

УДК 523.214; 523.4

Солнечная система, экзопланеты и антропный принцип

В.А. Котов

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный
vkotov@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 8 января 2009 г.

Аннотация. Показано, что планетные расстояния Солнечной системы распределены в соответствии с L_0 -резонансом, где $L_0 = c \times P_0 = 19.24$ а. е. – длина волны “космологического колебания” Вселенной (его природа неизвестна). Здесь c – скорость света и $P_0 = 160$ мин – период пульсаций Солнца и Вселенной, оказавшийся равным $1/9$ земных среднесолнечных суток. Экзопланеты же не имеют L_0 -резонанса; зато они обнаруживают в среднем пространственный резонанс на шкале 14.8 а. е., указывающей на механизм формирования экзопланетных систем, отличающийся от общепринятого (не из околозвездных туманностей, а путем захвата “мезопланет”). Отсюда также следует, что L_0 -резонанс – отличительная особенность именно Солнечной системы. Это делает $L_0(P_0)$ -аспект антропного принципа реализующимся только вблизи Солнца, выделяя нашу планетную систему из множества наблюдаемых экзопланетных систем. Этот факт делает более очевидным антропный принцип в его сильной формулировке, локализуя его эффективность. Он тесно связан, по-видимому, с появлением жизни на Земле, что делает бесперспективными – неожиданно, печально и завораживающе – всякие разговоры о внеземных цивилизациях.

THE SOLAR SYSTEM, EXOPLANETS AND THE ANTHROPIC PRINCIPLE, *by V. A. Kotov*. It is shown that the planetary distances of the Solar system are distributed in accordance with the L_0 resonance where $L_0 = c \times P_0 = 19.24$ A.U. – the wavelength of a “cosmological oscillation” (of unknown nature) of the Universe. Here c speed of light and $P_0 = 160$ min is a period of pulsations of the Sun and the Universe, which happens to be $1/9$ th of the mean terrestrial day. Exoplanets however exhibit no L_0 resonance; in average they reveal, instead, the spatial resonance for the scale of 14.8 A.U. indicating the mechanism of formation of exoplanetary systems which differs from the commonly accepted one (not from the near-star nebulae but by a capture of “mesoplanets”). It follows hence that the L_0 resonance is the distinctive peculiarity just of the Solar system. This makes the $L_0(P_0)$ aspect of the anthropic principle being realized near the Sun only, distinguishing our planetary system from a number of observed exoplanetary systems. This fact makes the anthropic principle, in its strong formulation, much more evident, localizing its efficiency. It is intimately related perhaps to an appearance of life on Earth, thus leaving – astonishingly, sadly and charmingly – all talks on extra-terrestrial civilizations with no prospect.

Ключевые слова: Солнце, Солнечная система, внесолнечные планеты, антропный принцип

1 Вступление: Космос, Солнце и экзопланеты

За последние два с половиной тысячелетия совершен огромный прогресс (?) в понимании Вселенной. Ее модели претерпели многократные революционные изменения – от гигантских древних

“китов”, “слонов” и “черепак” до “страшного” Большого взрыва и “бешеной” инфляции, крошечных хиггсовских бозонов и многомерных модернистских суперструн (которых никто, однако, не видел). Но оказалось, что мы живем в удивительном мире, где загадки продолжают умножаться. В частности, в связи с недавними открытиями “ускорения” расширения Вселенной, темных материи и энергии, космической “антигравитации”, сказочных свойств вакуума и обнаружением возле других звезд множества внесолнечных планет (экзопланет). И чтобы понять и описать Вселенную, нам приходится теперь непрерывно играть в “космическую угадайку”, блуждая в чертогах все новых космологических призраков и привидений, среди нескончаемого и увлекательного карнавала экзотических идей и понятий, обаятельных мифов и иллюзий подобия.

И неспроста поэтому Хокинг (1990), один из творцов современной космологии и мифических “черных дыр”, в своей книге часто рассуждает о роли Бога в сотворении Вселенной. И в отчаянии восклицает: “Пока мы считаем, что у Вселенной было начало, мы можем думать, что у нее был Создатель. Если же Вселенная действительно полностью замкнута и не имеет ни границ, ни краев, то тогда у нее не должно быть ни начала, ни конца: она просто есть, и все! Остается ли тогда место для Создателя?”

На вопрос, почему “солнечники” начали исследовать экзопланеты наряду со “звездниками”, можно ответить словами Есенина: “Лицом к лицу лица не увидать. Большое видится на расстоянии...” И еще аргумент: со времени трагического костра 1600 г., сжегшего Джордано Бруно, все астрономы так или иначе интересуются следами внеземной жизни за пределами Земли и даже вне Солнечной системы (СС). Поэтому, как сообщает журнал “*В мире науки*”, большинство астрономов начала XXI в. самым большим открытием последнего десятилетия считает открытие внесолнечных планет. А именно тот факт, что с 1995 г. СС перестала быть единственной известной нам планетной системой Галактики (см., например, Найе, 2005; Ксанфомалити, 2006а, б). И теперь с новой силой возникает вопрос (цит. Шнайдер, 2008): “А люди, похожие на нас, существуют и живут ли среди звезд, которые мы видим ночью?”

Что касается наблюдений Солнца, то в 1974 г. в КраО была начата длительная программа по обнаружению малоамплитудных периодических доплеровских смещений фотосферы как свидетельства глобальных пульсаций нашей звезды. В итоге была открыта пульсация с периодом $P_0 = 160$ мин, природа которой до сих пор не установлена (см. Котов и др., 2005). Примечательно, что период оказался близким к периоду гипотетической планеты, обращающейся вокруг Солнца на расстоянии, равном его радиусу R_\odot :

$$P_y = 2\pi \left(\frac{R_\odot^3}{GM_\odot} \right)^{1/2} = 167 \text{ (min)}, \quad (1)$$

где G – постоянная Ньютона, M_\odot – масса Солнца. Четверть века тому назад Блииников и Хлопов (1983) выдвинули даже гипотезу, что периодические возмущения фотосферы вызваны планетарным объектом, состоящим из необычного y -вещества массы $\sim 10^{-7}M_\odot$ и обращающимся внутри Солнца с периодом P_0 .

Придуманное Окунем (1980) y -вещество, взаимодействующее с обычной материей только посредством гравитации, теперь надо отождествлять, наверное, с гипотетической “темной материей” Космоса? Хотя нам пока неизвестны ни ее состав, ни структура, ни какие-либо определенные свойства, кроме одного, и то *гипотетического*, создавать гравитацию и взаимодействовать с обычным, барионным и “видимым” веществом путем гравитации. Мы пока даже не знаем, собрано ли оно в “кочки”, в отдельные тела или равномерно “распылено” в пространстве.

Средняя за много лет амплитуда P_0 -колебаний солнечной фотосферы примерно 0.5 м/с. Слежение за этой пульсацией – фактической провозвестницей поиска аналогичных доплеровских смещений других звезд и тем самым открытия экзопланет – продолжается в КраО уже 34 года.

