Свободные тела и движение по инерции.* Наше пространство является «плоским» в том смысле, что оно удовлетворяет всем аксиомам геометрии Эвклида; это

является экспериментальным фактом. Как будут вести себя свободные тела в таком пространстве?

Прежде всего, *под свободным телом мы будем понимать тело, настолько удаленное от всех окружающих тел, что можно пренебречь его взаимодействием с ними.* Для такого свободного тела вследствие однородности пространства любые его местоположения никак не будут влиять на его состояние. Телу «безразлично», в какой точке пространства находиться, ибо «внешние условия» не меняются. Если учесть еще и однородность времени, т. е. физическую эквивалентность всех моментов времени для свободного тела, то мы приходим к любопытному обстоятельству: тело будет *двигаться, т. е. последовательно менять свои местоположения с течением времени.* Причем вследствие однородности пространства и времени движение будет *равномерным, т. е. за равные промежутки времени тело должно проходить равные расстояния,* оно будет к тому же и *прямолинейным,* ибо пространство «плоское». Такое движение свободных тел называют *движением по инерции.*

Следует иметь в виду, что свойства пространства-времени в масштабах всей Вселенной или вблизи тел огромных астрономических масс отклоняются от свойств обычной геометрии Эвклида; здесь пространство обладает своеобразной «кривизной». Движение по инерции в таком пространстве уже не прямолинейно и неравномерно.

Движение тел по инерции есть проявление своеобразной симметрии пространства и времени, их однородности.

*3.4. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности.* Для количественного изучения движения любых объектов необходимо иметь *систему отсчета.* Под системой отсчета разумеют систему координат и *часы,* связанные с телом отсчета.

В качестве системы координат мы будем обычно пользоваться *прямоугольной декартовой системой.* Говоря же о часах, мы имеем в виду не только изобретенный человеком механизм, но и любой периодический процесс, который осуществляется в природе. Так, в роли часов могут выступить: вращение Земли вокруг собственной оси, движение Земли по околосолнечной орбите, периодическое движение атомных электронов (атомные часы) и т. д.

Если связывать систему координат и часы с произвольно движущимся телом, то относительно такой системы отсчета изучаемые физические явления даже в простейших случаях могут выглядеть весьма сложно. Особенная простота при количественном описании явлений выступает, если в качестве тела отсчета брать свободно движущиеся тела. Такие системы отсчета называют *инерциальными.*

В инерциальных системах отсчета всякие свободно движущиеся объекты движутся равномерно и прямолинейно. Инерциальных систем отсчета можно выбрать сколько угодно, и все они будут относительно друг друга двигаться по инерции.

Нет критерия, благодаря которому мы могли бы предпочесть одну инерциальную систему отсчета другой, также инерциальной. Все инерциальные системы отсчета являются физически эквивалентными, и опыт это подтверждает.

Какое бы физическое явление ни рассматривалось, с точки зрения любых инерциальных систем отсчета оно выглядит совершенно одинаковым. Это означает, что *математическая формулировка законов природы должна быть таковой, чтобы она не менялась при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой.* Это положение в физике именуют *принципом относительности.*

Из-за существования принципа относительности физические законы обладают особым совершенством, связанным с их симметрией по отношению к выбору инерциальных систем отсчета. Требования указанной симметрии играют немаловажную эвристическую роль при поисках количественных соотношений, описывающих явления в новой области исследований.

***Вселенная, Галактика, Солнечная система, планеты – основные гипотезы происхождения и эволюции.*** Чтобы надлежащим образом осветить происхождение Земли, рассмотрим место, которое занимает Земля в истории Вселенной. Среднее расстояние Земли от Солнца равно  $149,6 \cdot 10^6$  км, а средняя скорость ее движения по орбите – 29,8 км/сек.

Солнце с его планетной системой находится во внешней части Галактики – дискообразного скопления звезд и межзвездных пыли и газа, видимых нами как Млечный путь. Солнце удалено от центра Галактики на 27 тыс. световых лет (1 световой год =  $10^{13}$  км) и вращается вокруг него со скоростью 230 – 250 км/сек. Полный оборот длится 220 млн. лет (см. рис. 1.3, с. 22). Наша Галактика образует только малую часть Вселенной. Существует множество других галактик, которые, как показывают наблюдения, удалены от нас на расстояния до 12 млрд. световых лет. Дошедший до нас свет от самых удаленных галактик начал свой путь раньше, чем начала образовываться солнечная система!

Линии в спектрах далеких галактик смещены к красному концу спектра. Это явление интерпретируется как доплеровское смещение, возникшее при движении источника света от наблюдателя со скоростью, пропорциональной расстоянию. Отсюда возникла гипотеза о расширении Вселенной. Экстраполяция во времени назад позволяет установить, что расширение Вселенной началось свыше 10 млрд. лет назад (согласно гипотезе Дикке, в ней могут сменяться циклы расширения и сжатия). Дальнейшим подтверждением гипотезы происшедшего 10 млрд. лет назад «большого взрыва» является открытие радиоастрономов, обнаруживших микроволновое «реликтовое» радиоизлучение – «потомок» того излучения, которое возникло сразу после этого события.

Распространенность изотопов урана, тория и продуктов их распада в космосе, установленная по результатам химического анализа метеоритов, дает основание предполагать, что Галактика образовалась, по крайней мере, за 5 млрд. лет до формирования солнечной системы. Согласно одной из гипотез, Галактика образовалась в результате гравитационного коллапса турбулентного газового облака, возможно, вскоре после начального «большого взрыва».

Астрономы полагают, что звезды, подобные Солнцу, образуются в Галактике и в настоящее время. Они формируются из газо-пылевых межзвездных облаков, когда плотность последних становится достаточной для того, чтобы облака оказались гравитационно-неустойчивыми. Межзвездное вещество состоит частично из водорода и гелия, существующих со времени образования Галактики, и частично из гелия и более тяжелых элементов, синтезированных в ходе ядерных процессов внутри звезд или же при более интенсивных процессах типа взрывов сверхновых. Сжатие под действием сил взаимного притяжения сначала создает скопление протозвезд, которые позднее сами уплотняются и становятся молодыми звездами. Освобождающаяся при этом гравитационная энергия нагревает звезду, и звезда начинает излучать и светиться. В конечном счете, внутренняя температура становится достаточно высокой для начала ядерных реакций, звезда перестает сжиматься и занимает свое место на «главной последовательности». Солнце является довольно типичной звездой главной последовательности; она прошла стадию сжатия из межзвездного вещества свыше 4500 млн. лет назад.

Если современные представления справедливы, то планеты и их спутники образовались одновременно с Солнцем при конденсации газо-пылевого солнечного облака. По существу эта теория – модернизированный вариант взглядов Декарта и Канта, которые не привлекали внимания в первой половине XX столетия. Соперничающая с ними группа гипотез связывает образование планет с катастрофическим явлением, например, с приближением к Солнцу другой звезды или со взрывом близкой сверхновой. Предполагается, что эти события привели к вытягиванию из Солнца газовой струи, впоследствии сконденсировавшейся в планеты.

Каждая из существующих гипотез имеет свои нерешенные вопросы. Но гипотезы катастрофического происхождения солнечной системы оказываются перед лицом совершенно непреодолимых трудностей. Одна из них заключается в том, что газовая струя, достаточно протяженная и горячая, чтобы из нее могли образоваться планеты, рассеялась бы в пространстве приблизительно в течение часа, еще задолго до того, как охладилась бы настолько, чтобы могла начаться конденсация. Все, что могут сделать «катастрофические» гипотезы, - это признать существование солнечного облака, а такое облако в любом случае является начальной стадией гипотезы конденсации, или небулярной гипотезы. Поэтому небулярная гипотеза вновь привлекла внимание. Она хорошо согласуется с современными взглядами на образование звезд и может объяснить многие закономерности строения солнечной системы. Однако остаются еще неясности, связанные с распределением момента количества движения, с химическим несоответствием между планетами-гигантами и планетами земной группы, а также с механизмом конденсации. Но, по крайней мере, мы видим возможные пути решения этих проблем.

Достаточно распространенной в настоящее время является «холодная» модель образования планет солнечной системы О.Ю. Шмидта, в основе которой заложены представления о слипании под действием сил гравитации холодных частиц – планетезималей – планетных зародышей (Шмидт, 1957). В последние два десятилетия была разработана в известном смысле «противоположная» горячая модель образования Земли (Кузнецов, 2000), в основе которой заложены представления о первоначально разогретой до  $3 \cdot 10^4$  К материи.

Обратимся к некоторым явлениям в солнечной системе, требующим объяснения. Прежде всего, сюда относится единообразное вращение и распределение момента количества движения. Все планеты, за исключением Плутона, обращаются по почти круговым орбитам, плоскости их орбит почти совпадают, и планеты обращаются вокруг Солнца в том же направлении, в каком вращается само Солнце (табл. 1.1, рис. 1.1).

Большая часть спутников движется по орбитам в экваториальных плоскостях своих планет и в направлении вращения планет. Правда, известны исключения, происхождение которых можно объяснить либо захватом, либо приливным трением. Средние расстояния планет от Солнца приблизительно подчиняются модифицированному закону Тициуса – Боде (см. рис. 1.9, с. 34; (1.1), с. 36). Физическая сущность этого закона еще не выяснена.

Распределение момента количества движения в солнечной системе представляет трудности для всех теорий. Планеты обладают 98% общего момента количества движения системы; само Солнце медленно вращается с периодом 24,65 суток. (Солнце вращается не как твердое тело; указанный период относится к экваториальным областям Солнца.) С другой стороны, основная масса (99,9%) системы сосредоточена в Солнце. Задача заключается в том, чтобы объяснить, каким образом передается момент количества движения от центрального тела к внешним частям системы.

Возникшие здесь трудности и послужили причиной того, что в начале XX века была отвергнута небулярная гипотеза Канта, поскольку момент количества движения сжимающегося диска, состоящего из вращающихся частиц пыли и газа, должен оставаться прочно «привязанным» к основной массе, из которой сконденсировалось само Солнце. «Катастрофические» гипотезы пытались обойти это затруднение, но в действительности им не удалось сделать это сколько-нибудь удовлетворительно. Сейчас, когда возродилась небулярная гипотеза, установлено, что взаимодействие между магнитным полем Солнца и ионизованным облаком или же эффекты турбулентности в облаке могли бы привести к передаче момента во внешние части сжимающегося газо-пылевого облака.

По мнению В.В. Орленка (Орленок, 2000) наблюдаемое распределение момента количества движения в солнечной системе можно объяснить в рамках вихревой модели Н.А. Шило (Шило, 1982; Латкин, 2004).

**Таблица 1.1** Орбиты и плотности планет (Стейси, 1972)

Планеты	Отношение радиуса орбиты планеты $R_n$ к радиусу орбиты Земли	$\frac{R_n}{R_{n-1}}$	Отношение массы планеты к массе Земли	Отношение радиуса планеты к радиусу Земли	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Расчетная плотность при нулевом давлении
1. Меркурий	0,387	-	0,055(3)	0,3820	5,47	5,3
2. Венера	0,723	1,86	0,815(5)	0,9506	5,24	3,9
3. Земля	1,000	1,38	1,000	1,000	5,517	4,04
Луна			0,0123	0,273	3,33	3,3
Земля+Луна			1,0123		5,44	3,96
4. Марс	1,524	1,52	0,107	0,530	4,0	3,8
5. Астероиды	~2,7	1,77	-	-	3,9	3,9 <sup>*)</sup>
6. Юпитер	5,203	1,92	317,9	10,97	1,35	В основном газобразны
7. Сатурн	9,539	1,83	95,1	9,03	0,71	
8. Уран	19,18	2,00	14,6	3,72	1,56	
9. Нептун	30,06	1,56	16(1)	3,8(3)	1,58	
10. Плутон	40	-	0,09?	0,5	4?	

*Примечание: Цифры в скобках неуверенные. \*) Среднее значение для всей массы выпавших метеоритов.*

В теориях происхождения солнечной системы химические данные обычно игнорировались (Орленок, 2000). Различные тела солнечной системы образованы, в основном, тремя группами химических элементов:

Группа I: H, He (около 90% массы Солнца),

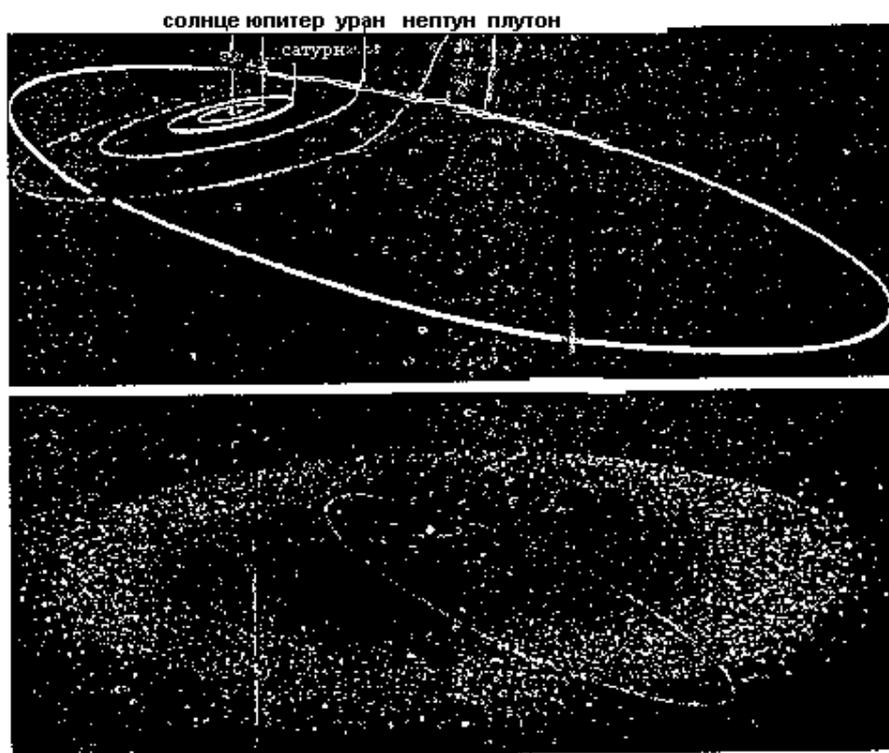
Группа II: C, N, O, (около 1,5% массы Солнца),

Группа III: Mg, Fe, Si (около 0,25% массы Солнца).

Планеты земной группы: Меркурий, Венера, Земля, Марс и астероиды – обладают значительной плотностью и состоят преимущественно из Mg, Fe и Si. Юпитер и Сатурн крупнее планет земной группы, их плотность существенно меньше, и поэтому они должны состоять главным образом из H и He. Возможно, их общий состав мало отличается от состава Солнца или первичной околосолнечной туманности. Состав Урана и Нептуна, плотности которых имеют промежуточные значения, в основном определяется твердыми соединениями II группы элементов: метаном, аммиаком и льдом. Во время формирования планет внутри солнечного облака должна была происходить сильная химическая дифференциация. Менее летучие элементы III группы должны были выделяться из облака в окрестностях планет земной группы, когда облако вытягивалось под действием магнитных или иных сил. Тогда же водород и гелий, составляющие свыше 90% всей первоначальной массы облака, интенсивно улетучивались в окружающее пространство в окрестностях Урана и Нептуна. Механизм этого «выдувания» не ясен.

Анализ содержания некоторых изотопов в метеоритах позволил оценить возраст Галактики. Верхний предел величины интервала времени от завершения синтеза тяжелых

элементов (или взрыва сверхновой?) до образования родительских метеоритных тел оценивается в 200 млн. лет. Отсюда можно заключить, что взрыв сверхновой мог произойти вблизи будущего солнечного облака менее чем за 200 млн. лет до образования солнечной системы. Взрыв мог также сыграть роль спускового механизма для начала конденсации в облаке.



