

ГРАВИТАЦИЯ И ЖИЗНЬ

Обратим внимание на явный парадокс из истории Земли: Известно, что еще 100 млн. лет тому назад на Земле росли деревья, размеры которых были больше современных, на Земле обитали динозавры, максимальные размеры которых значительно превышали максимальные размеры современных животных. Причем, известны случаи, когда размеры некоторых древних животных были близки современным, например, слон и - мастодонт. Однако скелет мастодонта был значительно массивнее, чем у слона. Явно напрашивается возможная связь размеров живых существ с силой тяжести на Земле.

С другой стороны, многие геологи убеждены, что на Земле раньше не было высоких гор. Сошлемся, например, на известного геолога, академика А.Л.Яншина, который полагал, что "... на протяжении первых трех миллиардов лет истории Земли высокие горы на её поверхности не существовали" (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). Вполне возможной причиной этого явления было то, что сила тяжести на Земле раньше была больше современной.

Заметим, что высота горы на планете - величина не случайная, она может быть оценена из соотношения: $\rho g H = \sigma$, где σ - предел текучести материала литосферы. Эту величину можно принять равной примерно 3 кбар, тогда максимальная высота гор $H \approx 10$ км, что чуть больше, чем высота самых высоких гор на Земле (> 8 км). Как известно, на Марсе высота гор выше: $H \approx 25$ км, т.е. примерно в 3 раза больше чем на Земле, но ведь и сила тяжести на Марсе $g = 360 \text{ см/с}^2$ – примерно в три раза ниже земной. Казалось бы, есть основания считать, что $H \sim 1/g$. Если принять, что сила тяжести раньше была больше, то налицо явный парадокс. Живая природа, в которой скорее наблюдается $L \sim g$, по характеру зависимости от силы тяжести явно отличается от «неживой», в которой $H \sim 1/g$. Посмотрим, можно ли найти разрешение этого парадокса, однако прежде обратимся к вопросу, что же известно о силе тяжести в прошлом

Величина ускорения силы тяжести $g = GM/R^2$, где M - масса Земли, R - ее радиус, G - гравитационная постоянная. Коэффициент пропорциональности G необходим для согласования размерностей обеих частей равенства. Ньютон показал, что G величина постоянная и открытый им закон тяготения - универсален. Общая теория относительности (ОТО) Эйнштейна так же содержит G в качестве фундаментальной константы.

Как следует из формулы g , сила тяжести на поверхности Земли может измениться со временем, если будут меняться: гравитационная постоянная, масса Земли или ее радиус, а так же скорость вращения планеты. Рассмотрим возможные модели, в которых эти параметры могут изменять свои значения в течение времени эволюции Земли.

С точки зрения физики, наибольший интерес представляет идея об изменении величины гравитационной постоянной G высказанная Дираком. Он обратил внимание на безразмерную постоянную $e^2/4\pi G m_e m_p$, которая по порядку величины равна 10^{40} . Эта постоянная может быть получена следующим образом. Сила взаимодействия протона и электрона в атоме водорода обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними: $F_e = e^2/4\pi r^2$. То же самое относится и к гравитационному взаимодействию: $F_g = G m_e m_p / r^2$. Если составить отношение электростатической силы к силе гравитационной, то получится постоянная Дирака. П. Дирак высказал предположение (гипотеза больших чисел), что такое большое число в природе не может быть случайным. Он связал это число с возрастом Вселенной. По последним оценкам ее возраст (T) составляет примерно 18 млрд.

лет. Год, это весьма искусственная единица времени. Дирак воспользовался атомной единицей времени, в которой за отсчет берется интервал времени в течение которого свет проходит "сквозь" классический электрон $e^2/4\pi\epsilon_0 m_e c^3$. Возраст Вселенной в этих единицах оказывается равным $\approx 10^{40}$. Дирак предположил, что эти очень большие числа действительно равны, т.е.: $e^2/4\pi G m_e m_p \approx T$.

В атомной системе единиц заряд электрона e , массы протона и электрона m_p и m_e постоянны, а возраст Вселенной T растет, следовательно, должна изменяться гравитационная постоянная ($G \sim 1/T$). В соответствии с возрастом Вселенной за год это изменение должно составлять 5×10^{-11} .