К началу 2008 г. открыто уже 270 планет на орбитах возле других звезд (Шнайдер, 2008); часть из них – в 26 планетных системах, состоящих из двух или более планет. Небольшой процент экзопланет обнаружен по транзитах (прохождениям по диску родительской звезды), большинство же – по крошечным периодическим доплеровским смещениям поверхности звезды, обусловленным гравитационным воздействием на нее со стороны планеты. Такие наблюдения дают пока только размер

кеплеровской орбиты (с большой полуосью a), эксцентриситет e и минимальную массу (выраженную, как правило, в массах Юпитера M_J , умноженную на $\sin i$, где i – угол наклона плоскости орбиты к лучу зрения). Массы открытых экзопланет – в пределах от $0.012M_J \sin i$ до $21.5M_J \sin i$. Существующие методы и инструменты позволяют обнаружить лишь массивные планеты, поскольку вероятность найти планеты земного типа, конечно, пока весьма низкая.

На некоторых экзопланетах с помощью телескопа им. Хаббла удалось обнаружить водород, а также следы натрия, углерода и кислорода. С помощью космического телескопа *Spitzer* вокруг молодой звезды HD 113766, с массой более массы Солнца, недавно обнаружен пояс из космической пыли, вещества которого достаточно для формирования планеты размером с Марс. Пояс состоит из твердых пород, подобных породам земной коры, и сульфидов металла, похожих на материалы ядра Земли. Пылевой пояс находится в т. н. “обитаемой зоне”, что означает возможность существования воды. И астрономы уже трепетно ищут там – на потенциально сформировавшихся планетах – признаки наличия жизни. Большинство “горячих юпитеров” обнаружено на низких круговых орбитах, что противоречит современной теории формирования планет (приходится думать о сильной миграции “горячих юпитеров”: вблизи звезд нет материала для образования планет-гигантов). Цит. Ксанфомалити (2006б): “Внесолнечные планеты предлагают теоретикам столько вопросов, что в пору всю теорию образования планет писать заново. А наивный вопрос: почему миграции нет в нашей Солнечной системе? – им лучше не задавать”. И действительно, если миграция – правило, то чем объяснить стабильность орбит наших планет-гигантов и существование внутренних планет? Замечено также, что, в отличие от СС, у экзопланет малый эксцентриситет скорее исключение, чем правило. Как считает Ксанфомалити, обнаруженные экзопланеты, в совокупности, разрушили старое представление о том, что СС – типичное явление Галактики.

Но для астрономов именно такие объекты являются предтечей поиска органической жизни вне нашей планетной системы. Дискуссии на эту тему то стихают, то усиливаются в связи с открытиями новых экзопланет, а также с возобновляющимися время от времени спорами о принципе целесообразности, или *антропном принципе* (АП). Суть его в том, что важные предпосылки жизни на Земле, некоторые свойства СС и Вселенной сильно и тонко зависят от кажущихся случайными “совпадений” среди констант природы. Или в расплывчатой формулировке английских астрофизиков (цит. Розенталь, 1984): “... существование ‘наблюдателя’ во Вселенной накладывает ограничения на физические законы”.

2 Антропный принцип: диковина философии и астрономии?

Неудовлетворительность антропного объяснения численных соотношений между физическими и космологическими константами вызвана тем, что эти соотношения не предсказывают каких-либо особенностей или закономерностей Вселенной и не приводят к точным значениям констант (дают только порядок величин). Но и современная наука не в состоянии объяснить константы и соотношения, указать источник физических и космологических законов.

Некоторые исследователи связывают АП со “странными” соотношениями, существующими между константами природы, и фактом обитаемости Земли, хотя принцип, по сути, идет против хода всей истории науки. При этом обращают внимание и на то обстоятельство, что жизнь могла возникнуть только в нашем трехмерном пространстве и при наших физических законах, а “во вселенных с хотя бы слегка другими массами элементарных частиц не было бы обычного вещества” (Новиков, 1990; см. также Архангельская и др., 2006). Ибо наша Вселенная оказывается чрезвычайно неустойчивой по отношению к небольшому изменению физических законов и ряда констант: оно привело бы к невозможности образования звезд и галактик и даже существования самих элементарных частиц и атомов. И не сформировались бы “наблюдатели” на планетах. Суть АП кратко сформулирована Хокингом (1990): “Мы видим Вселенную так, как мы ее видим, потому что мы существуем”. Защитники АП считают, что, возможно, принцип способен поднять науку на новую ступень познания, понять причину порядка, лежащего в основе Мироздания. Оппоненты же говорят, что его надо отнести скорее к метафизике и религии, чем к области серьезной науки. А вот Ксанфомалити (2006б), исходя из эстетических (или, может быть, метафизических?) соображений и

подчеркивая важную роль планет-гигантов для генезиса СС, осторожно замечает: “Существуют даже варианты ‘антропного принципа’, утверждающие, что самим своим возникновением и развитием земная жизнь обязана Юпитеру”.

При этом ссылаются на слабый или сильный АП. В первом подразумевается, что разные области Вселенной, или *домены*, развивались независимо друг от друга и случайно, или даже со своими физическими законами, и волей случая сложилось так, что мы живем в области с константами и “при законах”, очень комфортно подходящих для нашего существования. С изобретением “Божественного первотолчка” в виде инфляции возникло и объяснение “чуда” совпадения констант и решения проблемы неустойчивости Вселенной к их изменению. Оно состоит в том, что на инфляционной стадии якобы возникло огромное число метагалактик (вселенных) с разными значениями констант и даже с разными физическими законами, в том числе и наша Вселенная. Число таких метагалактик могло достигать 10^{100} (см. Архангельская и др., 2006). Сторонником множества “возникших вдруг” метагалактик был и Розенталя (1984); но вот что удивительно: число элементарных частиц в *обозримой* Вселенной оценивается величиной $\sim 10^{80}$, и оно гораздо меньше, чем число потенциальных вселенных... И в одной из таких вселенных, счастливой и удачной для нас, мы и живем, задавая вопросы Природе. Здесь, очевидно, тайна Вселенной “расшифровывается” путем введения другого, нового таинственного “образа” – инфляции, которая для нас якобы должна быть более приятной, понятной и простой.

В сильном варианте подчеркивается, что для возникновения Солнца, СС, Земли и нашей цивилизации, подбора констант и осуществления многих других условий (в частности, однородности температуры фонового излучения и скорости разбега галактик) потребовался очень точный выбор начальных условий Большого взрыва. И эта “тонкая и точная настройка” не могла осуществиться случайно, без вмешательства “Творца” или “Создателя”. И потому постулируется, что Вселенная – гигантское сооружение, существующее якобы только ради нас (цит. Хокинг, 1990: “Если бы Вселенная была другой, здесь не было бы нас!”).