**Рис.1.1.** Схема взаимного расположения окружающих Солнце планетной системы (планеты земной группы, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун) и кометного облака Кейпера (нижний рисунок). Видно особое положение Плутона, периодически вторгающегося в планетную систему из кометного облака (Маракушев, Моисеенко, Тарарин, 2000).

В заключение подытожим те стадии, через которые, возможно, прошла солнечная система. Первые пять стадий могли совпадать во времени.

1. Вращающееся Солнце сжималось, и поэтому его угловая скорость постепенно увеличивалась. При этом вращающийся газопылевой диск вытягивался в экваториальной плоскости. Возможно, околосолнечное облако образовалось после того, как вещество было выброшено с солнечного экватора, когда центробежная сила превысила силы тяготения (как впервые предположил Лаплас), или же облако могло образоваться в результате иных процессов.

2. Момент количества движения был передан от Солнца к облаку; вращение Солнца замедлилось, и облако расширилось, охватив местоположение будущих планет. Этот процесс мог произойти в результате взаимодействия магнитного поля Солнца (порядка 1 Гс) с ионизованной частью облака или же вследствие турбулентной конвекции в облаке.

3. С переносом наружу момента количества движения связана потеря энергии вращения, что могло произойти вследствие излучения облаком частиц высокой энергии при внезапных возмущениях магнитного поля. При этом могли образоваться легкие элементы, например, литий, и некоторые короткоживущие, радиоактивные изотопы, скажем  $Al^{26}$ .

4. При интенсивном истечении первичных водорода и гелия в окружающее пространство в районе расположения внешних планет в газо-пылевом облаке началась

химическая дифференциация; при конденсации в области образования будущих планет земной группы выделились кремний, железо и магний.

5. По мере охлаждения околосолнечное облако конденсировалось в пылинки и более крупные частицы, двигавшиеся по эллиптическим орбитам вокруг Солнца в его поле тяготения.

6. Частицы с близкими орбитами сталкивались и слипались, постепенно вырастая до размеров достаточно крупных тел. Однако механизм, заставивший частицы объединяться на ранней стадии аккреции, остается неясным. Когда тела достигли размеров 1 км и больше, процесс столкновений и слипания усилился за счет тяготения. В конечном счете, образовались тела с размерами планет, их спутников и астероидов. Большая часть составлявших первичное облако газа и пыли заключена в этих телах или же рассеялась в пространстве.

7. В процессе аккреции момент количества движения передавался от облака к новообразованным планетам и их спутникам. Механизм передачи остается пока невыясненным.

8. На начальных стадиях аккреции малые тела, возможно, сильно разогревались из-за распада короткоживущих изотопов, в частности  $Al^{26}$ . Эти изотопы могли появиться в результате облучения газо-пылевого облака частицами высокой энергии. Разогрев мог вызвать разделение железо-никелевой и силикатной фаз и другие тепловые процессы в родительских телах метеоритов. Позднее некоторые из этих тел разрушились и образовали метеориты.

9. Процесс образования солнечной системы в основном закончился около 4500 млн. лет назад, и с тех пор общая структура системы не претерпела существенных изменений. За это время могли произойти захваты планетами спутников (например, Луна могла быть захвачена Землей), а скорость вращения планет, особенно Меркурия, Венеры и Земли, могла замедлиться под воздействием приливного трения.

*Основы «холодной» модели происхождения солнечной системы (Сафронов, Витязев, 1983).* С давних времен в космогонии солнечной системы происходило противоборство идей по двум главным направлениям. Во-первых, образовались ли Солнце и планеты в едином процессе или независимо. Во-вторых, образовались ли планеты из газовых сгустков или из твердого вещества («небулярные» и «метеоритные» гипотезы). Классические гипотезы Канта и Лапласа о совместном образовании Солнца и планет из рассеянного вещества единой туманности господствовали полтора столетия, затем были надолго оставлены. В 40-х годах идея совместного образования послужила основой для небулярных моделей Берлаге, Вейцеккера, Кейпера, Фесенкова, но всерьез возродилась лишь в 60-х годах Хойлом, Камероном, Шацманом. Гипотезы о раздельном образовании Солнца и планет можно подразделить на две основные группы — гипотезы об образовании планет из вещества, тем или иным образом выделившегося из уже существовавшего Солнца (Бюффон, Мультион и Чемберлин, Джине, Станюкович и др.), и гипотезы захвата Солнцем диффузной межзвездной среды (Альвен, Шмидт, Литтлтон и др.).

Образование планет из газовых сгустков (протяженных массивных протопланет) предполагается в гипотезах Лапласа, Джинса, Кейпера, Фесенкова, Камерона, а образование из твердого вещества — в гипотезах Лигондеса, Мультиона-Чемберлина, Шмидта, Альвена-Аррениуса, Эджворта и др.

Впервые систематическая разработка теории образования планет из твердых частиц околосолнечного допланетного облака была начата О. Ю. Шмидтом в 1944 году (Шмидт, 1957). О. Ю. Шмидт определил планетную космогонию как комплексную астрономо-геолого-геофизическую проблему, опирающуюся не только на астрономические данные, но и на многочисленные данные наук о Земле. Он подчеркивал, что процесс формирования планет в допланетном облаке относительно независим от процесса

образования самого облака вокруг Солнца. Основные этапы процесса аккумуляции планет были подробно исследованы его коллегами и учениками (Гуревичем и Лебединским, Левиным, Сафроновым, Витязевым и др.). В 70—80-е годы теория аккумуляции планет из твердых тел и частиц получила дальнейшее развитие. Она разрабатывается учеными ряда стран и пользуется широким признанием.

Классическая космогония ставила перед собой задачу объяснить следующие группы фактов:

*А* - Орбиты планет почти круговые, лежат в одной плоскости и их обращение (у большинства из них и вращение) происходит в одном направлении с вращением Солнца (рис. 1.1).

*В* - Планеты распределены явно не случайным образом, в их расстояниях от Солнца есть закономерность, описываемая известным правилом Тициуса-Боде (см. далее: рис. 1.9; соотношение (1.1)).

*С* - Разделение планет на две резко различающиеся группы: внутренние планеты - Меркурий, Венера, Земля и Марс - сравнительно небольшие, но с большей плотностью, более медленным вращением, с малым числом спутников (или без них) и внешние планеты - Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун - большие по размерам, меньшей плотности, с большей скоростью вращения и многочисленными спутниками (табл. 1.1).

*Д* - Распределение момента количества движения: в то время как в Солнце сосредоточено более 99% всей массы солнечной системы, на него приходится менее 2% момента количества движения, остальные 98% принадлежат планетам (см. далее: табл. 1.2; 1.3).

Важным методологическим шагом было предложенное О.Ю. Шмидтом деление проблемы происхождения солнечной системы на три части, разработка которых могла производиться в некоторой степени независимо. С незначительными изменениями эти три задачи можно сформулировать следующим образом: первая - объяснение происхождения Солнца и способа формирования допланетного облака, вторая (центральная задача планетной космогонии) - разработка теории образования планет в ходе эволюции допланетного облака и третья - установление геофизических, геохимических и геологических следствий теории образования планет. Такое деление позволило О.Ю. Шмидту и его последователям приступить к решению центральной задачи и к объяснению круга проблем *А*, *В* и *С*. Позднее, в рамках этого же подхода, был совершен переход к следующей по сложности группе задач определения начального состояния планет, состава и структуры их недр к моменту завершения процесса аккумуляции.

В настоящее время объяснение групп фактов *А*, *В*, *С* и *Д* является необходимым, но далеко не достаточным критерием правильности той или иной динамической модели. Требуется дополнительно объяснить обширную группу космохимических фактов:

*Е* - Вариации химического состава планет и спутников, существование разных типов метеоритов и астероидов, комет, изотопные данные.

Объяснение совокупности данных по астероидам и метеоритам, кометам и межпланетной пыли, составу поверхностей и атмосфер планет является столь же важным для предлагаемых моделей, как и объяснение групп *А*, *В*, *С* и *Д*. В качестве конкретного примера укажем на необходимость сопоставления и согласования временных шкал и последовательности отдельных стадий по изотопным данным и динамическим оценкам. Так, данные по возрастам метеоритов говорят о длительной ( $10^7$ — $10^8$  лет) столкновительной эволюции планетезималей в ходе их аккумуляции в планеты и являются веским подтверждением динамической оценки шкалы времени образования планет  $\sim 10^8$  лет.

Грандиозный прогресс в технических возможностях астрономии, достигнутый на рубеже XX-XXI веков, позволил с 1995 г. начать серию открытий планет у ближайших звезд. К началу XXI века были открыты уже около 50 планетных систем. Кроме того, обнаружены газо-пылевые диски возле молодых звезд (например, у звезды  $\beta$ -Живовисца),

характеристики которых неплохо согласуются с построенной О.Ю.Шмидтом и его последователями теории образования планетных систем. Тем самым, находит подтверждение на практике и теория образования солнечной системы (Леви и др., 2002).

**Модель горячей Земли.** В течение последних двух десятилетий была разработана совершенно новая, во многом отличающаяся от общепринятых в настоящее время модель «горячего» происхождения Земли и всей Солнечной системы. Эта модель не является бесспорной, но она является обобщением большого экспериментального материала, а потому будоражит воображение и вызывает к дискуссии. Вне всякого сомнения, модель горячей Земли имеет право на существование. К некоторым моментам этой модели, изложенной в книге (Кузнецов, 2000), мы будем обращаться по ходу нашей книги. Здесь же приведем из этой книги Введение (почти без сокращений), в котором перечислены многие из основных трудностей, в настоящий момент стоящих перед «Физикой Земли».

«Науки о “Земле” и “Космосе”, об их устройстве и взаимосвязи относятся к разряду самых древних. Однако и в наши дни физика Земли, астрономия и астрофизика не дают однозначного ответа на многие вопросы, касающиеся образования, эволюции и внутреннего строения звезд, планет и спутников... Благодаря успехам астрономии в настоящее время с достаточно высокой точностью определены размеры, масса, моменты и средняя плотность планет и спутников, скорость их вращения вокруг Солнца и собственной оси. Однако даже такая деталь, как различие в средней плотности между планетами, не находит правдоподобного объяснения. Более 200 лет тому назад обнаружено, что орбиты планет, а точнее, большие полуоси орбит, подчиняются закону (правилу) Тициуса-Боде. Позже выяснилось, что этому же правилу подчиняется расположение орбит спутников Юпитера, Сатурна и Урана. Этот факт, казалось бы, свидетельствует, что Солнце, планеты и их спутники образовались в результате действия какого-то одного механизма. Однако и здесь, несмотря на широкую известность этого факта, он так и остался необъясненным.

Известно, что в течение всей истории Земли на ней происходили тектонические процессы: вулканизм, землетрясения, образование гор и впадин, движение материков и т.д. Однако до сих пор нет ясного представления о внутреннем источнике энергии Земли. Известно, что поверхность Земли пронизывает идущий изнутри тепловой поток, величина которого примерно постоянна по всей поверхности и приближенно одинакова на материках и океанах. Считается, что тепловой поток обязан своим происхождением радиогенному источнику, однако последние исследования по радиоактивности глубинных пород ставят под сомнение и эту гипотезу.

Земля обладает магнитным полем, причем выяснилось, что самые древние породы, обнаруженные на Земле и содержащие магнетит, показывают, что магнитное поле уже присутствовало на Земле, по крайней мере, 4 млрд. лет назад. Дипольное магнитное поле обнаружено почти на всех планетах Солнечной системы. Там же, где нет поля дипольного, т.е. генерируемого в момент наблюдения, обнаружены его следы в т.н. “каменной летописи”. Поразительным фактом, обнаруженным в самое последнее время благодаря успехам в освоении космического пространства, оказывается то, что дипольное магнитное поле было раньше не только на Марсе, не только на Луне, но и на спутниках Юпитера: Ио, Ганимеде, Калисто. Эта загадка не имеет решения в рамках существующих представлений о Земле и планетах.

Развитие изотопных методов позволило оценить время образования Земли, Луны и Солнца. Оказалось, что Солнце, Земля, другие планеты и их спутники образовались одновременно, или - 4.5 млрд. лет назад.

Модель холодной Земли (Шмидт, 1957) общепринята и не подвергается сомнению. Остановимся на сути этой модели: Земля образовывалась путем «склеивания» холодных частиц (планетезималей) в течение 100 млн. лет, иначе тепло, выделяемое при этом процессе, не будет успевать отводиться за счет радиационного охлаждения, и мы

приходим к горячей модели. Рассматривается два сценария образования Земли: согласно первому, сначала образовалось железное ядро, а затем на него стали «падать» силикаты, формируя мантию. Согласно второму, - Земля была «склеена» из силикатов и железа, потом произошла дифференциация и выделилось жидкое ядро, центральная часть которого кристаллизовалась (?). В каждом из сценариев, внешнее ядро Земли железное, расплавленное. В нем возникает конвекция, причем такого вида, что хорошо проводящая жидкость (железо) захватывает (вмораживает) силовую линию магнитного поля из окружающего Землю космоса и за счет эффекта гидромагнитного динамо происходит усиление и преобразование этого «затравочного» поля в геомагнитное. Дрейф материков обязан крупномасштабной конвекции, причина которой так и не выяснена, нет ни одного доказательства наличия такой конвекции на Земле. Тепловой поток, по модели, обязан наличию радиоактивных элементов и т.п.

подавляющее большинство геологов, интересующихся проблемами внутреннего устройства Земли, не сомневаются в том, что ядро Земли железное, а внутреннее тепло обязано радиоактивному распаду, иначе говоря, не сомневаются в том, что она «холодная». Тем не менее, анализируя геологический материал, реконструируя земной ландшафт по «остаткам» гор и вулканов, изучая палеомагнитные «записи» и химический состав пузырьков газа и воды, сохранившихся с давних времен в твердых породах, многие приходят к выводу, что Земля на ранних этапах своей эволюции была совсем не такой как сейчас.

Обратимся к статье известного русского геолога академика А. Л. Яншина, посвященной эволюции геофизических полей в истории Земли, и процитируем некоторые его высказывания, приведенные на страницах 82-87 книги (Яншин, 1993):

1. «... на протяжении первых трех миллиардов лет истории Земли высокие горы на её поверхности не существовали»;

2. «... 2.2 млрд. лет, температура морской воды была определена в интервале от 50 до 60 °С»;

3. «... в раннем докембрии существовало более близкое к поверхности Земли положение более горячей, чем сейчас, астеносферы»;

4. «... приливные волны в литосфере, ... были, вероятно, основным динамическим фактором тектонических процессов на протяжении всего раннего архея, т.е. во времена, отстоящие от наших дней более чем на 3 млрд. лет»;

5. «... 1.8 млрд. лет тому назад скорость вращения Земли была в 2 раза больше современной ...»;

6. «... изучение напряженности магнитного поля Земли по палеомагнитным данным показывает, что оно не оставалось в истории Земли постоянным, в целом поле в более давние времена значительно возрастало».

Предположим, что все сказанное о раннем периоде эволюции Земли, верно. Вообще-то, у нас нет оснований сомневаться в том, о чем пишет Яншин, так как он приводит геологические аргументы (опущенные нами здесь), подтверждающие каждую из приведенных здесь цитат. В таком случае, каким образом все перечисленные нами факты (с первого по шестой) можно «загнуть» в «прокрустово ложе» общепринятой научным сообществом модели «холодной» Земли? Ведь согласно этой модели, на Земле практически «всегда было так, как сейчас».