П. Дирак обратил внимание еще на одну очень большую безразмерную величину - полную массу Вселенной, выраженную в массах протона (примерно 10^{80}). Согласно гипотезе больших чисел следует ожидать, что это число пропорционально возрасту Вселенной в квадрате ($\sim T^2$). Это означает, что во Вселенной должно рождаться вещество, причем рождаться непрерывно. Сам Дирак предположил два различных механизма этого явления: либо новое вещество непрерывно рождается во всем пространстве (аддитивное рождение), либо оно рождается рядом с уже существующим (мультипликативное рождение). В предположении аддитивного рождения вещества масса Солнца M_\odot остается приблизительно постоянной величиной, следовательно $(G \times M_\odot) \sim 1/T$. Если имеет место мультипликативное рождение, $M_\odot \sim T^2$, т. е. $(G \times M_\odot) \sim T$.

Идеи П.Дирака были развиты и обобщены В.Кануто, П.Джорданом, Р.Дике и др. Проводимые ими исследования в значительной степени касались изменения во времени величины земного радиуса и величины ускорения силы тяжести в зависимости от вариации гравитационной постоянной (см. рис.3.7). Кануто (Canuto, 1981) предполагал возможность вариации величины G , при этом, он считал, что при вариациях земного радиуса происходит превращение части потенциальной гравитационной энергии в энергию электромагнитного поля (?). Дике (Dicke, 1962) показал, что нет принципиальной разницы между предположениями об изменении массы и изменении гравитационной постоянной. Можно предположить, что в постоянной Дирака изменяется со временем электрический заряд, однако, как показано (Sabbata, 1980), это противоречит современным экспериментальным данным.

Общая теория относительности не удовлетворяет тезису Дирака, но может быть соответствующим образом обобщена, что было сделано сперва Джорданом (Jordan, 1979), а затем Брансом и Дике (Brans, Dicke, 1961). Из теории Джордана вытекает факт творения материи. Бранс и Дике, введя дополнительное к гравитационному скалярное поле, собственно связанное с изменением величины G , "обошли" эту трудность.

Идея "творения" материи, т.е. постоянный рост массы Земли в процессе ее эволюции, по всей видимости, принадлежит русскому, И.О.Ярковскому (1889) (Carey, 1976). Эта идея развивалась О.Хильгенбергом (Hilgenberg, 1933), поддерживалась С.Кэри (Carey, 1976) и, пожалуй, в большей степени русскими, И.В.Кириловым, В.Ф.Блиновым (1984) и др. Нельзя не отметить серию работ К.Е.Веселова (1976, 1981, 1984, 1993), в которых автор для объяснения концепции глобального рифтогенеза, пытается создать корпускулярную модель гравитационного поля. В ее основе лежит необоснованное предположение о наличии гипотетического "гравитационного вакуума", в котором с огромной скоростью носятся частицы (по всей видимости, гипотетические гравитоны).

График поведения во времени величины g , следующий из "корпускулярной модели гравитации и инерции" Веселова, так же как и для других моделей, приведен на рис.3.7.

Альтернативная всем предыдущим и поэтому стоящая несколько в стороне, гипотеза была высказана Каппом (Karr, 1960), предложившим идею, согласно которой масса Земли 2 млрд. лет тому назад была примерно в 30 раз больше современной, а ее радиус - в три раза больше. Капп считал, что в процессе эволюции Земли ее недра подвергались гравитационному коллапсу, в результате действия которого терялась ее масса (?). Этот процесс он называл buckling, что можно перевести как затягивание ремня пряжкой (другой, шуточный вариант - жениться) (рис. 3.7). Эта идея перекликается с подходом развиваемым Холмсом (Holmes, 1965), согласно которому в процессе эволюции Земля подвергалась деструкции и уплотнению. Ее изначально "пустые" внутренние объемы сжимались, выбрасывая на поверхность Земли атмосферные газы и воду.

Менялось ли гравитационное поле Земли в процессе её эволюции? Ответить однозначно на этот вопрос нельзя и в наше время. Прошло четверть века с момента написания профессором университета в Рединге (Англия) А.Д.Стюартом (Stewart, 1970) обзора "Palaeogravity" на эту тему. Некоторые вопросы, затронутые им, были уточнены за прошедшие с той поры 25 - 30 лет, получены новые экспериментальные данные. Однако нельзя сказать, что в выяснении этого вопроса был бы достигнут большой прогресс. Надо заметить, что тематика исследований, связанных с поведением гравитационного поля Земли в прошлом, не была эти годы особенно популярной. Новых работ появилось довольно мало. Тем не менее, несмотря на определенные успехи в области изучения стабильности во времени гравитационной постоянной и массы Земли, появляются статьи и книги, в которых авторами игнорируются экспериментально полученные данные по стабильности этих параметров. Стюартом были рассмотрены основные идеи, касающиеся физических моделей, в которых оказывается возможным изменение со временем величины силы тяжести на поверхности Земли. Здесь добавлены известные автору немногочисленные работы, в которых предпринималась попытка оценки величины g в прошлом (Stewart, 1972; Смирнов, Любина, 1969; Шмидт-Нильсон, 1976; Кренделев, 1977). Основные результаты экспериментов по оценке степени стабильности массы и гравитационной постоянной заимствованы из статей (Flandren, 1975; Милуков, 1986; Shapiro et al., 1976).