Согласно АП, наблюдаемые соотношения между основными фундаментальными постоянными физики и космологии, причем на разных уровнях структур, только кажутся случайными. Сошлемся на обстоятельные работы Карра и Риса (1979) и Розенталя (1984), которые суммировали многие аспекты микромира и Вселенной и показали, что появление любых форм жизни на Земле очень чувствительно к тесному “совпадению” констант. Ими приведено множество численных совпадений – с точностью до порядка величины – между константами физики, астрофизики и космологии, которые, не находя разумного объяснения в рамках современной науки, подводят вплотную к АП.

Принцип тесно соприкасается и с т. н. проблемой “плоскостности” Вселенной, или проблемой Р. Дикке (R. Dicke). Он поражался фантастически точной настройкой Вселенной: в ранние эпохи отношение средней плотности Вселенной к критической $\Omega = 1$ с точностью до 10^{-60} , что следует считать неестественным (см. также Архангельская и др., 2006).

В качестве примера “неслучайных” совпадений Карр и Рис ссылаются, в свою очередь, на такие факты: размер планеты близок к геометрическому среднему размеров Вселенной и атома, а масса человека – к геометрическому среднему масс планеты и протона. В связи с этим отметим “содержание” АП, образно выраженное Дж. Уилером (J.A. Wheeler; цит. Новиков, 1990): “Существующего во Вселенной порядка вещей могло не быть без человека, но, поскольку есть человек, Вселенная именно такова”.

Карр и Рис приводят, в частности, такие “неслучайные”, или *антропные*, соотношения между константами физики, астрофизики и космологии:

$$\frac{R_{BH}}{M_{BH}} \sim 2 \frac{G}{c^2} = 2\alpha_G \frac{r_p}{m_p} \sim 1.5 \times 10^{-28} \text{ (cm/g)}, \quad (2)$$

$$M_{\odot} \sim \alpha_G^{-3/2} m_p, \quad (3)$$

$$R_U \sim cT_U \sim 2\alpha_G^{-1} \frac{\hbar}{m_e c} = 2a_0 \frac{\alpha}{\alpha_G} \sim 1.3 \times 10^{28} \text{ (cm)}, \quad (4)$$

где R_{BH} и M_{BH} – радиус и масса черной дыры, c – скорость света, \hbar – постоянная Планка, деленная на 2π , m_e – масса электрона, m_p – масса протона, $r_p = \hbar/m_p c \approx 2 \times 10^{-14}$ см – “размер протона” (его “комптоновская длина волны”), $a_0 = \hbar^2/m_e e^2 \approx 5.3 \times 10^{-9}$ см – радиус первой борновской орбиты (e – заряд электрона), $\alpha = e^2/\hbar c \approx 1/137$ – постоянная тонкой структуры, $\alpha_G = Gm_p^2/\hbar c \approx 6 \times 10^{-39}$ – т. н. “постоянная гравитационной тонкой структуры” (аналог α), $R_U \approx 10^{28}$ см и $T_U \approx 13.7 \times 10^9$ лет – радиус и возраст Вселенной соответственно.

Но Карр и Рис подчеркивают одновременно и слабость антропного объяснения совпадений в природе, как оно складывалось в конце прошлого века, оставаясь таковым до сих пор. И прежде всего по следующим причинам: (а) антропные соотношения не предсказывают пока каких-либо особенностей и закономерностей Вселенной, новых эффектов или явлений (хотя они в ряде случаев применяются при опровержении той или иной космологической модели), (б) формы разумной жизни могут быть не обязательно основаны на субстанциях и объектах нашего мира (не обязательно требовать присутствия тяжелых элементов, воды, специальных планет, звезд, галактик и т. д.), (в) антропные соотношения не приводят к *точным* значениям постоянных природы, физических констант связи и отношений масс, давая только порядок их величин. Тем не менее Карр и Рис считают, что АП – пока единственный интересный кандидат для объяснения замечательных совпадений, а открытие каждого дополнительного антропного соотношения делает его более (*post hoc*) очевидным. Последнее может в будущем приблизить АП к статусу физической теории, но лишь чуть-чуть: возможно, что АП никогда не возвысится до уровня теории, оставаясь всегда не более чем “философской диковинкой”, фокусом или шуткой Природы. И тем не менее, подчеркивают они, если даже “случайные” (антропные) соотношения будут объяснены будущей, пока несформулированной, единой теорией, все равно останется примечательным, что соотношения, диктуемые такой “Теорией Всего”, оказываются благоприятными для жизни.

3 Молчание Космоса

Сейчас астрономами доказано, что около 4 % звезд Галактики, по спектральным свойствам близких к классу Солнца, имеют планеты или даже планетные системы, в том числе, наверное, и с организованными формами жизни. Но Космос до сих пор поражает нас упорным молчанием. Почему? Тутуков (2007), радуясь “полному” избавлению астрономии начала XXI в. от геоцентризма (и тем самым отрицая АП), считает, что молчанию есть три причины: (а) мы “глухи” к существующим в “эфире” сигналам, т. е. технически пока не способны их детектировать, (б) существует внутренний “запрет” цивилизаций на контакты, (в) технологическая шкала времени цивилизаций слишком коротка для установления контактов. Наиболее очевидной причиной сокращения шкалы он считает изменение среды обитания самой цивилизацией, т. е. самоуничтожение (плюс “глобализм”, противодействующий естественному отбору и способствующий экологическим и социальным кризисам в масштабе планеты и деградации).

И Тутуков задает справедливый вопрос: а существуют ли вообще жизнь и цивилизации около других звезд? А мы добавим: может быть, наша планетная система чем-то выделенная? Короче: есть ли какая-либо особенность СС, коренное отличие от других планетных систем? Уникальны ли СС и наша цивилизация и по каким признакам?

В вопросе о важности или пустоте АП остается дилемма: или “это все” (т. е. совпадения) случайно, или существует *нечто*, нам неизвестное и обусловившее совпадения и антропные соотношения, вплоть до некоего “высшего замысла, плана” (см. аналогичное обсуждение Смирных, 1999). Ведь уровень нашего современного знания даже не позволяет обсуждать такие, например, вопросы: А почему константы, в частности c , G , \hbar , m_p , m_e , одни и те же на громадных расстояниях Вселенной? Что и как ими “управляет” и идеально точно настраивает? Что их определило, почему они всюду одинаковые? Что и каким образом “разрешает” определенные уровни энергии в атоме водорода (в модели Бора)? С какой скоростью (мгновенно, т. е. без скорости?) задаются физические законы, свойства частиц, полей и геометрия пространства, причем сразу по всей Вселенной? (Задумаешься не только о справедливости и неизбежности АП, но и об *иррациональности* Мира, или даже его *трансцендентальности*, т. е. непознаваемости по Канту. Или о принципиальной *недоказуемости*,

неполноте по Геделю – согласно его теореме неполноты любой системы аксиом или самой противоречивости бытия...) И действительно, все соотношения и совпадения наблюдаются нами как бы всюду – и в микромире, и в макромире, и в масштабе всей обозримой Вселенной – среди планет, звезд и галактик. Для АП не обнаружено пока никакого пространственного ограничения: нет *локальных* проявлений АП. Но можно ли в Космосе вообще найти нечто, указывающее на предпочтительное (по пространственной локализации) присутствие или “действие” АП? Нечто, наблюдающееся только на Земле или около Солнца, например, только в пределах СС?