«Переведем» сказанное Яншиным на язык физики Земли и представим, какие же геофизические параметры и каким образом могли изменяться в течение времени её эволюции:

- 1) уменьшалась величина силы тяжести (например, за счет возрастания радиуса Земли);
- 2) земная поверхность остывала (Земля раньше была «горячее»);
- 3) температурный градиент раньше был выше (Земля горячее, а радиус меньше);

4) отсутствовала причина, вызывающая активную тектонику (если причина активной тектоники связана с расширением Земли, а Земля 3 млрд. лет назад еще не начала интенсивно расширяться);

5) одна из причин - радиус Земли был меньше;

б) одна из возможных причин - меньшая величина земного радиуса.

Возможно, наша интерпретация и комментарии относительно высказываний академика А.Л. Яншина несколько предвзяты и не совсем объективны. Причина такого отношения станет очевидной после прочтения этой книги и ознакомления с сутью модели горячей Земли. Ведь, по сути, наша модель - модель расширяющейся Земли. Когда я много лет тому назад спросил А. Л. Яншина, как он относится к модели расширяющейся Земли, он ответил, что это абсолютно бредовая идея. Своё отношение к идее расширения Земли Яншин аргументировал тем, что “мы же видим, что Земля не расширяется сейчас, значит, она не расширялась и раньше”. Я не нашел сразу, что ответить академику, но, подумав, нашел такой, как мне сейчас кажется, убедительный ответ: Если в течение последних 30 - 40 лет регулярно измерять мой рост (но не вес!), то можно прийти к выводу, что я таким и родился. (Справедливости ради отметим, что 100 лет инструментального наблюдения за радиусом Земли эквивалентно примерно одной минуте жизни человека). Так же и с Землей: то, что она сейчас скорее сжимается (чем расширяется), вовсе не означает, что за миллиарды лет Земля преимущественно не расширялась. Кроме этого, научным сообществом не делалось даже попыток инструментально оценить, изменяется ли во времени радиус Земли, или он постоянен. Надо заметить, что все современные геодинамические проекты, связанные с перемещением материков и плит, исходят из постулата о неизменности величины земного радиуса. Правда, это нигде специально не оговаривается и считается само собой разумеющимся.

Приведенный нами выше пример демонстрирует, что у геологов, убежденных в правомерности модели холодной Земли, возникают и со временем накапливаются факты, которые, в принципе, находятся с ней в противоречии. Как правило, эти факты замалчиваются при написании монографий по физике Земли. Трудно назвать книги по физике Земли, издаваемые за рубежом и в России, в которых излагались бы идеи, противоречащие принятым догмам холодной модели. Одной из таких книг, оказавших на меня очень сильное впечатление, была книга австралийского геолога С. Кери (Cagey, 1976) о геологии расширяющейся Земли. Конечно, её нельзя считать книгой по физике Земли, но это, вероятно, одна из лучших книг, в которой автор убедительно показывает, что наша планета расширялась! Буквально все монографии по физике Земли “переписывают” друг у друга: планетезимали, как строительный материал для планеты, выделение железного ядра при дифференциации, генерацию магнитного поля за счет динамо-эффекта, конвекцию в мантии как движитель плит, радиогенный разогрев как источник теплового потока и т.п. Если внимательно не “присматриваться” к этой модели, то можно посчитать, что она самосогласованна и не имеет внутренних противоречий.

Если допустить, что планеты и спутники, как и Солнце, создавались по другому, “горячему сценарию”, то оказывается, что практически ничего не удастся использовать из прежних “наработок” физики холодной Земли. Всю физику горячей Земли придется создавать “заново”. Холодная модель интенсивно создавалась усилиями многих физиков многих стран не менее 50 лет. Модель горячей Земли в этом плане естественно уступает по глубине и тщательности проработки многих вопросов.

Сформулируем основные моменты концепции горячей Земли. Будем руководствоваться основными требованиями к новой теории, претендующей на то, что она более адекватна Природе, чем существующая. И, хотя нашу модель еще рано рассматривать как теорию Земли и Солнечной системы, тем не менее, постараемся учесть требования, характерные для любой теории, претендующей на признание научного сообщества:

Во-первых, теория не должна приводить к резко противоречащим друг другу выводам, то есть, теория должна быть самосогласованной.

Во-вторых, теория должна объяснять бесспорные результаты экспериментов и наблюдений.

В-третьих, фундамент, заложенный в теорию, должен давать ей возможность оценивать любые конкретные ситуации и анализировать результаты любого нового эксперимента.

В-четвертых, теория должна быть согласована со всеми физическими законами.

В-пятых, теория должна давать возможность предсказывать события и результаты планируемых экспериментов и наблюдений.

Основная, базовая идея, заложенная в модели горячей Земли, состоит в том, что Солнце, планеты и их спутники образовались в едином достаточно быстром (порядка 1 млн. лет) самоорганизующемся процессе самогравитации протосолнечного «облака», произошедшем 4.5 млрд. лет назад. Этот процесс во времени и пространстве можно условно разделить на две составляющие: 1) формирование в протосолнечном «облаке» сгустков вещества, из которого впоследствии сформировались планеты, и 2) бифуркации, произошедшей в области пояса Астероидов в тот момент, когда Солнце ещё полностью не сформировалось и его радиус был больше современного примерно в 7 раз. Бифуркация разделила вещество протосолнечного «облака» на две части: из одной сформировались планеты гиганты, вторая «пошла» на формирование Солнца и планет земного типа. Особенности внутреннего строения и эволюция планет и спутников определялись одним параметром – величиной их массы  $M$ . Температура  $T$  вещества планеты в момент их образования была пропорциональна:  $T \sim M^{2/3}$ .

Планеты и спутники (по величине их массы) можно условно разбить на три класса: 1)  $GM/R < U_1$ ; 2)  $U_1 < GM/R < U_2$ ; 3)  $GM/R > U_2$ .  $U_1$ ,  $U_2$  – удельные теплоты плавления и испарения, соответственно,  $G$  – гравитационная постоянная. К первому классу отнесём малые спутники и астероиды, ко второму, - Марс, Меркурий и большие спутники, к третьему, - Землю, Венеру и гигантские планеты. Первые в момент образования не были полностью расплавлены, вторые – полностью расплавлены и часть их вещества находилась в газообразном состоянии, третьи, - прошли фазу полностью газообразного состояния. Процесс сжатия (самогравитации) планеты прекращается, когда внутреннее газокинетическое давление её вещества становится равным гравитационному давлению (критерий Джинса). После этого планета эволюционирует, выделяется газообразное внутреннее ядро, жидкое – внешнее и формируется кристаллическая мантия. Планета при этом расширяется, т.к. начальная плотность вещества в газообразном состоянии была выше плотности вещества в конденсированном состоянии. На границе внутреннего и внешнего ядра реализуется фазовый переход (ФП) «конденсация-испарение», а на границе ядро-мантия фазовый переход «кристаллизация-плавление». Оба ФП экзотермические, что обеспечивает планете источник внутренней энергии, который «расходуется» на тепловой поток, магнитное поле, геодинамику и т.п. Направления ФП могут меняться: от преимущества конденсации над испарением, что приводит к расширению Земли, к преимуществу испарения над конденсацией, что соответствует периоду её сжатия.

В области ФП на границе внутреннего ядра возникают электрические явления, образуется радиальное электрическое поле и двойной электрический слой (ДЭС). Суточное вращение ДЭС вызывает появление слабого магнитного поля, которое усиливается за счет проявления гальвано-магнитных эффектов, подобных эффекту Холла, и является причиной генерации магнитного поля планеты и спутника. Смена режима преимущества ФП того или иного типа автоматически приводит к изменению полярности ДЭС и инверсии магнитного поля. Явления, связанные с деятельностью механизмов поддержания температуры в области ФП, «маркируются» магнитным полем и представляют собой всю гамму явлений геомагнетизма.

Температура и давление вещества Земли в ходе её эволюции уменьшаются, что является основной причиной происходящих в её недрах циклических процессов, находящихся отражение в палеомагнитной шкале и «каменной летописи».

Геодинамические явления, сейсмичность и вулканизм проявляются на Земле (и других планетах и спутниках), открытой самоорганизующейся структуре, как «средства» достижения выполнения условия минимизации её гравитационной энергии, приводящие Землю, другие планеты и большие спутники к шарообразной форме и стремящиеся минимизировать высоту их «геоидов».

Релаксация вещества внутреннего ядра уже произошла на Марсе и больших спутниках, о чем говорит отсутствие дипольного магнитного поля в настоящем времени и наличие его в прошлом. Этот процесс ещё происходит на Меркурии, Земле и других планетах. Отсутствие магнитного поля на Венере, где внутреннее ядро должно ещё сохраниться, может быть объяснено только тем, что она вращается очень медленно и её затравочное магнитное поле слишком мало для развития генерации.

Модель горячей Земли самосогласованна, в ней используются известные законы физики, она находит объяснение всем бесспорным наблюдательным фактам, позволяет прогнозировать явления, которые могут наблюдаться в будущем. Таким образом, модель горячей Земли удовлетворяет требованиям, предъявляемым теории»

**Ротации во Вселенной.** В наблюдаемой области Вселенной, в Метагалактике, сферическом объеме радиусом  $3 \cdot 10^{25}$  м, содержится масса  $\sim 10^{50}$  кг. В этой области имеется приблизительно миллион сверхскоплений и десять миллиардов галактик различных типов, среди которых преобладают спиральные, подобные нашей Галактике.

**Взгляд физика: вращательное движение как характерное свойство пространства-времени Вселенной** (Викулин, 2004).

**Вращательное движение в геологии.** В справочно-обзорной литературе по геологии, вышедшей в свет как у нас, в России, так и за рубежом (см., например, (Геологический..., 1978; Структурная..., 1990-1991)), такие понятия как вихревые структуры (складки) и/или вихревые движения не определяются, хотя созвучные словосочетания в тексте встречаются. Так, в третьем томе (Структурная, 1991, рис. 5, с. 206), на котором изображены центры диастрофизма, окруженные горными дугами Альпийской системы, показаны две вихревые складки, одна из которых (Генуя) закручена против часовой стрелки, вторая (Дунай) – по часовой стрелке. В специальной литературе примеров вихревых структур приводится достаточно много, однако природа их происхождения и процессы их развития во времени, как правило, не обсуждаются. Чрезвычайно редко в специальной геофизической литературе встречается и фамилия китайского ученого Ли Сы-гуана, который впервые описал такие структуры. Уже эти обстоятельства указывают на ту весьма незначительную роль, которую вихревые структуры «играют» в науках о Земле в настоящее время.

**Вихревые движения в физике. История вопроса.** Достаточно емкие и образные обзорные данные о вихревых движениях содержатся в работах сборника (Борисов, Мамаев, Соколовский, 2003). В изложении материала этого раздела будем следовать этой работе (курсив – А.В.).

Ранние исследования по теории вихревого движения восходят к Декарту, Гюйгенсу, Иоганну и Даниилу Бернулли (XVII век). В этот период были установлены некоторые закономерности вихревых взаимодействий, но вихревая теория не достигла такого совершенства и полноты, как ньютоновская теория гравитации. Несмотря на ожесточенную полемику картезианцев (приверженцев Декарта) и ньютонианцев, она вскоре была вытеснена ньютоновской картиной мира и почти совсем забыта. Исторически первые труды Эйлера и Лагранжа, создававших ньютоновскую гидродинамику (а также теорию сплошных сред), ограничивались описанием потенциальных (безвихревых) полей.

Возрождение интереса к вихревой динамике относится к середине XIX столетия. Это труды Гельмгольца, Кельвина и Кирхгофа, приведшие не только к существенно новым гидродинамическим результатам, но и к созданию наиболее общей *вихревой теории материи*. Необходимость создания такой теории в значительной степени возникла из потребности объяснить свойства атмосферных циклонов и антициклонов. Особое значение в вихревой теории имеет теорема Гельмгольца, которую А. Пуанкаре считал наиболее значительным вкладом в гидродинамику. Ее сутью является закон вмерзновенности вихревых линий, позволяющий рассматривать *вихревые образования как некоторые материальные объекты, подобные массам в классической механике*. Следуя общей идее XIX века, согласно которой объяснения различных физических феноменов следует искать в подходящих механических интерпретациях, лорд Кельвин (1867 г.) предложил *теорию вихревых атомов*. В этой теории мир понимается как некоторый эфир (аналог идеальной жидкости), в котором *взаимодействуют вихри Гельмгольца, подобные атомам, образующим молекулы*. Идеи Кельвина так и не были реализованы и вскоре были полностью вытеснены атомной и квантовой механикой.

В последние десятилетия, особенно в связи с интенсивным развитием возможностей вычислительной техники, теория вихревых движений получила интенсивное развитие и в глубину и в ширину. В рамках Геофизической гидродинамики – области гидромеханики, сложившейся за последние три десятилетия в качестве ее самостоятельного раздела, – стало возможным решение ряда актуальных гидродинамических проблем *планетарного характера*. Перспективные направления в теории связаны с исследованием *вихревых движений* с крупномасштабными течениями, топографией и береговым рельефом. Исследование топографических вихрей позволило выявить существование в пределах мирового океана определенных структур, связанных, в том числе, и с «захватом» шельфовых волн неоднородностями (см. также (Ефимов, Куликов, Рабинович, Файн, 1985)). Гидрологическое исследование района одной из подводных гор Гавайского хребта в Тихом океане, например, показало наличие столбчатой структуры в распределении гидрологических, гидрохимических и биологических параметров среды, при этом на картах динамической топографии четко выделялась замкнутая антициклоническая циркуляция. Показано, что существенную роль в процессе формирования *вихревых структур* в районах подводных гор играют также приливы и другие явления.

Как видим, успехи, достигнутые геофизической гидромеханикой, впечатляющие. Однако такого рода работы рассматривают явления, происходящие исключительно в гидросфере Земли и атмосферах планет, и совершенно не касаются проблемы вихревых структур в геологии. Нам не известна ни одна такая работа.

Следует отметить, что квантовая механика «ушла» от решения проблемы появления у частиц вихревых (вращательных) движений – спина, путем придания ему смысла квантового числа. Современное положение дел в квантовой механике наиболее точно, пожалуй, характеризует цитата из работы создателя кварковой модели строения материи М. Гелл-Манна (1984): «Квантовая механика – это полная загадок и парадоксов дисциплина, которую мы не понимаем до конца, но умеем применять». Представляется, что если бы идеи лорда Кельвина были реализованы, то роль и значение вихревых (вращательных) движений в современном естествознании и науках о Земле, в том числе и вихревых структур в геологии, возможно, была бы совершенно иной (?). Время покажет.

*Вращательное движение как характерное свойство пространства-времени Вселенной.* Вращение материи Вселенной как ее характерное (внутреннее) свойство с очевидностью проявляется для двух крайних ее «пределных» состояний – галактик и элементарных частиц.

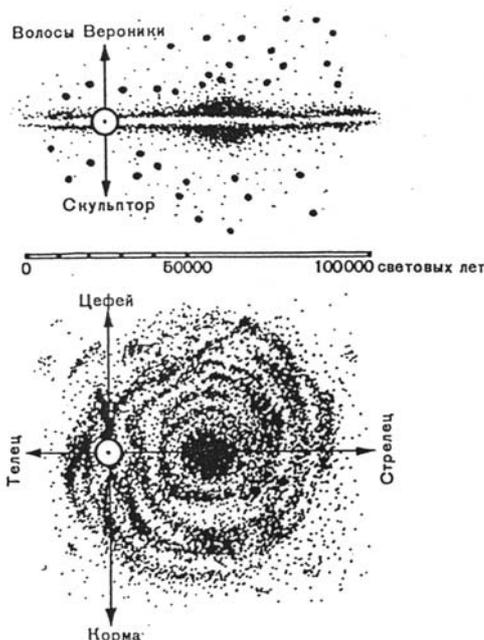
*Галактики.* Следуя (Гуревич, Чернин, 1983), можно констатировать, что вращение – очень распространенное свойство галактик. Фактически все они – спиралевидные, эллиптические и неправильные – так или иначе, вращаются. Среди всех известных нам

галактик и по числу, и по сосредоточенной в них массе преобладают (более 70-80%) спиральные галактики, диски которых обладают быстрым, предельно сильным вращением (рис. 1.2).