Сжатие глин давлением гравитации (весом вышележащих слоев) Стюарт считал идеальной системой для измерения величины силы тяжести в прошлом. Он разработал метод, хотя и не позволяющий определить точную величину палеогравитационного поля, но дающий возможность найти скорость уменьшения ускорения силы тяжести g со временем (Stewart, 1972). Стюарт полагал, что если величина g в прошлом была больше современной, то, вполне возможно, что некоторые тонкозернистые осадочные породы могли оказаться уплотненными в большей степени, чем это должно было бы произойти, если бы они уплотнялись под весом осадочного слоя существующего в настоящее время. Процесс уплотнения происходит относительно быстро и является практически необратимым, поэтому такие "свидетели" переуплотнения могли бы сохраниться.

Стюарт произвел измерения степени консолидации осадков в Лондонском бассейне. Он нашел, что глины в обнажениях этого бассейна консолидировались при более высоких давлениях, чем давления, соответствующие современной максимальной толщине перекрывающих осадков в Лондонском бассейне. Стюарт допускал, что здесь могли быть еще слои осадков, которые затем были размыты. Однако если консолидация глин произошла все же за счет большей величины силы тяжести в прошлом (у Стюарта - 26 млн. лет назад), то величина g не могла быть больше современной в два раза. Это означает, что максимально возможное уменьшение g за последние 26 млн. лет составляет 4×10^{-8} в год.

Холмс считал метод оценки величины g по углам осадочных слоев совершенно непригодным. Тем не менее, такие исследования были выполнены Смирновым и Любиной (1969). Авторы этой работы проанализировали информацию по углам наклонов косых серий в дюнах водной и эоловой природы и углам наклонов фронтальных откосов этих образований из отложений различного возраста (от раннего протерозоя по кайнозой). На довольно малой и непредставительной выборке авторы приходят к выводу, что с течением времени углы наклона косых серий изменяются и, по их мнению, скорее уменьшаются, чем возрастают и, что этот эффект связан с увеличением ускорения силы тяжести с течением времени. Правомерность этого вывода вызывает сомнение. С другим выводом авторов нельзя не согласиться, что ... "реконструкция g является важнейшей задачей науки о Земле" (Смирнов, Любина, 1969, стр. 877).

Размер крыльев летающих животных и скорость движения крыльев, согласно Стюарту, находятся в соответствии с их весом и величиной силы тяжести:

$$m g = 1/2 \times (C S \rho v^2),$$

где C - безразмерный коэффициент, S - площадь поверхности крыльев, ρ - плотность воздуха, v - скорость движения крыла. Первое, что следует из этой формулы, это связь между ускорением силы тяжести и величинами S и m . Большая сила тяжести в прошлом у животных с одинаковой массой тела требовала больших размеров крыльев (при равной скорости их движения).

Для оценки энергетики (мощности) организма животного вводится понятие интенсивность метаболизма (M). Под этим имеется в виду превращение определенных веществ (белков, глюкозы и т.п.) внутри клеток с момента поступления веществ до образования конечного продукта. Интенсивность метаболизма измеряется в (ккал/сутки) и имеет смысл и размерность мощности. Интенсивность метаболизма для животных самых разных размеров (от крысы до быка) удивительно постоянно зависит от их веса, но заметно отклоняется от прямой зависимости от площади поверхности. Многочисленные исследования подтвердили, что наклон прямой в зависимости интенсивности метаболизма от веса составляет 0,734: $M \sim (mg)^{0.734}$, или: $\approx (mg)^{3/4}$ (Шмидт-Нильсон, 1976). Зависимость: $M \sim (mg)^{3/4}$ давно известна для животных, однако недавно аналогичная зависимость получена и для растений (Гиляров, 1999). Под M здесь понимается величина, характеризующая интенсивность использования растениями ресурсов и их продуктивность.

С другой стороны, как показал Стюарт, $M \sim L$ (L - линейный размер летающего животного, в частности, птицы). Поэтому, полагая очевидными пропорции: $M \sim L \sim (mg)^{3/4}$; $(mg)^{3/4} \sim (L g)^{3/4}$ (если считать правомерной пропорцию: $m \sim L$, а не $m \sim L^3$, как в неживой природе); $L \sim (L g)^{3/4}$; величина L оказывается зависимой от g : $L \sim g^3$.