И еще подчеркнем, что все совпадения пока не рассказывают нам, почему жизнь – именно в СС и на Земле. Может ли что-либо в пределах СС, Галактики или даже необозримой Вселенной предоставить нам доказательство уникальности СС и Земли по сравнению с другими звездами и их планетными системами?

Один из путей поиска такого “нечто” – анализ проявлений *когерентного космического колебания* с периодом $P_0 = 160.0101(2)$ мин, обнаруженного в 1974 г. у Солнца и остающегося загадкой для астрофизики (в скобках – стандартная ошибка в формате последних значимых цифр; см. обзор Котова, 1985). Следы загадочной периодичности P_0 найдены уже и за пределами СС – в мире переменных звезд и в вариациях светимости некоторых внегалактических источников, см. Котов (2007в), Котов и Лютый (2007).

4 Солнечная система: загадка осевого вращения

Пытаясь найти объяснение “солнечному” колебанию P_0 , Гоф (1983), Котов и Кучми (1985а) добавили к “пазлу” больше вопросов, чем ответов. Они обнаружили, что планеты и крупные астероиды почему-то стремятся вращаться вокруг своих осей с периодами, кратными 160 мин.

На рис. 1 приводим современный результат – резонанс-спектр $F(\nu)$, вычисленный для скоростей осевого вращения 16 самых больших тел СС: шести быстровращающихся планет и десяти крупнейших астероидов (не включены медленные ротаторы: Солнце, Меркурий, Венера и Плутон, а также мало изученные транснептуновые объекты). По определению, максимум $F(\nu)$ отвечает периоду, являющемуся *наилучшим общим кратным* или “синхронизирующим” для периодов вращения всех рассматриваемых объектов. На графике такой период равен 163(4) мин, что в пределах ошибки совпадает с периодом Солнца P_0 (см. Котов, 2006).

Современная наука не может ответить на вопрос: какая магическая сила космического происхождения заставляет так селективно (по отношению к P_0) вращаться планеты и крупные астероиды? К этому добавим, что вращение самой Земли находится в “мистически” хорошем резонансе с P_0 -колебанием: отношения периодов равны 8.974 и 8.999 для сидерического и синодического вращений соответственно.

5 Плутон, Эрида и L_0 -резонанс Солнечной системы

Для длины волны “таинственного” P_0 -колебания имеем: $L_0 = c \times P_0 = 19.24$ а. е. Факт, что некоторые планетные расстояния СС находятся в целочисленных отношениях с L_0 -масштабом, впервые (задолго до фактического открытия 160-минутных пульсаций Солнца) был отмечен Савэ (1946). Поясним: более 60 лет назад Савэ – по-видимому, именно на основе пространственных соизмеримостей внешних планет – постулировал, что период глобальных пульсаций Солнца (его “инфразвука”) равен $1/9$ сут, т. е. 160 мин.

На рис. 2 приведен резонанс-спектр $F_1(\nu)$ размеров, точнее, “длин окружностей” $2\pi a_i$ или “диаметров” $2a_i$, всех 11 главных объектов-орбит СС: десяти планет, включая Плутон и Эриду, и кольца астероидов. Здесь a_i – большая полуось, $i = 1, 2, \dots, N$ – порядковый номер орбиты от Меркурия, $i = 1$, до Эриды, $i = 11$. При вычислениях частота $\nu = P^{-1}$, где пробный период P в секундах, а соответствующая длина L – в свет. сек. Максимум спектра $F_1(\nu)$ показывает “световой” масштаб L' , который наилучшим образом соизмерим с орбитальными размерами СС: “длинами окружностей” $2\pi a_i$ и “диаметрами” $2a_i$ для внутренних и внешних орбит соответственно. Но в предыдущем

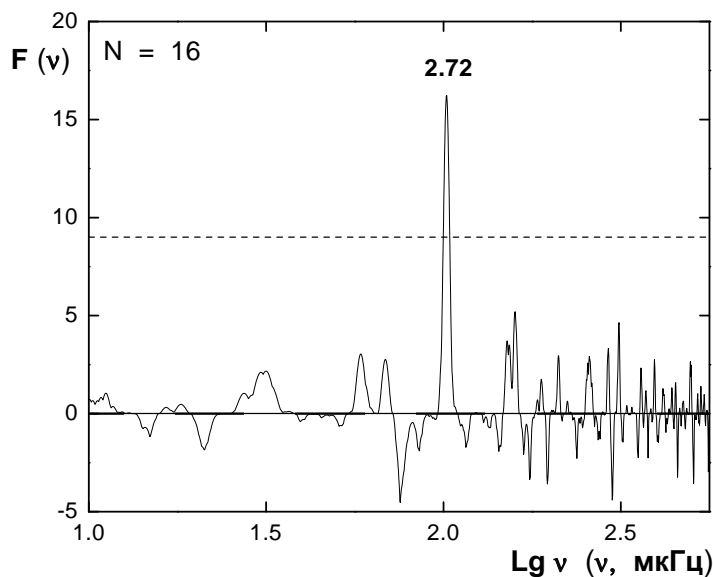


Рис. 1. Резонанс-спектр $F(\nu)$ для частот осевого вращения 16 самых крупных, с диаметрами более 300 км, и быстрых ротаторов Солнечной системы. По горизонтали – логарифм пробной частоты ν в мкГц; пунктирная линия показывает уровень значимости 3σ , главный пик соответствует периоду 2.72(7) ч

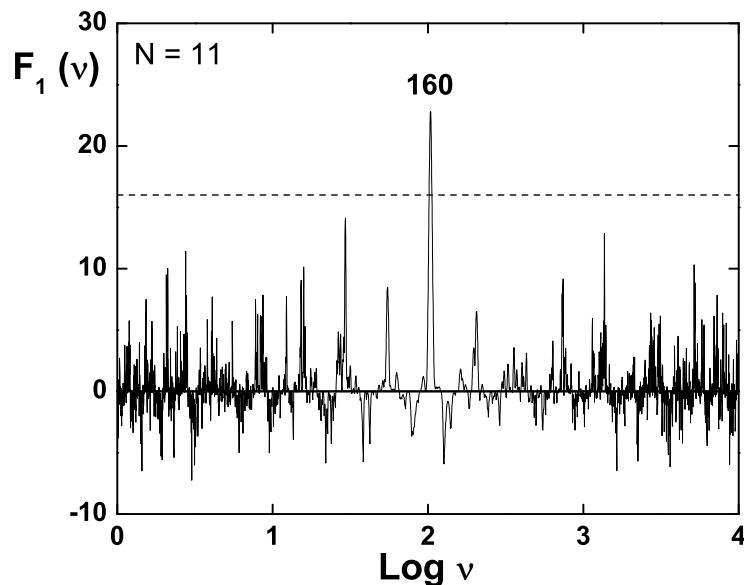


Рис. 2. То же, что на рис. 1, для резонанс-спектра $F_1(\nu)$ планетных орбит СС ($N = 11$, включая кольцо астероидов). Пунктирная линия отвечает априорному уровню значимости 4σ , главный пик соизмеримости отвечает масштабу 19.2 а. е. или 160 свет. мин