Центральная часть галактики вращается с постоянной скоростью и периодом (твердотельное вращение), а звезды, расположенные в пределах ее «хвоста», вращаются с переменными периодами, что, фактически, означает их вращение, в соответствии с третьим законом Кеплера, в гравитационном поле, создаваемом, главным образом, массой центральной области галактики, как и планеты в поле тяготения Солнца. Линейная скорость вращения нашей Галактики в районе Солнца (рис. 1.3) составляет 220 – 250 км/сек. Момент количества движения нашей Галактики примерно составляет  $I \sim 10^{74}$  эрг·сек. Вращение других спиральных галактик обычно составляет 100 – 300 км/сек.



**Рис. 1.2.** Спиральная галактика в созвездии Гончих Псов



**Рис. 1.3.** Положение Солнца (кружок с точкой) в нашей Галактике. Видно, что Солнце расположено на окраине Галактики. Мелкие точки – звезды, крупные – звездные скопления.

Гипотезы, с помощью которых пытались объяснить вращательное движение вещества, возникали не однократно. Первым был И. Кеплер, который еще в 1609 г. рисовал Солнце в центре некоего мощного вихря, который разбрасывает планеты по их орбитам и заставляет вращаться вокруг Солнца. Р. Декарт, обобщая эту картину на всю Вселенную, писал в 1644 г., что в процессе формирования космических тел мировое пространство было заполнено огромным числом вихрей разнообразной формы и размеров. Эти идеи не прошли мимо И. Ньютона, хотя он и отнесся к ним критически, высказав подозрение, что космогония Декарта не способна объяснить Кеплеровы законы движения планет. Критика Ньютона содержалась в его знаменитых «Началах» (1687 г.), где он писал, между прочим, что теория вихрей пренебрегает наблюдаемыми астрономическими явлениями, создает больше проблем, чем объясняет, делает вещи более трудными, а не более легкими и т.п. Для вихрей же самих по себе, как писал Ньютон, нет никаких доказательств существования и, следовательно, их нужно отвергнуть. В результате, как мы видели выше, ньютоновцы «победили» картезианцев, и идеи Декарта были на долго, более чем на столетие, забыты.

Глубокий анализ проблем вихревой космогонии дал позднее И. Кант, а П. Лаплас построил на этой основе свою небулярную гипотезу (1796 г.), которая, по существу, и до сих пор находится в центре космогонических дискуссий, развиваясь и обогащаясь новыми теоретическими идеями и наблюдательными данными. Как говорил А. Пуанкаре (в 1911 г.): «Несмотря на многочисленные возражения, выдвигавшиеся против нее, несмотря на все новые поразительные открытия в астрономии, способные удивить ее творцов, вихревая космогония остается все еще с нами».

В XX веке процесс выдвижения гипотез, объяснявших природу вращения галактик, был продолжен. Согласно гипотезе К. Вейцмана, выдвинутой в конце 40-х годов, вращение галактик имеет космологическое происхождение; оно обязано изначальным вращательным, вихревым движениям космической среды, порожденным в том же процессе, в каком родилась сама Вселенная, и возникло ее общее расширение. В те же годы Ф. Хойл предложил гипотезу приливного происхождения вращения. По его идее, никакого вращения во Вселенной не существовало вплоть до эпохи обособления протогалактических облаков, и вот тогда приливное гравитационное взаимодействие этих облаков друг с другом и заставило их вращаться.

В 1952 г. Г.А. Гамов, создатель теории горячей Вселенной, решительно и с энтузиазмом стал на точку зрения вихревой космогонии. Он говорил тогда, что в распределении и движении галактик определенно заметны следы догалактической турбулентности и что на этом пути он видит самые заманчивые перспективы. Что же касается происхождения догалактических вихрей, то Г.А. Гамов высказал предположение, что вихри существуют во Вселенной изначально и имеют ту же природу, что и само космологическое расширение. Как видим, точки зрения Г.А. Гамова и К. Вейцмана во многом совпадают.

В 1970 г. А.Д. Чернин предложил новую гипотезу о природе вращения галактик, согласно которой вращение галактик обязано мощным вихревым движениям, возникавшим в разрывных сверхзвуковых движениях метагалактической среды.

Сказанное относительно вихревого движения галактик, по всей видимости, может быть отнесено и к более крупным структурам Вселенной. Действительно, согласно последним данным, галактики образуют скопления, сверхскопления, а возможно и наиболее крупные образования Вселенной – клетчатые или ячеистые структуры, которые напоминают пчелиные соты или, быть может, кружева. Размеры ячеек достигают ста мегапарсеков ( $\sim 10^{24}$  м) при размере видимой части Вселенной около  $\sim 10^{25}$  -  $10^{26}$  м (Гуревич, Чернин, 1983).

Мы не ставим себе целью перечислить здесь все гипотезы, объясняющие природу вращения галактик. Однако из проведенного обзора уже просматривается вполне определенная «закономерность». А именно, и И. Кеплеру, и Р. Декарту, как механикам,

было ясно, что вихревое вращательное движение не может взяться ниоткуда. Оно, в соответствии с законами сохранения, либо существует в природе, либо его нет. Ньютон – один из основателей механики, законы которой в то время, в принципе, объясняли практически все известные физические, механические и астрономические данные, действительно, *мог не видеть необходимости в вихревой гипотезе*, хотя прекрасно понимал, что вращательное движение, в отличие от поступательного равномерного движения, абсолютно. К тому же, в рамках написанных им, по сути, *линейных* дифференциальных уравнений движения, такая гипотеза является не просто «более трудной», а, как теперь ясно, практически неразрешимой. Кроме того, вихревая структура галактик была во времена Ньютона в силу «слабости» телескопов неизвестна, да и само их понятие ученым было пока не ведомо. Нельзя сбрасывать со счетов и упоминавшуюся выше борьбу научных школ Ньютона и Декарта; такая борьба во все времена накладывала значительный отпечаток на развитие всех научных направлений.

*Частицы.* В первой половине XX века окончательно утверждает свое положение квантовая механика. Одним из основных ее положений является понятие спина элементарной частицы как собственного момента количества движения, квантовый характер которого в долях постоянной Планка  $I \approx \hbar \sim 10^{-27}$  эрг·сек *постулируется*. К этому времени вихревая структура галактик становится общепринятой. И проблема вращательного движения теперь уже становится *и квантовой, и космологической*.

Как известно (Ландау, Лифшиц, 1974; с. 38), «волновое уравнение Шредингера играет в квантовой механике ту же роль, что уравнение Ньютона в классической механике». При этом, в квантовой механике связь момента количества движения со свойствами симметрии по отношению к вращениям «становится в особенности глубокой, делаясь по существу основным содержанием понятия о моменте... Момент приобретает смысл квантового числа... Становится несущественным вопрос о его происхождении, и мы приходим естественным образом к представлению о «собственном» моменте, который должен быть приписан частице вне зависимости от того, является ли она «сложной» или «элементарной»» (Левич, Вдовин, Мямлин, 1971; с. 234-235). По-видимому, по этой причине, согласно обзору (Эстерле, 2003), во многих возникших независимо друг от друга теориях (Гельмгольц, Томсон, Ацюковский, Бауэр и др.) элементарные частицы, ядра атомов, атомы, молекулы и др. образования до галактик и силовых полей включительно рассматриваются как вихревые структуры среды, заполняющей Вселенную. Квантовый характер образований в таких теориях естественным образом вытекает из свойств этой среды, поскольку вихревые структуры могут иметь только такие параметры, которые допускают существование целого числа стоячих волн. Если принять, что пространство имеет свойства жидкости с очень малой вязкостью и плотностью (аналог квантовой жидкости гелия-II), то все структуры Вселенной от элементарных частиц до галактик, их скоплений и физических полей можно представить в виде вихрей (вихревых колец, вихревых нитей) этой жидкости (Madelung, 1926). При таком подходе квантовая механика, фактически, становится разделом гидродинамики, вихревые структуры в такой среде легко образуются, долго существуют, что и приводит к их накоплению.

И в этой связи, на наш взгляд, вовсе не случайно появление гипотезы Гамова-Вейцмана, авторы которой, по сути, на новом качественном уровне наших знаний о Вселенной возвращаются к идее Декарта-Канта-Лапласа и связывают природу вихревого движения во Вселенной, фактически, с процессами, объясняющими ее рождение. Другие (тоже многочисленные) теории и гипотезы вихревых движений, как нам представляется, есть обычный, во многом традиционный результат исследования, проводимый, в основном, в рамках гидродинамики.

Приведенный материал показывает, что вращательные (вихревые) движения действительно являются характерным и неотъемлемым (внутренним) свойством материи галактик  $R \sim 10^{20}$ -  $10^{22}$  м, их скоплений  $R \sim 10^{23}$  -  $10^{24}$  м и всей видимой части Вселенной  $R \sim 10^{26}$  м (Комаров, Пановкин, 1984) со временем жизни около  $\tau \sim 10^{10}$  лет  $\sim 10^{17}$  сек и

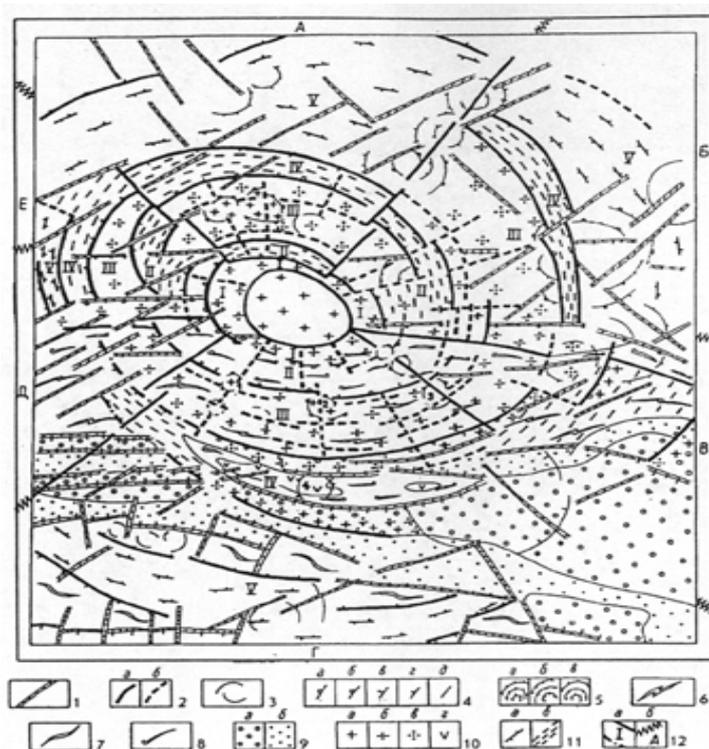
элементарных частиц  $R \sim 10^{-15}$  м, наименьшее время жизни которых, так называемых резонансов, составляет  $\tau_{\min} \sim 10^{-23}$  сек.

*Солнечная система.* Имеющиеся данные убедительно показывают, что вращательные (вихревые) движения характерны для вещества и на «промежуточных» пространственно-временных масштабах и не зависят от его состояния. Так, на звездном уровне, например, в нашей солнечной системе планеты вращаются вокруг Солнца, их спутники – вокруг планет, а сами планеты – вокруг собственных осей вот уже в течение нескольких миллиардов лет. На планетарном уровне достаточно интенсивные вращательные движения проявляются в течение продолжительных отрезков времени в виде: 1) Циклонов ( $R \sim 10^{6-7}$  м) в атмосферах Земли (рис. 1.4), Сатурна, Юпитера (Большое красное пятно Юпитера непрерывно наблюдается уже в течение более 300 лет (Незлин, 1986)) и, по-видимому, Нептуна (Орленок, 2000); 2) Замкнутых течений в мировом океане Земли, а также 3) Кольцевых (Кац, Козлов, Полетаев и др., 1989; Кулаков, 1986), вихревых (рис. 1.5) (Ли Сы-гуан, 1958; Мелекесцев, 1979; Мясников, 1999; Слезнак, 1972) и других более экзотичных (рис. 1.6) образований ( $R \sim 10^2 - 10^6$  м), объединенных в пределах твердой части литосферы в орогенную планетарную систему (Шейдеггер, 1987). Результатом движения блоков твердой среды является образование дислокаций и дисклинаций. Их размеры и характерные времена изменяются в широких пределах: от микротрещин  $R \sim 10^{-8}$  м,  $\tau \sim 10^{-8}$  сек (Вопросы..., 2002) до очагов сильнейших



**Рис. 1.4.** Космический снимок циклона в Охотском море и вихревой структуры с центром в районе Ичинского вулкана на Камчатке.

землетрясений  $R \sim 10^6$  м,  $\tau \sim 100$  лет  $\sim 10^9$  сек (Викулин, 2003) и, возможно, сейсмических поясов  $R \sim 10^8$  м,  $\tau \sim 10^8$  лет  $\sim 10^{15}$  сек (Викулин, 2003; Викулин, Мелекесцев, 1997). Эффекты поворота макрообъемов на углы  $10^0$  и более (эффекты вращения) установлены и в твердых телах в лабораторных условиях (Владимиров, Романов, 1970). Как показали результаты, полученные в последние десятилетия, такие эффекты связаны с перестройкой структуры «лабораторного» твердого тела, происходящей на «мезоуровне»  $R \sim 10^7 - 10^3$  м,  $\tau \sim 10^{-8}$  сек (Рыбин, 2002).



**Рис. 1.5.** Пример вихревой структуры центрального типа, имеющей размер около 80-100 км в диаметре; территория Соловьевского свода, Верхнее Приамурье (Мясников, 1999).



**Рис. 1.6.** Структура «Спираль» в районе о. Ольхон (оз. Байкал). Жесткие геологические тела (метагабброиды, ультрабазиты), а также ядра гранито-гнейсовых куполов испытывают вращение и возникают вихревые структуры. Светлое – мраморы, гранитные жилы (нитевидные белые линии), темное – гнейсы и кварциты. Аэрофото масштаба 1:5000 (Розен, Федоровский, 2000).

Одним из результатов семинара «Вихри в геологических процессах», прошедшего в марте 2003 г. в Петропавловске-Камчатском, является вывод (Викулин, 2004): несмотря на большое количество накопленных данных о вихревых структурах как на Земле, так и в солнечной системе на других планетах и их спутниках, проблема вихревых движений в геологических процессах по-прежнему находится на уровне 50<sup>x</sup> годов прошлого столетия, когда она впервые и была обозначена Ли Сы-гуаном (1958). С тех пор появилось много данных, прямо или косвенно указывающих на существование вихревых (кольцевых) структур в литосфере, выделенных на геологическом материале всех геологических эпох на самых разных масштабных уровнях: от локального до планетарного (Волков, 2002; Кац, Козлов, Полетаев и др., 1989; Кулаков, 1986; Мелекесцев, 1979; Полетаев, 2002;

Слезнак, 1972). Существование вихревых движений в земной коре подтверждается данными прямых геодезических наблюдений (Геодезические..., 1970; Мелекесцев, 1979; Сато, 1984).

Самой большой по размеру кольцевой «дислокационной» структурой Земли является Тихоокеанское кольцо. Анализ структурных, вещественных, морфологических, геофизических и геодинамических данных позволяет сделать вывод о круговой симметрии Тихоокеанского пояса (Маслов, 1996). Вектор движения Тихоокеанской плиты испытывает периодические повороты по и против часовой стрелки при амплитуде угла вращения около 10 градусов (Берсенов, 1964), что приводит к смещениям, достигающим нескольких сотен километров (Маслов, 1996). При этом периодам 30-23, 16-13, 6-0 млн. лет тому назад отвечает субширотное сжатие (вращение по часовой стрелке), периодам 22-17, 12-7 млн. лет – субширотное растяжение (вращение против часовой стрелки) (Jackson, Shaw, Bargar, 1975; Takeuchi, 1986).