Как это может показаться ни парадоксально, но с увеличением силы тяжести должен возрастать размер животных. Ведь, казалось бы, на первый взгляд, что мелкому животному легче преодолеть большую величину силы тяжести, чем более крупному. Оказывается, что это ошибочное представление. Большие размеры животных (и растений) в прошлом, в этом случае, доказывают большую величину силы тяжести, чем ее современное значение.

Стюарт делает оценку величины g по относительному весу скелета животных. При этом он использует формулу Эйлера для оценки величины нагрузки на кость скелета (F):

$$F = \pi^2 E \times I / L^2,$$

E - модуль Юнга, I - момент инерции [$I = (k \pi r^4)/4$], L - длина кости, r - ее радиус, k - константа. Подставляя, получаем:

$$F = \pi^3 k E / 4 \times (r^4 / L^2).$$

Полагая, что F должна быть примерно равной mg , где m масса животного, зависимость размеров от величины ускорения силы тяжести может быть получена из пропорции:

$$mg \sim r^4 / L^2.$$

Масса скелета m_c , по всей видимости, пропорциональна: $m_c \sim r^2 L$, тогда величина g :

$$g \sim m_c^2 / m L^4,$$

оказывается пропорциональной отношению массы скелета животного m_c к массе его тела (в квадрате) и обратно пропорциональной размеру животного (в кубе):

$$g \sim \alpha^2 / L^3, \quad \alpha = m_c / m, \quad L \sim m.$$

Рассмотрим в качестве примера, два животных с одинаковыми линейными размерами, современного слона и его предка – мастодонта. Они имели одинаковую массу, но отличались друг от друга массой скелета, причем, как следует из книги Шмидт-Нильсона (1976), скелет мастодонта более громоздкий, чем у слона. Это свидетельствует в пользу того, что сила тяжести раньше была больше чем теперь.

Итак, мы показали, что максимальные размеры животных $L \sim g^{-3}$, в то время как $H \sim 1/g$. Обратим внимание на то, чем отличается в Природе живое от неживого. На эту тему имеется много различных критериев и подходов. Будем считать, что отличие живой Природы от неживой заключается в способности первой к метаболизму, т.е. способности клеток к преобразованию одних веществ, в другие.

Как мы отмечали выше, более 100 лет тому назад Е. Рубнер (Шмидт-Нильсон, 1976) на примере собак показал, что интенсивность метаболизма M линейно связана с площадью поверхности животных: $M \sim S$. В то же время, как мы отмечали выше, наблюдается $M \sim (mg)^{3/4}$. Преобразуем $M \sim (mg)^{3/4}$ в: $m \sim M^{4/3}/g$, полагая $m \sim L$, получаем: $L \sim M^{4/3}/g$. Если соотношение $L \sim g^{-3}$ реально, то интенсивность метаболизма M должна зависеть от силы тяжести: $M^{4/3} \sim g^4$, или $M \sim g^3$.

Если замеченные нами свойства метаболизма ($M \sim g^3$) и веса скелета ($\alpha \sim g^5$) действительно имеют место в Природе, то всё это должно приводить к весьма важным последствиям:

- 1) Интенсивность метаболизма древних организмов и животных была выше, чем у современных, и она понижается по мере уменьшения на Земле величины силы тяжести.
- 2) Жизнь на Земле может возникнуть только при наличии силы тяжести, следовательно, она не могла быть принесена на Землю из Космоса.
- 3) Причина глобальных исчезновений видов живых организмов, происходивших ранее на Земле, возможно, связана с резкими изменениями силы тяжести, которые, в свою очередь, могли происходить в моменты изменения величины земного радиуса. Вымирание динозавров и исчезновение больших деревьев
- 4) Зависимость относительной массы скелета животных от силы тяжести, при изменении её в течение эволюции Земли, может оказывать значительное влияние на смену биологических систем и видов животных.

Гиляров А.М. Универсальные закономерности использования пространства животными и растениями. Природа. 1999. №2. С. 108-109.

Шмидт-Нильсон К. Как работает организм животного М.: Мир. 1976. 140 с.

Stewart A.D. Palaeogravity in Palaeogeophysics (edit. by Rankorn, S.K) Academic Press, London, 1970.

Stewart A.D. Palaeogravity from the compaction of fine-grained sediments. Nature. V. 235. P. 322. 1972.

Van Loon A.J. A case of present-day geological gigantism. *Earth-Science Rev.* 2001. V. 55. P. 181-189.

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.

Метаболизм – от греч. *metabole* – превращение обмен веществ, в более узком смысле – превращение определенных веществ внутри клеток с момента их поступления до образования конечных продуктов