анализе (Котов и Кучми, 1985б; Котов, 2006) граница L'_1 между двумя типами соизмеримости или квази-резонанса (см. ниже) устанавливалась заранее (*ad hoc*) и принималась равной L_0 . Здесь же вычисления сделаны с *плавающей* границей: $L'_1 \equiv L$. Это существенно повышает достоверность и *силу* найденного пространственного L_0 -резонанса СС. Итак, здесь вычисления сделаны со следующей “полусвободой” выбора двух типов соизмеримости:

(А) если “длина окружности” $2\pi a_i > L$, то рассматривается целочисленная соизмеримость типа $Z_i \approx (2a_i/L)^k$, т. е. отношение “диаметра” к масштабу L ;

(Б) в противном случае рассматривается отношение L к “длине окружности” $2\pi a_i$, т. е. соизмеримость $Z_i \approx (L/2\pi a_i)^k$.

Для простоты и однозначности вычислений, чтобы всегда выполнялось условие $Z_i \geq 1$, степень k принимает значения $+1$ или -1 . Целью является поиск такого масштаба L' , который наилучшим образом, по методу наименьших квадратов, приближает Z_i к целым числам. Рис. 2 показывает, что единственным резонансным масштабом, определяющим пространственную структуру СС, является период 160(2) мин, соответствующий “длине волны” $L_0 = 19.2(3)$ а. е. Априорная значимость пика L_0 на рис. 2 – примерно 4.8σ . Поэтому даже с учетом предположения о типах соизмеримости А и Б и числа независимых пробных частот ν значимость резонанса исключительно высока; мы ее оцениваем не ниже 3.5σ , что отвечает вероятности $p \lesssim 3 \times 10^{-4}$.

Полученные на основе L_0 -резонанса соизмеримости всех 11 орбит, конечно, не могут не впечатлять любого астронома, знакомого с теорией резонансов:

$$a \approx L_0/2\pi Z - \quad (5)$$

для внутренних орбит (Меркурий, Венера, Земля, Марс и астероиды имеют $Z = 8, 4, 3, 2$ и 1 соответственно),

$$a \approx Z \times L_0/2 - \quad (6)$$

для внешних орбит (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон и Эрида имеют, соответственно, $Z = 1/2, 1, 2, 3, 4$ и 7). Легко также показать, что L_0 -соизмеримости (5) и (6) объясняют закономерность планетных расстояний от Меркурия до Урана включительно, сформулированную когда-то “наивными”, но достойно примечательными для астрономии Тициусом и Боде (Ньетто, 1976).

Уже несколько лет не утихают споры о том, является ли Плутон планетой. И у землян появилась новая причина недолюбливать астрономов и космогоию – недавнее шумное исключение Плутона из списка планет. А именно: XXVI Ассамблея МАС (Прага, 2006 г.; см. Ксанфомалити, 2007) в связи с открытием Эриды приняла резолюцию, лишившую и Плутона, и Эриду привилегии считаться планетами. Теперь они официально отнесены МАС к новому классу объектов – “карликовым планетам”. Мы же на основании (5) и (6) настаиваем, что Плутон и Эрида истинные *планеты* СС, а не надуманные “карлики” (Ксанфомалити, 2006а: “бряд ли Плутон с Хароном рыдают от горя...”; см. также Котов, 2007а).

6 А что говорят экзопланеты?

Как говорилось в п. 1, в списке Шнайдера (2008) содержатся данные о 270 экзопланетах – на 90 планет больше, чем в нашем первом анализе (Котов, 2007б). Сохранился ли для экзопланет необычный результат – отсутствие пространственного резонанса, подобного L_0 -резонансу СС? И особенно при новом важном обстоятельстве, что здесь мы вычисляем более “универсальный” спектр $F_1(\nu)$, с *плавающей* границей деления на внутренние и внешние орбиты.

Но сначала посмотрим на распределения орбитальных параметров для экзопланет с известными a и e , приведенные на рис. 3. Хорошо заметен большой процент экзопланет с очень малыми a . Но это может быть, конечно, результатом наблюдательной селекции: вероятность открыть планету с коротким периодом, т. е. вблизи звезды, гораздо выше, чем планету с большим периодом, и особенно по транзитам. И, однако, это все равно аномалия по сравнению с СС: очень много “горячих

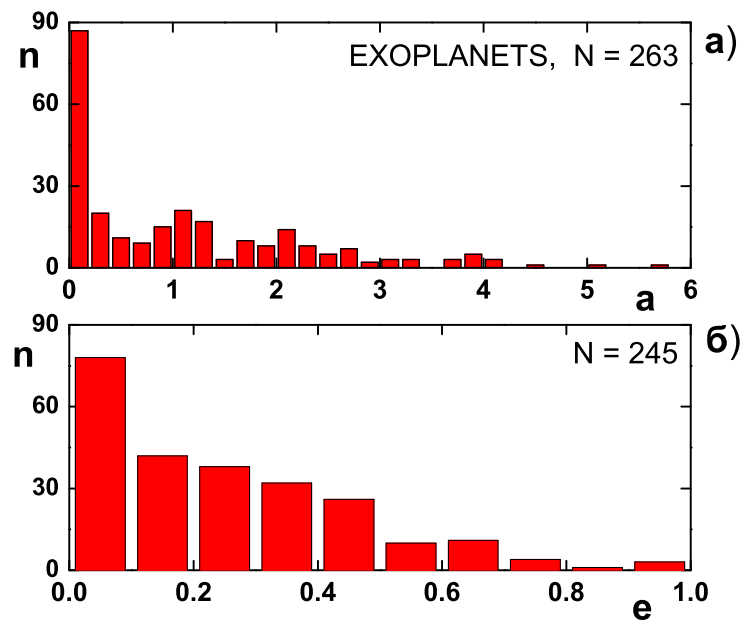


Рис. 3. Распределения (а) больших полуосей a (в а. е.) 263 экзопланет (шесть из них имеют $a > 6$ а. е. и не показаны на гистограмме) и (б) эксцентриситетов 245 экзопланет