В результате получены данные, которые никак не укладываются в рамки существующих представлений о движении вещества. Например, согласно (Волков, 2002) «в океанских рифтовых системах Земли существуют вихревые зоны с размерами 2-3 тыс. км каждая, поворот в которых выполняется трансформными разломами». При этом направление вращения вихрей (правое, если смотреть от центра Земли наружу) всюду одинаковое – и в Северной полярной области, и в Южной, и в четырех экваториальных областях. Удивление (по мнению Ю.В. Волкова (2002) и, на наш взгляд, вполне обоснованное) вызывает то обстоятельство, что такую ориентацию вихрей нельзя объяснить ни действием обычных сил Кариолиса - очевидно, ни с помощью уравнений гидродинамики Навье-Стокса (и Эйлера), так как эти уравнения не содержат выделенного направления.

*Структура пространства-времени.* В физике законы сохранения и, следовательно, уравнения движения тесно связаны с симметрией пространства-времени. Поэтому вихревые структуры необходимо рассматривать в их тесной взаимосвязи, в первую очередь, с проблемой организации структуры вещества в пространстве и во времени.

Интересный вывод содержится в работе (Берри, 1993). «Основными источниками регулярных и периодических вариаций являются процессы обращения и вращения небесных тел и их систем вокруг центров тяжести. Во время этих движений системы проходят особые области орбит и космического пространства, которые оказывают прямо или косвенно энергетические и управляющие воздействия на земные процессы (см. так же (Леви и др., 2002; 2003). Отклик на эти воздействия зависит от частотных и энергетических характеристик земных оболочек и Земли в целом. Таким образом, при развитии литосферы в ее структуре и составе записывается не только собственная история Земли, но и история всей Вселенной. Литосфера хранит данные за последние 3,6 млрд. лет, которые могут быть использованы для построения и проверки новых и известных ранее геолого-космологических теорий. Отсутствие крупного научного направления на стыке геологии и астрономии связано с неоправданной специализацией образования в области естественных наук».

*Время.* После Эйнштейна неоднократно предпринимались попытки понять суть времени. Например, И. Пригожин в своей неравновесной термодинамике (Пригожин, Стенгерс, 1986) сделал шаг в правильном направлении, предсказав, что необратимость не может возникать на химическом уровне материи, а должна существовать уже на самых глубоких уровнях микромира или, с учетом выше сказанного, на самых начальных стадиях жизни Вселенной. Однако наиболее глубокое представление о времени имеют именно геологи, так как они непосредственно работают с материалом, время жизни которого огромно – миллиарды лет. И они знают, что все в этом мире изменяется – независимо от того, покоится нечто или движется – и что время не обязательно течет равномерно, существуют как медленные изменения, так и скачки, бывает и ускоренное развитие (Эстерле, 2003). Неслучайно проблеме времени в геологических процессах

посвящены обстоятельные работы, наиболее полный список которых приведен в (Симаков, 1999). Незавершенность концепции геологического времени вызвана, в первую очередь, отсутствием глубокого философского осмысления его специфической природы, с одной стороны, и кардинального отличия от обыденного (физического) времени – с другой (Симаков, 1999; с. 4). Исследования в этом направлении только-только начинаются.

*Пространство.* В этом направлении сделано несколько больше. Внимательное изучение поверхности Земли открывает ряд удивительных закономерностей в ее строении (Маслов, 1996). Это, например, антиподальность распределения территорий и акваторий (Каттерфельд, 1962). Специальные исследования показывают, что симметрия в распределении форм рельефа может быть более сложной (Шолпо, 1986; Уфимцев, 1988, 1992). Например, срединноокеанические хребты, островные дуги и другие крупные формы рельефа субмеридионального простирания распределены равномерно, примерно через 90 градусов (Милановский, Никишин, 1988; Шолпо, 1986; Hughes, 1973; Pan, 1985). Такие закономерности форм рельефа являются следствием распределения напряжений земной коры, возникающих под влиянием ротационных сил Земли (Воронов, 1993; Гущенко, 1979). Как частный случай этой закономерности можно рассматривать подобие контуров Срединно-Акеанического хребта и Западно-Тихоокеанской активной зоны, совпадающих при повороте на 180 градусов (Ильичев, Шевалдин, 1986). Обращает на себя внимание характерное S-образное очертание субмеридиональных форм рельефа, причем концы S приходятся на полюса, а его средняя часть проходит примерно по Тетису, «который всегда был ослабленной зоной земной коры» (Фурманье, 1971; с. 86). Об S-образном изгибе берегов Атлантического и Тихого океанов писали (Личков, 1931; Haveman, 1929), связывая с ним относительный левый сдвиг северного и южного полушарий. Относительный сдвиг полушарий вдоль субэкваториальной зоны разломов отмечался и еще раньше (Hochstetter, 1886). Закономерности современного распределения крупных форм рельефа, видимо, не случайны. В работе (Берсенов, 1964) приводятся данные, согласно которым размещение континентов относительно оси вращения было иным в конце Протерозоя, но также отражало вполне определенный порядок. В работе (Kanasewich, Havskov, Evans, 1978) показана высокая степень пространственной организации лика планеты для всего Фанерозоя.

Согласно (Шолпо, 2001), в настоящее время проблема организации структуры вещества применительно к вихревым образованиям в геологических процессах, протекающих на Земле и других космических телах, привлекает внимание все большего числа геологов, геофизиков и ученых других специальностей. Черты закономерной упорядоченности разного порядка и ранга обнаруживаются от глобальных масштабов до локального устройства сравнительно небольших регионов. Симметрии, антисимметрии, подобия обнаруживаются на разных масштабных уровнях. И, пожалуй, наиболее существенно то, что этот феномен глобальной упорядоченности установлен не только для поверхности твердой Земли – рельефа, но с достаточной надежностью прослежен в более глубокие оболочки планеты: литосферу, верхнюю мантию, и с меньшей уверенностью до границы с внешним ядром. Можно считать установленным, что структурная организация Земли наиболее полно отвечает симметрии куба. На сегодняшний день обобщено и сведено в целостную картину достаточно большое количество фактических данных, которые демонстрируют со всей очевидностью упорядоченную структурную организацию Земли. Не менее важно и то, что подобный феномен установлен на всех планетах земной группы. Это свидетельствует о том, что Земля, по крайней мере, по этому признаку – структурному устройству, не является уникальным объектом, а принадлежит к семейству околосолнечных твердотельных планет. Надо бы пытаться, как бы это ни было трудно, найти механизмы и физически обосновать их, чтобы понять, как из первичного, неоднородного и, скорее всего, хаотичного тела возникла сегодняшняя гармонично устроенная Земля и другие космические объекты.

*Вихри – так что же это такое?* Как видим, проблема вихревых структур в геологических процессах, по сути, является составной и неотъемлемой частью более общей задачи о вихревых движениях материи вообще. При этом каждая из составляющих задачи – будь то проблемы возникновения галактических вихрей, существования спина у элементарных частиц или генезиса вихревых структур в геологических процессах, имеет свои отличительные стороны, которые «пронизаны» для них общим и единым типом движения – вихревым вращением. Отличительной особенностью вихревого движения, по сравнению с поступательным, является его способность преобразовывать тепловую энергию непосредственно в кинетическую энергию движения потока в пространстве, что на практике реализуется в теплогенераторах (Потапов, Фоминский, Потапов, 2000). Данные многочисленных наблюдений показывают, что при вихревом движении при определенных условиях происходят очень интересные и во многом пока не понятные явления: свечение потока, в том числе инфракрасное (Большое Красное Пятно Юпитера!) и микроволновое (белые пятна Сатурна?) излучения; превращение массы в энергию; движение со сверхсветовыми скоростями; изменение веса гироскопа в зависимости от скорости и направления его вращения; уменьшение трения при увеличении скорости потока в канале и отрицательное сопротивление (т.е. засасывание в канал) после превышения некой критической скорости; в некоторых случаях струя стремится прийти во вращение даже без помощи кариолисовых сил и др. (Потапов, Фоминский, Потапов, 2000).

Относительно природы вихревых движений материи в соответствии с приведенными выше данными и обзором можно высказать следующее суждение. Гипотез, пытающихся объяснить вихревые движения, появилось уже достаточно много. Однако обращает на себя внимание вполне определенная закономерность, согласно которой через то или иное время на качественно новом уровне наблюдается возврат к физически очевидной идее об абсолютности вращательного движения. Поэтому, продолжая цепочку гипотез Декарта – Канта-Лапласа, Г.А. Гамов, как нам представляется, с неизбежностью и пришел к выводу о существовании «догалактической турбулентности». Из самых общих соображений очевидно, что в любой области Вселенной должны иметь место вращения всех масштабов: галактических, звездных, планетарных и т. д. до элементарных частиц включительно, что, по-видимому, и позволяет принять гипотезу о «равномерной завихренности» пространства. Такое фундаментальное свойство, как следует из гипотезы Г.А. Гамова, могло быть «придано» материи в момент Большого взрыва.

*Резюме.* Дать ответы на обозначенные вопросы и решить поставленные проблемы, как показывают приведенные выше данные и обзор, по-видимому, можно только рассматривая их во взаимосвязи и на качественно новом уровне. В рамках такого нового подхода необходимо будет учесть *все* особенности вихревых (вращательных) движений в пределах *всего* наблюдаемого масштаба:  $\Delta R \sim 10^{40}$  м,  $\Delta t \sim 10^{40}$  сек,  $\Delta I \sim 10^{100}$  эрг·сек. Такой путь решения проблемы *с точки зрения физики*, очевидно, будет испытывать наибольшие трудности при описании именно той составляющей этого сложного и многогранного вихревого движения материи, которая должна будет объяснить существование и генезис *вихревых структур в геологических процессах*.

В рамках такого нового подхода обязательно надо будет учесть и «сложившийся» уже опыт борьбы научных школ, который во все времена, начиная с Декарта-Ньютона (см. выше) и до настоящего времени (Потапов, Фоминский, Потапов, 2000), в значительной степени влияет на решение проблемы вихревых движений материи - по сути, тормозит.

В этой связи как не вспомнить противоборство других научных школ.

В 1987 г. научный мир отметил 300-летие механики Ньютона. Трудно перечислить все те достижения, которые были достигнуты человечеством с помощью этой фундаментальной физической теории. Тем не менее, в конце XIX века основы механики Ньютона были Э. Махом совместно с другими исследователями подвергнуты серьезной критике. Э. Мах выдвинул принцип (впоследствии названный его именем), согласно

которому силы инерции в механике появляются при ускоренном движении относительно центра масс Вселенной. Эта критика оказалась столь плодотворной, что именно под ее влиянием возникла сначала бессильная механика Герца, а затем релятивистская механика Лоренца-Эйнштейна и общерелятивистская механика Эйнштейна.

После того, как в начале XX века были сформулированы основные принципы и уравнения квантовой механики, физики-теоретики разделились на две группы: «детерминистскую - Бог не играет в кости!» группу А. Эйнштейна (М. Планк, А. Эйнштейн, Л. де Бройль, Э. Шредингер) и «вероятностную» - Н. Бора (Н. Бор, В. Гайзенберг, Н. Борн, П. Дирак). Сам факт возникновения этих групп характеризует глубокий кризис (не забвение – уже прогресс!) в понимании физической реальности, который длится вот уже более полувека. Согласно (Дмитриевский, Володин, Шипов, 1993), вероятностный характер описания квантовой теории связан с тем, что материя представляет собой имеющие конечные размеры сгустки поля инерции, которые, по сути, представляют собой *поля кручения*. И так, опять в очередной раз «круг замыкается» и опять возвращаемся к идее об абсолютности вращательного движения: «свободные» вихри Декарта, взаимодействующие вихри Гельмгольца, вихревые атомы Кельвина, квантовая механика – спин, инерционные поля кручения! Таким образом, теория инерционных полей кручения, по мнению (Дмитриевский, Володин, Шипов, 1993), «решает многолетний спор между А. Эйнштейном и Н. Бором в пользу Э. Эйнштейна, отказываясь от косвенного описания реальности и восстанавливая образное мышление в физике микромира» и, добавим – в вихревой геодинамике литосферы.

***Взгляд геолога: вращательные движения и вихри как фактор формирования литосферы и геолого-географической среды Земли*** (Мелекесцев, 2004). С разнообразными проявлениями вращательных движений и вихревых структур человек познакомился буквально с момента своего появления как вида. При употреблении в пищу морских и наземных моллюсков древний человек не мог не обратить внимание на спиральное (право- и левозакрученные раковины) внутреннее строение раковин многих из них, которые к тому же использовались им еще и в качестве одних из первых украшений. Столь же рано человек непосредственно испытал воздействие водяных вихрей - водоворотов на реках, которые ему приходилось преодолевать, а позднее по ним и плавать. Сталкивался он и с мощными воздушными вихрями – смерчами, хотя вряд ли предполагал общую вихревую природу смерчей и водоворотов. Причем очень давно человек подсознательно видел в вихрях и нечто мистическое: недаром спиральные вихри часто присутствуют на древних наскальных рисунках и орнаментах.

С античных времен и позже с развитием механики, математики, астрономии вихри и вихревые движения уже использовались для различных технических целей, создания механизмов и приборов, построения космогонических гипотез. Регулярные метеорологические наблюдения позволили открыть, описать и объяснить происхождение гигантских спиральных воздушных вихрей – разнообразных типов циклонов и антициклонов. Как и все названные выше проявления вращательных движений и вихревых структур циклоны и антициклоны тоже обязаны своим возникновением именно ротационному эффекту, обусловленному быстрым вращением Земли. В свою очередь, через посредство глобальной циркуляции атмосферы и деятельность ее наиболее активных компонентов – циклонов и антициклонов – вращательные движения получили возможность влиять на весь комплекс физико-географических условий, динамику всех компонентов природной среды, рельефообразующие процессы и биосферу.

Что касается воздействия ротационного эффекта на собственно геологические процессы, имевшие место на Земле, то здесь существовало негласное табу, основанное на представлении о земной поверхности и верхней оболочке планеты как тверди. Твердь же, по определению, не должна была подвергаться воздействию от вращения Земли. В глобальном масштабе исключение допускалось лишь для работы текучей воды по

известному закону Бэра-Бабинэ. Это правило, согласно которому реки, текущие на равнинах Северного полушария, подмывают преимущественно правые берега, а Южного – левые берега. В основе его лежит закон Кориолиса, утверждающий, что всякое тело, движущееся у поверхности Земли, независимо от направления движения, отклоняется в Северном полушарии вправо, в Южном – влево, вследствие вращения Земли с запада на восток.

Запрет о влиянии ротационного эффекта на другие геологические процессы был нарушен только в первой половине XX века. Этому способствовало несколько благоприятных факторов: 1) создание относительно точных и достоверных географических и геологических карт на обширные территории земного шара, 2) детальные геологические исследования и 3) высокоточные геодезические измерения.