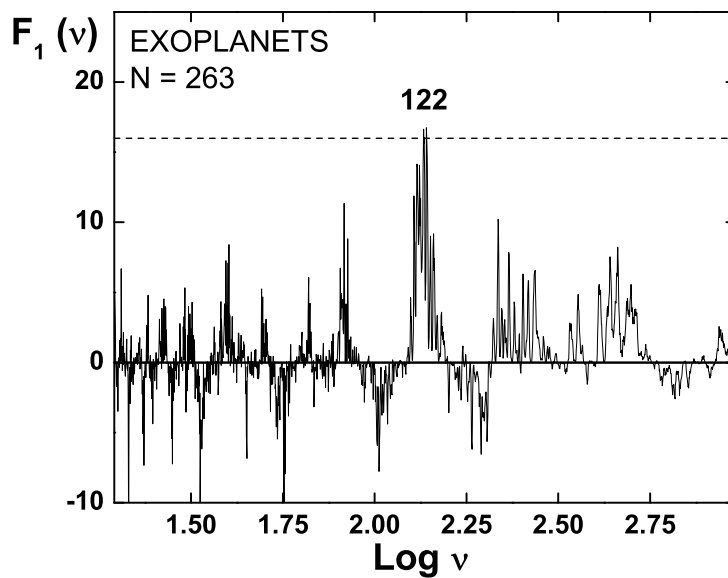


Рис. 4. То же, что на рис. 2, для всех 263 экзопланет с известными a из списка Шнайдера (2008). Главный пик соответствует периоду 122(2) мин

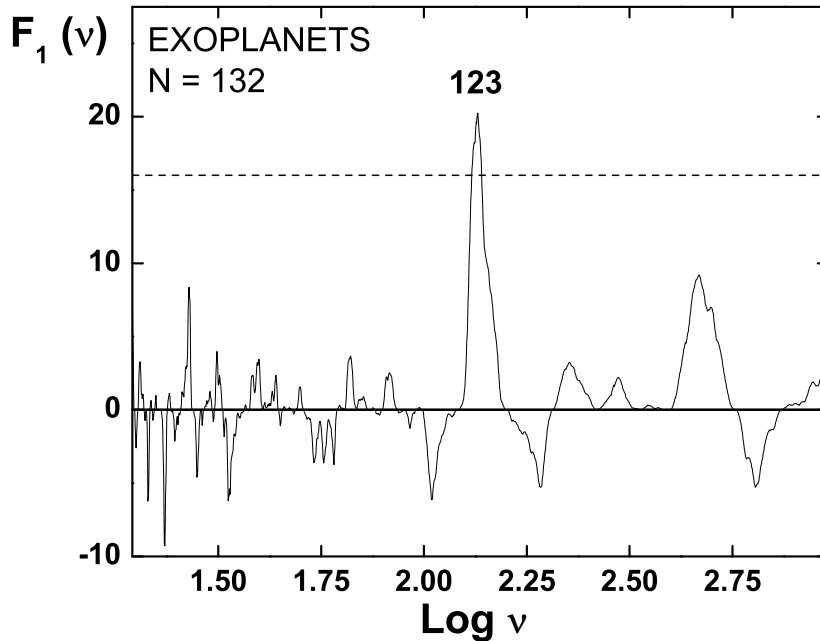


Рис. 5. То же, что на рис. 4, для 132 экзопланет, “имитирующих” СС: $0.3 \leq a < 100$ (а. е.), $e < 0.5$. Главный пик соизмеримости отвечает периоду 123(2) мин (при вычислениях принято $c = 1$)

юпитеров”, в отличие от нашей системы, расположено на низких орбитах (подробнее см. Ксанфомалити, 2006б). Есть и другая сильная аномалия, на которую обращают внимание все исследователи экзопланет. А именно, значительная доля имеет сравнительно большие эксцентриситеты: из 245 объектов с известными эксцентриситетами для 68 % $e > 0.1$. В нашей же системе только Меркурий, Плутон и Эрида имеют значительные эксцентриситеты: 0.21, 0.25 и 0.44 соответственно; для остальных семи наших планет $e < 0.1$.

Сначала вычислим спектр $F_1(\nu)$ для *всех* 263 экзопланет с известными большими полуосями, не делая какой-либо селекции по a и e . Спектр представлен на рис. 4, где видим единственный существенный пик соизмеримости, отвечающий масштабу 122(2) свет. мин. Его априорная значимость (т. е. без учета числа m независимых пробных частот) равна $W' = 4.1\sigma$. Фактическая же значимость W с учетом $m \approx 200$ примерно 2.6σ (достоверность 0.99 %).

Большие полуоси наших планет находятся в диапазоне от 0.39 а. е. (Меркурий) до 67.5 а. е. (Эрида), эксцентриситеты – от 0.0068 (Венера) до 0.44 (Эрида). Исходя из этого ограничим анализ сходной областью параметров и для экзопланет: $0.3 \leq a < 100$ (а. е.), $e < 0.5$. В списке Шнайдера 132 таких экзопланеты (с известными a и e), спектр $F_1(\nu)$ для них показан на рис. 5, где максимальный пик в пределах ошибки отвечает тому же “особенному” масштабу, что и на рис. 4: $L_1 = 123(2)$ свет. мин или 14.8(3) а. е., со значимостью $W' = 4.5\sigma$ ($W = 3.2\sigma$ или 99.86 %).

7 Феномен экзопланет: радиус захвата?

Итак, распределение экзопланетных a , в отличие от наблюдаемого в СС, не показывает резонанса для масштаба $L_0 = 19.24$ а. е. Зато для экзопланет имеет место выделенный масштаб $L_1 = 14.8(3)$ а. е. Это значит, что они статистически предпочитают располагаться на орбитах с большими полуосями

$$a \approx L_1/2\pi Z, \quad (7)$$

$$a \approx Z^k L_1/2 - \quad (8)$$

для внутренних и внешних экзопланет соответственно (Z – положительное целое число, $k = \pm 1$). Но если граница между внутренними и внешними орбитами СС составляет $b = L_0/2\pi = 3.06(5)$ а. е., то для экзопланет она расположена в среднем на расстоянии $b = 2.36(5)$ а. е. от родительской звезды. При этом расстояния между соседними внутренними “элитными” экзоорбитами, согласно (7), преимущественно равны $\Delta a \approx L_1/2\pi Z(Z+1)$, т. е. $\approx 1.18, 0.39, 0.20, 0.12$ (а. е.) и т. д. с ростом Z . Соответствующие же расстояния для внешних экзопланет (берем соизмеримости $k = +1$): $\Delta a \approx L_1/2 \approx 7.4$ а. е. Но в обоих случаях, конечно, возможны пропуски Z из-за отсутствия обнаруженных экзопланет. (Между внутренними и внешними экзопланетами есть и другая известная разница – в разном обилии больших эксцентриситетов: если среди первых 63 % имеют $e \geq 0.1$, то среди вторых – 95 %.)