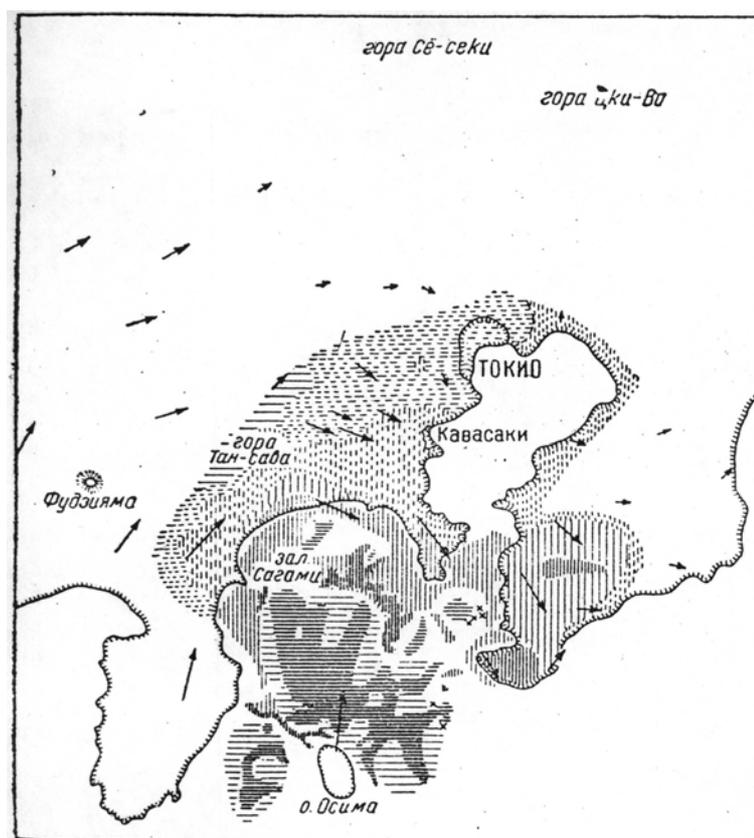
Так, практически одновременно в конце двадцатых-начале тридцатых годов XX века появились две работы.

В первой из них молодой китайский геолог Ли Сы-гуан в своей публикации 1928 г. (Lee J.S., 1928) впервые выделил и описал вихревые структуры в геологических разрезах в Китае. Это были преимущественно вихревые структуры с горизонтальной осью вращения. Изложенные там представления получили дальнейшее развитие в монографиях Ли Сы-гуана "Геология Китая" (1952) и "Вихревые структуры Северо-Западного Китая" (1958). Однако в СССР работы Ли Сы-гуана были встречены неоднозначно, что хорошо видно из "Предисловия" и раздела "От редактора" ко второй из этих книг. В "Предисловии" его автор – Министр геологии и охраны недр СССР П.Антропов писал: "Мы хорошо сознаем, что далеко идущие теоретические выводы, которые делает Ли Сы-гуан, такие, например, как вращение крупных масс земной коры в связи с вращением Земли, не могут быть доказаны только экспериментальным путем. Для этого необходимо проделать еще очень большую исследовательскую работу..." (с.5). Научный редактор монографии профессор В.Павлинов отметил, что: "Вопросам развития структур в геосинклинальных или платформенных условиях, как они понимаются советскими геологами, Ли Сы-гуан отводит ...скромное место..., так как автор...придерживается в основном идей А. Вегенера (в СССР они в то время, по идеологическим соображениям, отвергались, т.к. А. Вегенер симпатизировал фашистской идеологии) о горизонтальном дрефте материков... На современной стадии развития геотектонических знаний пока невозможно безапелляционно решить вопрос о справедливости всех заключений автора в отношении причин и механизма формирования складчатых и разрывных структур, возникших в результате вращательных движений отдельных масс земной коры" (с.7).

В 1933 г. была опубликована работа С.Фузыхара и др. (Fujiwhara et al., 1933), подготовленная на основе данных результатов повторных геодезических работ в 1884-1889 гг. и 1924-1925 гг. в районе залива Сагами на Тихоокеанском побережье о.Хонсю (Япония). На помещенном там рисунке (рис. 1.7) впервые было показано вращение крупного блока земной коры вокруг залива Сагами. При этом весьма интересно, что вторая (1924-1925 гг.) серия измерений была проведена сразу после знаменитого мощнейшего (М 8.2) землетрясения 1923 г. с эпицентром в заливе Сагами, откуда тогда подводным обвалом было удалено около 70 км<sup>3</sup> осадков, а дно самого залива углубилось на 400 м.

Следующий крупный вклад в проблему изучения вихревых структур земной коры был сделан в 60-70-ых годах XX в. после составления уточненных батиметрических карт океанов и массового распространения космических изображений земной поверхности. Именно тогда исследователи самых разных специальностей смогли реально "увидеть" из космоса детальную структуру спиральных вихрей - циклонов, включая тропические циклоны – тайфуны, смотрящиеся наиболее эффектно. В то же время были открыты с помощью спутников спиральные вихри в океанах – ринги. Их диаметр составлял 300-500 км, а длительность существования достигала 3-4 лет. По сравнению с воздушными

вихрями (циклонами) эти водяные вихри (ринги) жили примерно на два порядка дольше, что хорошо коррелируется с разницей (тоже на 2 порядка) вязкости воздуха и воды.



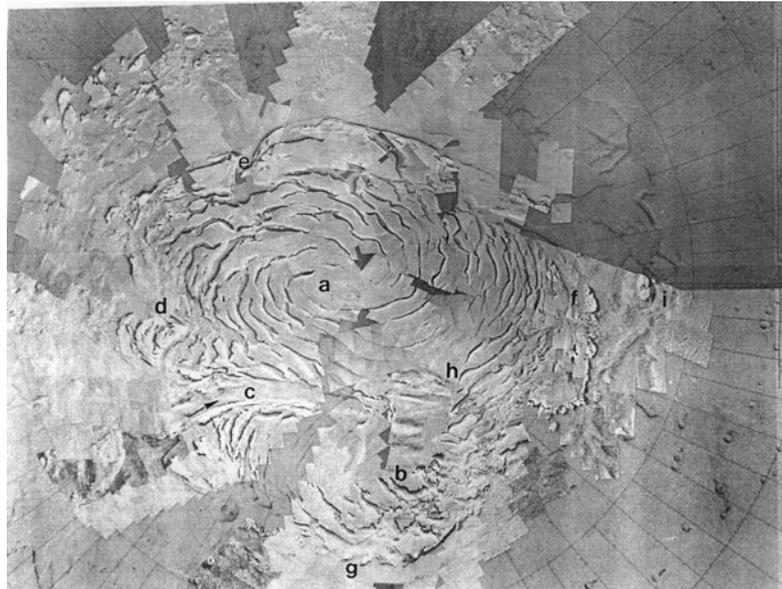
**Рис. 1.7.** Вращение земной поверхности вокруг залива Сагами (о.Хонсю, Япония) после катастрофического (М 8.2) токийского землетрясения 1923 г. Вертикальные штрихи обозначают районы поднятия, горизонтальные – районы опускания. Направление и величина стрелок в условном масштабе показывают направление и величину перемещения точек. По Fujiwhara et al., 1933 (из работы Ли Сы-гуана, 1958).

Кроме того, ряд исследователей обратил внимание на большое сходство изображений облачных систем циклонов с рисунком наземных геологических структур (Назиров, 1975 и др.). Распределение вулканических образований, созданных за последние 50-100 млн. лет на дне океанов, позволило создать вихревую вулканическую гипотезу (Мелекесцев, 1979; 1980), так как многие вулканы там приурочены к спиральным вихревым структурам, очень напоминающим циклоны. Только вместо паровых облаков у них "облака" как бы выплавлены из камня.

С помощью космических аппаратов была выявлена гигантская вихревая структура на Марсе (рис. 1.8). Она охватывает большую часть северного полушария этой планеты. На Юпитере активной вихревой структурой является Большое Красное пятно диаметром ~40 тыс. км. При этом необходимо отметить, что на медленно вращающихся планетах вихревые структуры отсутствуют. Их нет, например, на Меркурии (период вращения 59 земных сут.), Венере (период вращения 243 сут.). Наша Луна тоже лишена следов вихревых структур по аналогичной причине.

Таким образом, полученные в XX в. данные уже сейчас позволяют сделать вывод о большом воздействии ротационного эффекта помимо физико-географической среды на формирование геологических структур, магматическую деятельность и распределение вулканов на быстро вращающихся планетах, включая Землю. Правда, показать с помощью

точных расчетов, как и с помощью какого механизма все это происходило и происходит, пока еще не удалось.



**Рис. 1.8.** Выраженные в рельефе следы планетарных вихревых структур в Северном полушарии Марса. По (Whitney, 1979).

**Новый диалог с Природой.** Единство природы прослеживается во всем пространственно-временном масштабе от микромира - элементарные частицы, ядра:  $R \sim 10^{-15-18}$  м,  $\tau_{\min} \sim 10^{-23}$  сек, до макромира - звездные системы, галактики, наблюдаемая часть Вселенной:  $R \sim 10^{26}$  м,  $\tau \sim 10^{10}$  лет. Действительно, во всем ряду физических объектов, имеющих характерные размеры  $R$ , времена  $\tau$ , массы  $M$ , плотности  $\rho$ , температуры  $T$  и давления  $P$ , изменяющиеся в пределах многих десятков порядков по величине:

- элементарные частицы:  $\tau_{\min} \sim 10^{-23}$  сек,  $R \sim 10^{-15-18}$  м,  $M_{\text{электрон}} \sim 10^{-31}$  кг
- ядра атомов:  $\rho \sim 10^{17}$  кг/м<sup>3</sup>,
- атомы – молекулы,
- макротела, вещество (кристаллы, жидкость, газ, плазма),
- планеты:  $R \sim 10^4 - 10^5$  м,  $\tau \sim 10^9 - 10^{10}$  лет,  $\rho_{\text{средняя}} \sim (0,7 - 5,5) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,
- звезды (Солнце):  $R \sim 10^9$  м,  $\tau \sim 10^{10}$  лет,  $M \sim 10^{30}$  кг,  $T \sim 10^7$  К,  $P \sim 10^{11}$  атм, в том числе нейтронные:  $\rho \sim 10^{17}$  кг/м<sup>3</sup>,
- галактики: число звезд  $\sim 10^9 - 10^{12}$ ,  $R \sim 10^4$  пс  $\sim 10^{20}$  м,  $M \sim 10^{41}$  кг,
- Вселенная:  $R \sim 10^{26}$  м,  $\tau \sim 10^{10}$  лет, число галактик  $\sim 10^{11}$ ,  $M \sim 10^{52}$  кг,

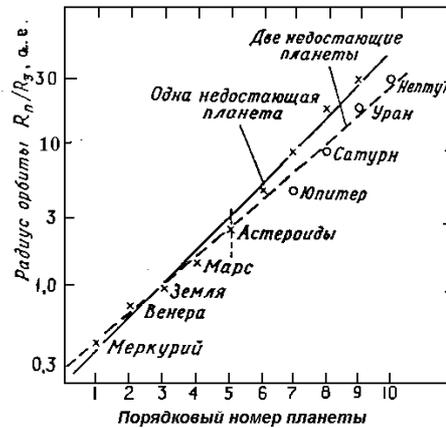
выделено только четыре (!) вида фундаментальных взаимодействия, все остальные сводятся к ним:

- сильное (ядра,  $R \sim 10^{-15}$  м,  $\tau \rightarrow \infty$ )  $\sim 1$ ,
- электромагнитное ( $R \rightarrow \infty$ )  $\sim 10^{-3}$ ,
- слабое (превращение элементарных частиц,  $R \sim 10^{-16}$  м,  $\tau \sim 10^{-8}$  сек)  $\sim 10^{-14}$ ,
- гравитационное ( $R \rightarrow \infty$ )  $\sim 10^{-40}$ .

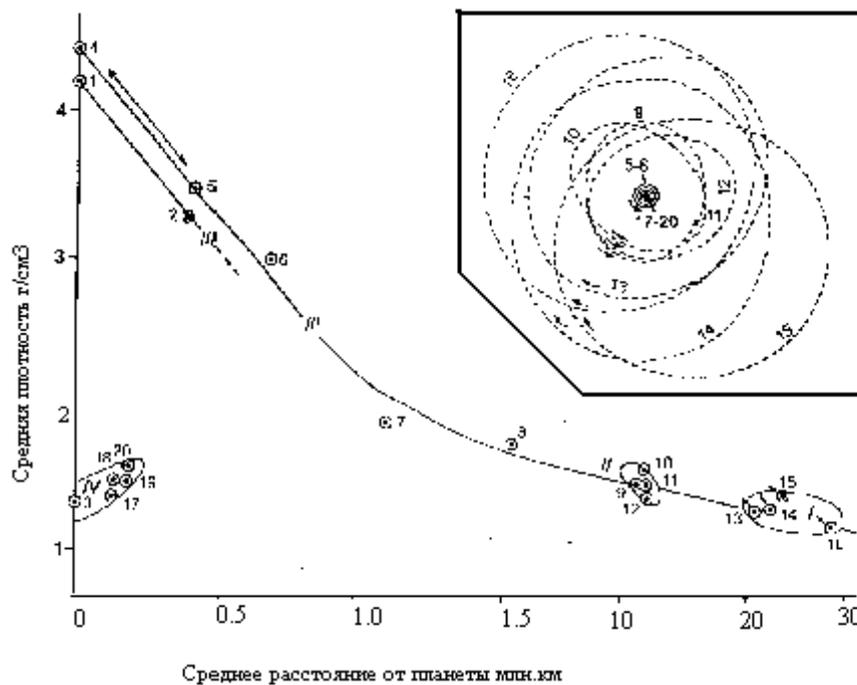
При этом если в ядрах действует только сильное взаимодействие, в мире элементарных частиц – только слабое и электромагнитное, в веществе – только электромагнитное и гравитационное, в масштабе видимой части Вселенной – только гравитационное, то внутри нейтронных Звезд – одновременно гравитационное и сильное и, по-видимому, в некоторых их частях слабое и электромагнитное.

Следует отметить, что согласно данным работ (Дмитриевский, Володин, Шипов, 1993; Шипов, 2002), все четыре фундаментальных взаимодействия сводятся к одному, свойства которого определяются полями кручения.

Как видим, мир, несмотря на его кажущееся многообразие, управляется небольшим числом физических законов, являющимися следствиями симметрии пространства-времени. Именно действием этих законов и следует объяснять образование и Солнца и Солнечной системы (закон Бодде, данные в табл. 1.1 и на рис. 1.9). Закономерное распределение плотности вещества в системах Земля – Луна и ядро Юпитера – его спутники (рис. 1.10) указывает на то, что и образование планет солнечной системы происходило по вполне определенным закономерностям.



**Рис. 1.9.** Радиусы орбит планет приближенно описываются законом геометрической прогрессии (закон Бодде).



**Рис. 1.10.** Диаграмма распределения плотности в системах Земля – Луна и ядро Юпитера – его спутники в зависимости от удаленности спутников от материнских планет (средних радиусов орбит) (Маракушев, Моисеенко, Сахно, Тарарин, 2000). 1 – Земля (плотность Земли (1) и ядра Юпитера (4) пересчитаны на нулевое давление); 2-Луна; 3-5 – Юпитер (3), его железо-силикатное расплавленное ядро (4) и ближайший спутник Ио (5); 6-20 – другие спутники Юпитера, рассматриваемые в тексте (табл.3). Направление движения спутников обозначено на схеме их орбит стрелками. I-IV – группа спутников в предполагаемой последовательности их образования; I-II – удаленные спутники с обратным (I) и нормальным (II) движением по орбитам; III-IV – околопланетные массивные плотные спутники (III) и спутники низкой плотности, обрамляющие кольцевую систему планеты (IV).

Изучение таких физических закономерностей на примере планеты Земля и является предметом «Физики Земли».

При этом не нашли пока своего научного объяснения следующие важные экспериментально установленные факты, имеющие непосредственное отношение к процессам образования как Солнечной системы, так и, возможно, Вселенной в целом:

- Масса Солнца составляет 99,9% всей массы солнечной системы, в то время как планеты обладают 98% ее общего момента количества движения, при этом большая часть момента «принадлежит» планетам-гигантам. Не ясно, каким образом момент передается (или передался в момент образования системы) от центрального тела к внешним частям системы.

- Во время формирования планет внутри солнечного облака слагающее его вещество должно было сильно дифференцироваться по химическому составу, в результате чего Нептун и Уран оказались состоящими из элементов II группы, Сатурн и Юпитер – из элементов I группы, а планеты земной группы – из элементов III группы. Механизм такой химической дифференциации не ясен.

- Понимание природы вихревых движений во всем масштабе движений от галактик до элементарных частиц может привести к появлению новых физических представлений о свойствах пространства – времени.

Фактически, речь должна идти о формировании языка общения, на котором мы сможем вести «Новый диалог с Природой» (определение И. Пригожина и И. Стенгерс (1986)), задавая «рабочие» вопросы и получая адекватные ответы (Тимашев, 2003).

В этой связи весьма интересным представляется новый подход к Солнечно-Земным связям, развиваемый К.Г. Леви с соавторами (Леви и др., 2002; 2003).

Создан принципиально новый курс лекций, не имеющий аналогов, как в нашей стране, так и, по-видимому, за рубежом: «Современная геодинамика и гелиогеодинамика». Этот курс (Леви и др., 2003; с. 3) «... призван ознакомить студентов с современными представлениями о геодинамике планеты, взаимосвязями различных природных и социальных процессов и причинами, порождающими экстремальные ситуации в природе и социуме с оценкой роли влияния Солнца на происходящие в окружающей среде изменения. Гелиогеодинамика – это самостоятельное естественнонаучное направление, изучающее взаимодействие геосфер Земли между собой и внешним миром. Основной целью гелиогеодинамики является, прежде всего, выявление периодичности возникновения экстремальных природных ситуаций и прогноз тех явлений, которые могут иметь место в случае неблагоприятного развития процессов не в одной, а одновременно в нескольких геосферах и в связи с проявлением солнечной активности. При этом авторы полагают, что в природе катастроф не бывает и что под термином «катастрофа» нужно понимать лишь социально-экономическую оценку потерь в результате возникновения той или иной экстремальной природной ситуации. Окружающий нас мир чрезвычайно сложен по своей внутренней структуре, а взаимосвязи между экстремальными событиями и явлениями, происходящими вокруг нас, организованы иерархично и системно».

В результате большой работы коллектива авторов был проведен широкомасштабный сбор хронологических данных об аномальных явлениях в природе и социуме на большой по площади территории Сибири и Монголии в течение времени, превышающем последние 500 лет нашей истории (Леви и др., 2003; с. 374). «Не все закономерности развития процессов выявлены, не все сопоставления осуществлены, но сделано главное – положено начало планомерному сбору сообщений о тех или иных аномальных явлениях. Эта работа продолжает оставаться необходимой, несмотря на развивающиеся исследования в области мониторинга различных природных процессов так же, как и наблюдения за солнечными пятнами и вычисление чисел Вольфа,

отражающих вариации солнечной активности. Наверное, не везде нам удалось убедить читателя в справедливости нашего взгляда на всеобъемлющее влияние Солнца на все, что происходит на нашей матушке – Земле, но начатые исследования мы намерены продолжать в этом направлении. Важным во взаимоотношениях в системе «Солнце-Земля» является постоянное запаздывание реакции земных процессов на солнечное воздействие. Складывается впечатление, что природная среда накапливает в себе это воздействие или объем солнечной энергии до критических значений, после которых она не способна удерживать эту энергию в себе и реагирует возникновением аномальных природных явлений. Это проявление своеобразной «упругости» природной среды по отношению к солнечному воздействию».

Выявление физических механизмов, обеспечивающих такого рода комплексные взаимосвязи между геофизическими и социальными явлениями, по-видимому, дело будущего.

Однако существование взаимосвязей между этими явлениями и активностью Солнца, по-видимому, не вызывает сомнений и наводит на мысль о моментной, вихревой природе таких физических механизмов. Действительно, с одной стороны, согласно (Сидоренков, 2002), все геофизические явления в той или иной степени взаимосвязаны с режимом вращения Земли и его нестабильностями. С другой - согласно (Тимашев, 2003; с. 115-117), «...11-летняя цикличность обусловлена не собственной внутренней динамикой Солнца как звезды (трудно на основе собственных параметров Солнца сконструировать соответствующее «характерное время»), а со сложной динамикой всей солнечной системы. Еще в 1965 г. путем компьютерных расчетов было показано, что центр Солнца движется относительно центра масс солнечной системы (барицентра) по сложной траектории и может удаляться от барицентра на расстояния, превышающие удвоенный солнечный радиус (Долгачев, Доможилова, Хлыстов, 1991). Причина этого состоит в том, что на долю Солнца приходится только около 2% общего момента количества движения солнечной системы, хотя массовая доля составляет 99,9%. Однако такое сложное движение центра масс Солнца (его характерный период составляет 179 лет), обычно, не связывают с иницированием 11-летнего цикла, несмотря на то что период обращения Юпитера, наиболее критичной в данном рассмотрении планеты, составляет около 11 лет. (На долю Юпитера приходится более 60% орбитального углового момента (табл. 1.2, с. 37) и около 80% собственного вращательного момента в солнечной системе (табл. 1.3, с. 38) – А.В.). Согласно (Тимашев, 1991; 1993) соответствующие оценки необходимо проводить, учитывая, что Солнце – деформируемая система. При сложном движении центра масс солнечного шара относительно барицентра вещество Солнца должно проявлять себя как вязкая сжимаемая среда, подверженная приливным воздействиям. Следует ожидать некоторого деформирования формы Солнца с изменением плотности приповерхностных участков, а также генерации противоположно направленных вихревых движений. Интенсивность генерации вихрей зависит как от вектора ускорения центра масс Солнца относительно барицентра, так и от производной этого вектора по времени. Можно полагать, что именно такие вихри иницируют появление солнечных пятен».

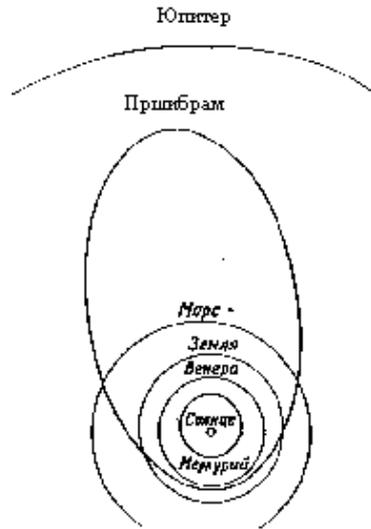
Вихревые движения оказывают решающее влияние на жизнь Солнца, включая и его активность, и согласно данным работы (Потапов, Фоминский, Потапов, 2000).

***Предмет физики Земли. 1. Земля в Солнечной системе. Планеты земной группы и планеты - гиганты, их отличительные признаки.*** Для образования солнечной системы не требовалось каких-то особых условий. Тем самым можно принять, что даже в нашей Галактике имеются еще миллионы планетных систем, подобных солнечной. И такие системы в последние годы обнаружены (Леви и др., 2002).

Значения плотностей планет и радиусов их орбит приведены в табл. 1.1 и на рис. 1.9. Последовательность радиусов планетных орбит приближенно описывается геометрической прогрессией - так называемым законом Бодде или Бодде-Тициуса:

$$R_n = R_0 m^n, \quad (1.1)$$

где  $R_0$  – примерно равен половине радиуса орбиты Меркурия,  $R_n$  - радиус n-ой (считая от Солнца) планеты,  $m = 1,89$ . Закон Бодде сыграл важную роль в открытии астероидов, или малых планет, которые группируются в районе "недостающей планеты" (между Марсом и Юпитером рис. 1.9, 1.11).



**Рис. 1.11.** Орбита метеорита, упавшего в 1959 г около Прибрама (Чехословакия)

На рис. 1.10 представлена диаграмма распределения плотности в системах Земля – Луна и ядро Юпитера – его спутники в зависимости от удаленности спутников от материнских планет (средних радиусов орбит). Данные, приведенные в табл. 1.1 и на рис. 1.9, показывают, что образование и планет солнечной системы и их спутников происходило по вполне определенным законам.

Другая важная особенность орбитальных движений в солнечной системе - это распределение момента количества движения (табл. 1.2; 1.3). Все планеты обращаются

**Таблица 1.2.** Распределение орбитального углового момента планет в солнечной системе.

Планета	Масса, $M_3 = 1$	Радиус орбиты, $R \cdot 10^6$ км	Период сидерический, $\tau$ , сутки	$\tau$ , $10^8$ сек	$\omega = 2\pi / \tau$ , $10^9$ сек <sup>-1</sup>	Момент, $\bar{M}$ $10^{50}$ г·см <sup>2</sup> ·сек <sup>-1</sup>	Момент, $\bar{M}$ [%] (n) (k)
Меркурий	0,053	57,91	87,969	0,07601	826,2	0,000008777	0,00028 (9) (7)
Венера	0,815	108,21	224,701	0,1941	323,5	0,0001845	0,0057 (6) (-)
Земля	1,0	149,60	365,256	0,3156	200,0	0,00002675	0,00085 (8) (6)
Марс	0,107	227,9	686,98	0,5935	105,8	0,00003514	0,0011 (7) (5)
Юпитер	318,0	778,3	4332,6	3,743	16,78	1,932	61,333 (1) (1)
Сатурн	95,22	1428	10759,2	9,296	6,756	0,7841	24,892 (2) (2)
Уран	14,55	2872	30687	26,51	2,369	0,1699	5,394 (4) (-)
Нептун	17,23	4498	60184	52,00	1,208	0,2517	7,990 (3) (3)
Плутон	0,9	5910	90700	78,36	0,8014	0,0151	0,479 (5) (4)
						$\Sigma = 3,15$	100,00%

*Примечание:*  $M_3 = M_{\text{Земли}} = 5,977 \cdot 10^{27}$  г., (n) – номер в порядке убывания значения момента, (k) – номер в порядке убывания значения момента с исключенными данными для Венеры и Урана.  $\bar{M} = MR^2\omega$  - орбитальный момент планеты с массой M, орбитальным радиусом R и угловой скоростью вращения  $\omega = 2\pi/\tau$  вокруг Солнца.

вокруг Солнца, а их спутники вокруг планет в одном направлении; их орбиты близки к круговым и лежат в одной плоскости. Имеются лишь несколько исключений, по-видимому, связанных между собой. Это Плутон, орбита которого наклонена к плоскости земной орбиты (эклиптике) под углом  $17^{\circ}$  и настолько вытянута, что пересекает орбиту Нептуна (рис. 1.1) и два спутника Нептуна - Тритон, обращающийся вокруг Нептуна в обратную сторону, и Нереида, орбита которой очень сильно вытянута. Имеются спутники с обратным движением у Юпитера и Сатурна.

**Таблица 1.3.** Распределение собственного вращательного момента планет в солнечной системе.

Планета	Масса, $M_3 = 1$	Экваториальный радиус, r км	Период вращения, T вокруг оси	$\Omega = 2\pi/T$ , $10^4 \text{ сек}^{-1}$	Момент, $\bar{M}$	
					$10^{46} \text{ г см}^2 \text{ сек}^{-1}$	[%] (n) (k)
Меркурий	0,053	2420	58,7 дня	0,0013	0,00000002	$10^{-3}$ (8) (7)
Венера	0,815	6200	242,98 дня*	0,0003	- 0,000000006	$4 \cdot 10^{-6}$ (9) (-)
Земля	1,0	6378,39	23 ч 56 м 4,1 с	0,729	0,0000018	$0,9 \cdot 10^{-3}$ (6) (5)
Марс	0,107	3400	24 ч 37 м 22,6 с	0,754	0,00000006	$3 \cdot 10^{-5}$ (7) (6)
Юпитер	318,0	71400	9 ч 50 м 30 с	1,774	1,72	78,7 (1) (1)
Сатурн	95,22	60400	10 ч 14 м	1,706	0,35	16,0 (2) (2)
Уран	14,55	23800	0,89 дня*	0,817	- 0,00004	0,002 (5) (-)
Нептун	17,23	22300	0,53 дня	1,365	0,1	4,6 (3) (3)
Плутон	0,9	3000	6,39 дня	0,0011	0,0151	0,7 (4) (4)
					$\Sigma = 2,185$	100,00%

Примечание:  $M_3 = M_{\text{Земли}} = 5,977 \cdot 10^{27}$  г., (n) – номер в порядке убывания значения момента, (k) – номер в порядке убывания значения момента с исключенными данными для Венеры и Урана.  $\bar{M} = I\Omega$  – момент,  $I = 8/15\pi r^5$  – момент инерции планеты,  $\rho = \frac{M}{4/3\pi r^3}$  – ее средняя плотность

Наша собственная планета - Земля - изучена в геофизическом отношении несравненно лучше всех других планет. Не составляет особого труда оценить те параметры для Меркурия, Венеры и Марса, которые изучены для Земли. Тем самым закладываются основы использования геофизических методов к изучению планет земной группы в близком будущем.

Важнейшей задачей физики планет является изучение планет-гигантов: Юпитера, Сатурна, Урана, и Нептуна. В этих планетах сосредоточена основная доля массы планет Солнечной системы и практически весь ее момент количества движения. Тем самым изучение планет-гигантов выдвигается как первоочередная задача. В последние десятилетия, в результате данных, полученных американскими спутниками, запущенными в сторону планет – гигантов, накоплен большой материал и по планетам – гигантам и их спутникам.

2. Предмет и задачи дисциплины, история ее установления как типично пограничной науки. Связь с другими науками. Роль отечественных и зарубежных ученых. В дальнейшем под физикой Земли мы будем понимать тот раздел теоретической геофизики, который занимается изучением физического состояния и физических свойств материала твердой Земли в целом и крупных ее частей, а также рассматривает физические и физико-химические процессы, протекающие в недрах земного шара и обусловившие современную структуру нашей планеты.

Вопросы, изучаемые физикой Земли, давно привлекали внимание исследователей. Не останавливаясь на фантастических взглядах о строении и развитии Земли, господствовавших в древности и средние века, отметим, что весьма интересные мысли по этому вопросу были высказаны на рубеже XV и XVI веков Леонардо да Винчи. В частности, им была предложена гипотеза, сходная с гипотезой изостазии. Вопрос о фигуре Земли, как фигуре равновесия вращающейся жидкой массы, был впервые рассмотрен Ньютоном, но после известной работы Клеро по этому труднейшему вопросу было сделано очень мало до знаменитых исследований известного русского математика А.М. Ляпунова в конце XIX - начале XX веков.

В XVIII в. русский ученый М.В. Ломоносов разработал научные основы геологии и наметил удивительные по глубине подходы к решению вопросов о развитии Земли и о силах, действующих в недрах земного шара, в частности, о природе землетрясений. В начале XIX в. Эли де Бомон, исходя из космогонической гипотезы Канта-Лапласа, выдвинул гипотезу о постепенном остывании и сжатии Земли, гипотезу, не оставленную еще и в наше время. Первые серьезные исследования влияния радиоактивного тепла на термический режим Земли были сделаны В.Г. Хлопиным. Математическая сторона вопроса была рассмотрена А.Н. Тихоновым. Глубокие соображения по этому вопросу были высказаны В.И. Вернадским.

Вопрос о внутреннем строении Земли, об изменении плотности с глубиной рассматривался еще Лежандром, который сделал заслуживающую внимания попытку решить этот вопрос. Существенные успехи в решении этого вопроса геофизики стали возможными лишь после разработки методов научной сейсмологии, основателем которой явился известный русский геофизик и физик Б.Б. Голицын. Он первый дал и научно обоснованную схему внутреннего строения Земли.