Под натиском странных особенностей экзопланет Ксанфомалити (2006б) недавно подчеркнул необходимость нового подхода к объяснению планетных систем. Наш пекулярный результат – присутствие шкалы L_1 в распределении экзопланетных расстояний – еще больше обостряет проблему: шкалу вряд ли можно объяснить в рамках современной теории формирования планет из протопланетных туманностей. Можно предположить, однако, что $L_1/2\pi$ представляет собой радиус b “поперечного сечения” звезды для захвата протопланетных тел на внутренние орбиты. Такие прототела или “мезопланеты” (термин писателя-фантаста Исаака Азимова, только здесь – включая и внешние, захватываемые тела с массами “юпитеров”) с “прицельным расстоянием” $\lesssim b$ становятся внутренними экзопланетами, причем со значительной долей круговых орбит (из-за последующего сильного и частого гравитационного взаимодействия). Тела же с прицельным расстоянием больше (но не слишком) b захватываются на внешние орбиты и обладают в основном большими эксцентриситетами. Сам же захват можно представить как известный процесс в опытах Резерфорда по рассеянию α -частиц на атомных ядрах. Только там – взаимодействие частиц с зарядом ядра при участии кулоновских сил отталкивания, здесь же – звезда и “блуждающие” мезопланеты с участием гравитационной силы притяжения. И поскольку массы звезд солнечного типа не сильно различаются между собой, для их совокупности возможен некоторый средний или эффективный *радиус захвата* $b \approx L_1/2\pi$. Это, наверное, некоторое расстояние от звезды, на котором эффекты гравитационных воздействий на экзопланету со стороны звезды и других “юпитеров” за большое время уравниваются.

Напрашивается и поразительная, странная аналогия: распределение экзопланетных орбит (в среднем, статистически) напоминает картину *дифракции* света на круглом отверстии. Роль последнего, или в нашем случае некой “гравитационной линзы”, играет звезда, роль же “фотонов” – блуждающие мезопланеты. Результат – наблюдаемая совокупность внесолнечных планет – *статистически* проявляет себя так, как будто “жизненные пути” экзопланет (орбиты вокруг звезд) задаются некоей волновой функцией экзопланет, обеспечивающей “квантование” предпочтительных орбит.

Выдающаяся роль числа π для внутренних экзопланет обусловлена, по-видимому, необходимостью устранить или скомпенсировать на длительной шкале времени взаимные гравитационные возмущения внешних и внутренних “горячих юпитеров”. А именно: сделать максимально несоизмеримыми взаимные возмущения: орбиты, периоды которых находятся в антирезонансе между собой, наиболее устойчивы. (Заметим тем не менее, что резонансы – странная вещь: они бывают иногда “защищающими”, а иногда – “разрушающими”; см. Найе, 2005.) В качестве фактора такой “идеальной” несоизмеримости периодов или устойчивости орбит как раз и выступает трансцендентное число π (это имеет место, например, для тесных двойных звезд; Котов, 2008). И действительно, пусть имеем два “юпитера” – на внутренней и внешней круговых орбитах. Их периоды $P = 2\pi(a^3/GM)^{1/2}$, где M – масса звезды. Для внутренней и внешней планеты имеем соответственно (при $k = +1$): $a' = L_1/2\pi Z'$ и $a'' = Z''L_1/2$ и для отношения периодов получаем:

$$\frac{P''}{P'} = (\pi Z' Z'')^{3/2} - \quad (9)$$

число, не представимое отношением двух целых чисел. (Более глубокий смысл числа π как главной характеристики нашего пространства и фактора устойчивости кругового движения, или “красоты” по Платону, нам еще предстоит раскрывать; см. Плурфф, 2005.)

По неизвестной причине СС имеет $L_0 = 19.24$ а. е., а радиус захвата $b \approx 3.06$ а. е., который в 1.3 раз больше, чем у “средней” экзосистемы. Также странно, что “юпитеры” у нас – только на внешних орбитах, и они как бы призваны, по Ксанфомалити, защищать планеты земной группы и Землю от вмешательства внешних тел. Экзосистемы, таким образом, значительно отличаются от СС. Но цит. Ксанфомалити (2006б): “... открытия ... экзопланет заставляют предполагать, что аномалией может быть скорее сама наша Солнечная система”. Получается, что наша система – уникальное явление в Галактике(!?). А возможно, и во всей обозримой Вселенной?... Это заставляет нас внимательно отнестись к *антропному принципу*, а также к “странным” совпадениям констант природы (см. Карр и Рис, 1979; Розенталь, 1984; Котов, 2007б).

8 Заключение: есть ли другие миры?

Чтобы объяснить усложняющиеся загадки природы и устройство Вселенной, современные космологи, включая авторитетного Хокинга (1990), часто призывают на помощь Божественный промысел или смело ашпелируют к АП.

И действительно, в начале XXI в., наряду с созданием новых гипотез и сказок об устройстве Вселенной и образовании Солнца и СС, мы все чаще наблюдаем, как наука одновременно дезавуирует мифологии прикрытия (СТО, ОТО, Большой взрыв, инфляция, квинтэссенция и пр.). И нам пора сейчас задуматься об истинной природе вещей, позволив себе хотя бы называть эти “вещи” (по Канту) своими именами. Полезно снова сослаться на Хокинга (1990): “Однажды Эйнштейн задал вопрос: ‘Какой выбор был у Бога, когда он создавал Вселенную?’ Если верно предположение об отсутствии границ, то у Бога вообще не было никакой свободы выбора начальных условий. Разумеется, у него еще оставалась свобода выбора законов, которым подчиняется Вселенная. Но их на самом деле не так уж много...”

Мы знаем, что планеты СС движутся регулярно, как часы, и по определенному закону, демонстрируя нам, вероятно, действие АП. Вместе с Ксанфомалити (2006б) мы, однако, удивляемся важным отличиям СС от других систем: (1) орбиты “горячих юпитеров”, как правило, слишком низкие: массивные планеты близко, по сравнению с нашей системой, расположены к родительской звезде, что противоречит современным воззрениям на механизм образования планетных систем, (2) экзосистемы имеют слишком большую – по сравнению с СС – долю орбит с большими эксцентриситетами и (3) для объяснения аномалии СС приходится привлекать необычные механизмы; например, идею сближения Солнца с другой звездой во время формирования планет.

Отличие СС и в том, что она подчиняется *своему* масштабу $L_0 = 19.24$ а. е., задаваемому *космологическим когерентным колебанием* с периодом $P_0 = 160$ мин. Между тем “средняя” экзосистема подчиняется шкале $L_1 = 14.8$ а. е., или 123 свет. мин. Существование масштаба L_1 позволяет ввести понятие “прицельного расстояния” b звезды (экзосистемы) для захвата “мезопланет”. И для объяснения необыкновенности нашей системы привлекать АП. Конечно, ситуация с АП будет более нам приятной, если мы найдем принципу какое-либо физическое объяснение, сильный аргумент или просто обоснование.