Основываясь на данных сейсмологии, К.Е. Буллен произвел расчет изменения плотности и упругих постоянных внутри Земли. Наиболее полное решение этого вопроса с привлечением ряда других данных было дано советским ученым М.С. Молоденским. Интереснейшие результаты по вопросу о внутреннем строении Земли были получены в исследованиях В.И. Вернадского, А.Е. Ферсмана и других советских геохимиков.

В настоящее время физика Земли подошла к той стадии развития, на которой встает вопрос о крупных обобщениях и об интерпретации в свете данных современной физики материала, собранного различными геофизическими исследованиями. Это обобщение должно привести к выработке общей физической и физико-химической теории строения и процессов внутри Земли.

Физика Земли тесно связана с геологией, для которой она должна дать совместно с геохимией физико-химическую основу для выработки правильной концепции геологического развития Земли, на которую могла бы опираться геологическая практика. Следует отметить тесную связь физики Земли и с космогонией, от которой она берет данные об исходном состоянии Земли. Но и само познание закономерностей строения и развития Земли помогает успешному решению космогонических проблем.

Надо ясно понимать, что большинство геофизических процессов являются очень сложными и с трудом поддаются научному анализу (Ботт, 1974). Данные, относящиеся к этим явлениям, нельзя считать ни свободными от посторонних влияний, ни полученными в одинаковых условиях. О точном анализе во многих случаях не может быть и речи. В таких условиях смутные предположения становятся гипотезами, а гипотезы именуются теориями. Неправдоподобные теории встречаются в изобилии, а отвергнуть их с полной убедительностью бывает трудно, так как часто находится новый (возможно, несущественный) фактор, который раньше не учитывался. Геологи знакомы с этим обстоятельством и приспособились к нему. Физик, впервые встречающийся с такой ситуацией, может быть обескуражен. Поэтому его следует предупредить об истинном положении дел. В целом ряде задач строгое исследование дает очень мало, логическая

цепь во многих местах разорвана и связывается лишь при помощи интуитивных суждений.

Такого рода трудности, стоящие перед дисциплиной «Физика Земли», ее место в науке и, в то же время, важность и масштабность решаемых этой наукой задач мы и постарались подчеркнуть настоящим I разделом книги.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Бери Б.Л.** Периодичность геофизических процессов и ее влияние на развитие литосферы // Эволюция геологических процессов в истории Земли. М.: Наука. 1993. С.53–62.
2. **Берснев И.И.** Осевое вращение Земли как одна из причин геотектогенеза // Строение и развитие земной коры. М.: Наука. 1964. С.194–200.
3. **Борисов А.В., Мамаев И.С., Соколовский М.А.** (ред.) Фундаментальные и прикладные проблемы теории вихрей. М.-Ижевск: ИКИ. 2003. 704 с.
4. **Викулин А.В.** Физика волнового сейсмического процесса // Петропавловск-Камчатский: КОМСП ГС РАН - КГПУ. 2003. 151 с.
5. **Викулин А.В.** (ред.) Вихри в геологических процессах. Петропавловск-Камчатский: КГПУ. 2004. 297 с.
6. **Викулин А.В., Мелекесцев И.В.** Сейсмичность, вулканизм Тихого океана и вращение планеты // Българско геофизично списание. 1997. Т. XXIII. № 1. С.62-68.
7. **Владимиров В.И., Романов А.Е.** Дисклинации в кристаллах. Л.: Наука. 1970. 224 с.
8. **Волков Ю.В.** Вихревые структуры рифтовых зон Земли // Система планета Земля. М. 2002. С.257.
9. **Вопросы** материаловедения № 1 (29). СПб.: ЦНИИ КМ «Прометей». 2002. 480 с.
10. **Воронов П.С.** Роль ротационных сил Земли в истории становления структуры ее литосферы. // Эволюция геологических процессов в истории Земли. М.: Наука. 1993. С.104–114.
11. **Гелл-Манн М.** Вопросы на будущее // Фундаментальная структура материи. М.: Мир. 1984. С. 266.
12. **Геодезические** и геологические данные о японской островной дуге и ее обрамлении // Окраины континентов и островные дуги. М.: Мир. 1970. С. 216 – 236.
12. **Геологический** словарь. Т. 1, 2. М.: Недра. 1978. 942 с.
13. **Гуревич Л.Э., Чернин А.Д.** Происхождение галактик и звезд. М.: Наука. 1983. 192с.
14. **Гущенко О.И.** Реконструкция поля мегарегиональных тектонических напряжений сейсмоактивных областей Евразии // Поля напряжений и деформаций в литосфере. М.: Наука. 1979. С.26–51.
15. **Дмитриевский А.Н., Володин, И.А., Шипов Г.И.** Энергоструктура Земли и геодинамика. М.: Нака. 1993. 156 с.
16. **Долгачев В.А., Доможилова Л.М., Хлястов А.И.** Особенности движения центра масс Солнца относительно барицентра // Тр. Гос. астроном. Ин-та им. П.К. Штернберга. 1991. Т. 62. С. 111-115.
17. **Ефимов И.И., Куликов У.А., Рабинович А.Б., Файн И.В.** Волны в пограничных областях. Л.: Гидрометеиздат. 1985. 280 с.
18. **Иванов Б.Н.** Законы природы. М.: Высшая школа. 1986. 336 с.
19. **Ильичев В.И., Шевалдин Ю.В.** О природе Западно-Тихоокеанской переходной зоны // Докл. АН СССР. 1986. Т.290. № 3. С.570–573.
20. **Каттерфельд Г.Н.** Лик Земли. М.: ГИГЛ. 1962. 152 с.
21. **Кац Я.Г., Козлов В.В., Полетаев А.И., Сулиди-Кондратьев Е.Д.** Кольцевые структуры Земли: миф или реальность. М.: Наука. 1989. 190 с.
22. **Комаров В.И., Пановкин Б.Н.** Занимательная астрофизика. М.: Наука. 1984.
23. **Кузнецов В.В.** Физика Земли и Солнечной системы. ИГГ. Новосибирск. 1984.
24. **Кузнецов В.В., Семаков Н.Н., Доровский В.Н., Котляр П.Е.** Физика Земли. Новый взгляд

- на некоторые проблемы. Новосибирск. Наука. 1989.
25. **Кузнецов В.В.** Физика Земли и Солнечной системы. Новосибирск: ИГГ. 1990.
  26. **Кузнецов В.В.** Физика земных катастрофических явлений. Новосибирск. Наука. 1992.
  27. **Кузнецов В.В.** Физика горячей Земли. Новосибирск. 2000.
  28. **Кулаков А.П.** Морфоструктуры Востока Азии. М.: Наука. 1986. 176 с.
  29. **Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.** Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М.: Наука. 1974. 752 с.
  30. **Ларин В.Н.** Гипотеза изначально гидридной Земли. М. Недра. 1980.
  31. **Латкин А.С.** Вихревая структура звездных планетарных систем Вселенной // Вихри в геологических процессах. Петропавловск-Камчатский: КГПУ. 2004. С. 241-245.
  32. **Леви К.Г., Язев С.А., Задонина Н.В., Бердникова Н.Е., Воронин В.И., Глызин А.В., Куснер Ю.С.** Современная геодинамика и гелиогеодинамика. Иркутск: Изд-во ИрГТУ. 2002. 182 с.
  33. **Леви К.Г., Задонина Н.В., Бердникова Н.Е., Воронин В.И., Глызин А.В., Язев С.А., Баасанджан Б., Нинжбадгар С., Балжинян Б., Буддо В.Ю.** Современная геодинамика и гелиогеодинамика. Иркутск: Изд-во ИрГТУ. 2003. 383 с.
  34. **Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А.** Курс теоретической физики. Том II. М.: Наука. 1971. 936 с.
  35. **Ли Сы-гуан.** Геология Китая. М.: Изд. иностр. литературы. 1952. 146 с.
  36. **Ли Сы-гуан.** Вихревые структуры Северо-Западного Китая. М.-Л.: Госгеолтехиздат. 1958. 130 с.
  37. **Личков Б.Л.** Движение материков и климаты прошлого Земли Л.: АН СССР. 1931. 133 с.
  38. **Маракушев А.А., Моисеенко В.Г., Сахно В.Г., Тарарин И.А.** Петрология и рудоносность Тихого океана // Тихоокеанская геология. 2000. Т. 19. №6. С. 3-136.
  39. **Маслов Л.А.** Геодинамика литосферы тихоокеанского подвижного пояса // Хабаровск-Владивосток: Дальнаука. 1996. 200 с.
  40. **Мелекесцев И.В.** Вихревая вулканическая гипотеза и некоторые перспективы ее применения // Проблемы глубинного вулканизма. М.: Наука. 1979. С.125-155.
  41. **Мелекесцев И.В.** Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 1980. 212 с.
  42. **Милановский Е.Е., Никишин А.Л.** Западно-Тихоокеанский рифтовый пояс // Бюлл. Моск. о-ва испыт. природы. Отд. Геол. 1988. Т. 63. Вып. 4. С.3-15.
  43. **Мясников Е.А.** Магматические и рудоконтролирующие морфоструктуры центрального типа. На примере Верхнего Приамурья. Владивосток: Дальнаука. 1999. 84 с.
  44. **Назиров М.** Исследование закономерностей формирования крупномасштабных геолого-геоморфологических структур по космическим фотоизображениям // Изв. высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 1975. № 4. С.67-75.
  45. **Незлин М.В.** Солитоны Россби (экспериментальные исследования и лабораторная модель природных вихрей типа Большого Красного Пятна Юпитера) // УФН. 1986. 150. Вып.1. С.3-60.
  46. **Орленок В.В.** Основы геофизики. Калининград: Калининградский гос. университет. 2000. 448 с.
  47. **Полетаев А.И.** Сдвигово-ротационная мотивация структурной эволюции Земли // Тектоника и геофизика литосферы. Материалы совещания. Т. II. М.: 2002. С.104-107.
  48. **Потапов Ю.С., Фоминский Л.П., Потапов С.Ю.** Вихревая энергетика и холодный ядерный синтез с позиции теории движения. Кишинев-Черкассы: Око-Плюс. 2000.
  49. **Пригожин И., Стенгерс И.** Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. М.: Прогресс. 1986. 432 с.
  50. **Розен О.М., Федоровский В.С.** Граниты и гранитошнейсовые ареалы в коллизионных системах. 2000. [http://geo.web.ru/~sgt/articles/1/page\\_3\\_4.htm](http://geo.web.ru/~sgt/articles/1/page_3_4.htm)
  51. **Рыбин В.В.** Закономерности формирования мезоструктур в ходе развитой

- пластической деформации // Вопросы материаловедения №1 (29). СПб.: ЦНИИ КМ «Прометей». 2002. С.11–33.
52. **Сато Х.** Повторные геодезические съемки // Методы прогноза землетрясений. Их применение в Японии. М.: Недра. 1984. С.108–120.
  53. **Сафронов В.С., Витязев А.В.** Происхождение солнечной системы // Итоги науки и техники. Астрономия. Т. 24. М.: ВИНТИ. 1983. С. 5-93.
  54. **Сидоренков Н.С.** Физика нестабильностей вращения Земли. М.: Физматлит. 2002. 384 с.
  55. **Симаков К.В.** Введение в теорию геологического времени. Становление. Эволюция. Перспективы. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. 1999. 557 с.
  56. **Слезняк О.И.** Вихревые системы литосферы и структуры докембрия. Киев: Наукова Думка. 1972. 181 с.
  57. **Стейси Ф.** Физика Земли. М.: Мир. 1972. 344 с.
  58. **Структурная геология и тектоника плит.** Т. 1–3. М.: Мир. 1990-1991. 1046 с.
  59. **Тимашев С.Ф.** Роль химических факторов в эволюции природных систем: (Химия и экология) // Успехи химии. 1991. Т. 60. С. 2292-2331.
  60. **Тимашев С.Ф.** Физикохимия глобальных изменений в биосфере // Журнал физической химии. 1993. Т. 67. С. 16—165.
  61. **Тимашев С.Ф.** О базовых принципах «Нового диалога с Природой» // Проблемы геофизики XXI века. Книга первая. М.: Наука. 2003. С. 104-141.
  62. **Шейдеггер А.** Основы геодинамики. М.: Недра. 1987. 384 с.
  63. **Шило Н.А.** О механизме образования Солнечной системы // Тихоокеанская геология. 1982. №6. С. 20-27.
  64. **Шипов Г.И.** Теория физического вакуума. М.: Изд-во ООО «Кириллица-1»ю 2002. 128 с.
  65. **Шмидт О.Ю.** Четыре лекции о происхождении Земли. Изд. 3. Доп. М.: Изд-во АН СССР. 1957.
  66. **Шолпо В.Н.** Структура Земли: упорядоченность или беспорядок? М.: Наука. 1986. 160 с.
  67. **Шолпо В.Н.** Феномен упорядоченности структуры Земли и проблемы самоорганизации // Система планета Земля. М. 2001. С.6–9.
  68. **Уфимцев Г.Ф.** Черты порядка в глобальном рельефе Земли. Тихоокеанская геология. 1988. № 4. С.105–113.
  69. **Уфимцев Г.Ф.** Мегарельеф Земли: общая симметрия, Западно-Тихоокеанская диссимметрия и планетарные процессы // Закономерности строения и динамики планет земной группы. Хабаровск. 1992. С.41–42.
  70. **Фурмарье П.** Проблемы дрейфа континентов. М.: Мир. 1971. 256 с.
  71. **Эстерле О.В.** Новое представление о пространстве и времени в рамках целостной парадигмы // Система планета Земля. М. 2003. С.185–192.
  72. **Яншин А.Л.** Вероятная эволюция геофизических полей в истории Земли, в сб. Эволюция геологических процессов в истории Земли. Под ред. Н.П.Лаверова. М. Наука, 1993, 240с.
  73. **Carey S.W.** The expanding Earth. Amsterdam. Elsevier. 1976.
  74. **Fujiwhara S., Tsujimura T., Kusamitsu S.** On the Earth-vortex, Echelon Faults and allied Phenomena // Gerlands Beiträge zur Geophysik, zweite Supplementband. 1933. P.303-360.
  75. **Haveman H.** Neues Erklärungsmoment zum Mechanismus der Kontinentsverschiebungen // Die Naturwissenschaften. 1929. B.17. H.38. S.748.
  76. **Hochstetter.** Unser Wissen von der Erde // Geologie Th. 11. Kirchoff. 1886.
  77. **Hughes T.** Coriolis perturbation of mantle convection related to a two phase convection model // Tectonophysics. 1973. V.18. P.215–230.
  78. **Kanasewich E.R., Havskov J., Evans M.E.** Plate tectonics in the Phanerozoic // Canadian J. of the Earth Scieeces. 1978. V.15. N 6. P.919–955.

79. **Lee J.S.** Some Characteristic Structural Types in Eastern Asia and Their Bearing upon the Problems of Continental Movements // *Geol. Mag.* LXVI. 1928. P.422-430.
80. **Madelung E.** Quantentheorie in hydrodynamischer Form. *Z. fur Phys.* 40. 3. 4. 1926. 327 p.
81. **Jackson E.D., Shaw H.R., Bargar K.E.** Calculated geochronology and stress field orientations along the Hawaiian chain // *Earth Planet Sci.Lett.* 1975. V.26. P.145–155.
82. **Pan Ch.** Polar instability, plate motion, and geodynamics of the mantle // *J. Phys. Earth.* 1985. V.33. N 5. P.411–434.
83. **Takeuchi A.** Pacific swing: Cenozoic episodicity of tectonism and volcanism in Northeastern Japan // *Memoir of the Geological Society of China.* 1986. N 7. P.233–248.
84. **Whitney M.I.** Aerodynamic and vorticity erosion of Mars: Part II. Vortex features, related systems, and some possible global patterns of erosion // *Geol. Soc. America Bull., Part I.* V. 90. 1979. P.1128-1143.