Феномен L_0 -резонанса СС доказывается рис. 2, где главный пик соизмеримости отвечает масштабу L_0 , соответствующему 160 свет. мин со значимостью 3.5σ . Речь идет о наличии в пределах нашей планетной системы и во всей Вселенной некоего периодического процесса неизвестной природы – *когерентной космической вибрации* с периодом P_0 , который задает и “*такт вселенских часов*”, и пространственный масштаб $L_0 = c \times P_0$. Наверное, нам придется всерьез задуматься не только о *физических*, но и об *антропных* аргументах, чтобы понять смысл и роль числа π и P_0 -колебания для

СС, звезд и Вселенной в целом. Вряд ли случайно, что и сам период P_0 поразительно близок к гармонике *среднесолнечных*, а не *звездных* суток. Поэтому и не удивительно, что астрономы все чаще и чаще обращаются к обсуждению АП, суть которого хорошо была выражена, например, А. Зельмановым (цит. Новиков, 1990): “Мы являемся свидетелями природных процессов определенного типа только потому, что процессы иного типа протекают без свидетелей”.

Невозможно смотреть на эту красивую, сложную и как бы “под нас подстроенную” СС, да и саму Вселенную, как на простой случай или “игру”. Очень комфортное для жизни расстояние от Солнца, смена сезонов и подходящая температура земной поверхности, химсостав атмосферы и звезд, цвет неба и радуги, свойства воды, высота гор и глубина морей, строение галактик и фундаментальные константы природы, даже само наше сознание – все говорит о некоем интеллектуальном замысле, проекте, вмешательстве “Создателя”. А под ним следует, наверное, понимать и некий принцип “живого”, не входящий в наши уравнения и модели, но управляющий Микромиром и Космосом... Ибо (цит. Б. Картер, В. Carter; см. Шиллинг, 2004): “Все то, что мы ожидаем и можем наблюдать, должно подчиняться необходимому условию нашего присутствия как наблюдателей”. Смешно думать и верить, что лишь случай обусловил все сущее так красиво, научно и рационально, логично и даже теологично. Но мы не можем не изучать Космос, если даже не знаем прошлое и многие детали настоящего. Потому что в науке все равно нет предела познания: чем больше и глубже она познает мир, тем шире перед нею открывается область непознанного. Или словами Паскаля (цит. Новиков, 1990): “Воображение скорее устанет постигать, чем природа поставлять”.

Нам представляется, что АП – не капитуляция науки и разума перед необъятностью Вселенной, ее многообразием и сложностью, красотой и непомерной, исключительной высотой помыслов “Творца”. Это – признание того факта, что все константы и законы природы специально *подстроены* под наше существование, поэтому Вселенная и ее свойства неразрывно связаны с нашим интеллектом. И снова Хокинг (1990): “Удивительно, что значения таких величин были, по-видимому, очень точно подобраны, чтобы обеспечить возможность развития жизни”. Присоединяясь к Хокингу, мы говорим, что структура и динамика СС убедительно подтверждает действие внутри СС АП, причем в его *сильной* формулировке. И теперь трудно не признать, что любая теория слишком бедна по сравнению с необъятностью и богатством Вселенной. И снова цит. Хокинг (1990; то же самое утверждали Эйнштейн и Фейнман): “... мы никогда не могли бы быть уверенными в том, что найденная теория действительно верна, потому что никакую теорию нельзя доказать”. Возможно, что АП в своем развитии станет новым *проникновением* человека. Ибо человек все еще является “незаконченным экспериментом” природы (см. Конашев, 2007).

Нетрудно также видеть, что надежды на обнаружение внеземных цивилизаций быстро тают, как современные ледники, по мере обнаружения новых экзопланет и углубления нашего понимания устройства СС и Вселенной. Закончу же скромным изречением Томаса Карлейля (Т. Carlyle): “Я не претендую на объяснение Вселенной, она во много раз больше, чем я”.

Автор благодарит Ж. Шнайдера и его коллег за объемный и постоянно обновляющийся список внесолнечных планет, представленный на их сайте, и Н.Н. Степанян за полезные замечания к рукописи. И выражает глубокую признательность Л.В. Ксанфомалити и Р. Найе за их своевременные и стимулирующие статьи о мире экзопланет – источнике новых загадок для астрономов, искателей внеземных цивилизаций, поклонников и противников антропного принципа – как материалистов, так и идеалистов.

Литература

- Архангельская И.В., Розенталь И.Л., Чернин А.Д. // Космология и физический вакуум. М.: КомКнига. 2006.
- Блинников и Хлопов (Blinnikov S.I., Khlopov M.Yu.) // Solar Phys. 1983. V. 82. P. 383.
- Гоф (Gough D.) // Phys. Bull. 1983. V. 34. P. 502.
- Карр, Рис (Carr B.J., Rees M.J.) // Nature. 1979. V. 278. P. 605.
- Конашев М. // В мире науки. 2007. №. 6. С. 78.
- Котов В.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2006. Т. 102. С. 99.

- Котов В.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007а. Т. 103. №. 1. С. 106.
- Котов В.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007б. Т. 103. №. 1. С. 125.
- Котов В.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007в. Т. 103. №. 2. С. 245.
- Котов В.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2008. Т. 104 (в печати).
- Котов В.А., Кучми С. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1985а. Т. 70. С. 38.
- Котов В.А., Кучми С. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1985б. Т. 72. С. 199.
- Котов В.А., Лютый В.М. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. №. 1. С. 98.
- Котов В.А., Ханейчук В.И., Цап Т.Т. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2005. Т. 101. С. 98.
- Котов (Kotov V.A.) // Solar Phys. 1985. V. 100. P. 101.
- Ксанфомалити Л. // Наука и жизнь. 2006а. №. 11. С. 2.
- Ксанфомалити Л. // Наука и жизнь. 2006б. №. 12. С. 60.
- Ксанфомалити Л.В. // Астрон. вестник. 2007. Т. 41. С. 190.
- Найе (Naeye R.) // Sky Tel. 2005. V. 109. №. 1. P. 44.
- Новиков И.Д. // Куда течет река времени? М.: Мол. гвардия. 1990.
- Ньето М.М. // Закон Тициуса-Боде. М.: Мир. 1976.
- Окунь (Okun L.B.) // Zh. Eksper. Teor. Fiz. (JETP). 1980. V. 79. P. 694.
- Плуфф (Plouffe S.) // La Recherche. 2005. №. 392. P. 42.
- Розенталь И.Л. // Элементарные частицы и структура Вселенной. М.: Наука 1984.
- Савэ (Sevin É.) // Compt. Rend. Acad. Sci. Paris. 1946. V. 222. P. 220.
- Смирных Л.Н. // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, концепции / Ред. Лаврентьева М.М. Новосибирск. Изд-во Ин-та математики. 1999. С. 162.
- Тутуков А. // Вестник SETI. 2007. №. 11–12. С. 4.
- Хокинг С. // От большого взрыва до черных дыр: Краткая история времени. М.: Мир. 1990.
- Шиллинг (Schilling G.) // Sky Tel. 2004. V. 107. №. 3. P. 47.
- Шнайдер (Schneider J.) // <http://vo.obspm.fr/exoplanetes/encyclo>. 2008.