

УТРАИВАЮЩИЕСЯ ПЕРИОДЫ В МУЛЬТИМАСШТАБНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ

© 2015 г. А.Т. Бондарь*, М.В. Федоров** ***, В.А. Коломбет**

*Институт биофизики клетки РАН, 142290, Пущино Московской области, ул. Институтская, 3;

**Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН,
142290, Пущино Московской области, ул. Институтская, 3;

*** *Scottish Universities Physics Alliance (SUPA), Department of Physics, University of Strathclyde,
John Anderson Building, 107 Rottenrow East, Glasgow, United Kingdom*

E-mail: kolombet@iteb.ru

Поступила в редакцию 24.07.15 г.

В работе S.J. Puetz et al. (Chaos, Solitons & Fractals, v. 62–63, p. 55, 2014) описана ФСУП (фундаментальная система утраивающихся периодов). Ее в совокупности компонуют периоды разнообразных астрономических (квазары, Солнце), геофизических (геомагнетизм, климат, вулканы) и биологических процессов. Всего было выявлено шестнадцать пар последовательно утроенных периодов. Они простираются от полусотни до полутора миллиардов лет и не найдено никаких предвестников ограничения этого диапазона. Мы считаем, что мультимасштабность ФСУП ведет к принципиально новой методологии исследований, где спектр периодов изучаемого сложного явления тестируется на сходство со спектром ФСУП (ввиду фундаментальности последнего). Именно в таком ключе мы в настоящей статье добавляем к уже описанной части ФСУП десяток периодов улучшения памяти человека в диапазоне периодов от месяца до минуты, а также семь характерных периодов/частот ФСУП, лежащих в диапазоне слуха человека. Мы делаем вывод, что последние могут лежать в основе феноменов музыки и пения. На очереди стоит использование ФСУП в медицине и в технике.

Ключевые слова: мультимасштабность, утроение периода, память, слух, пение, музыка, настройка музыкальных инструментов.

В литературе неоднократно высказывалось предположение о возможном существовании мультимасштабных пространственных, временных и энергетических шкал. Например, известна попытка П. Дирака обосновать важность в этом смысле числа $\sim 10^{40}$ – соотношения электромагнитных и гравитационных сил двух заряженных элементарных частиц. В частности, отмечалось, что квадрат «числа Дирака» близок к количеству частиц во вселенной и т.д. Известны также попытки выявления не физических, а математических природных шкал, к примеру попытка, опирающаяся на тот факт, что среднее расстояние между соседними локальными максимумами дискретного временного ряда для нормально распределенного случайного процесса равно трем. Если теперь взять только локальные максимумы этого ряда, то получится новый ряд, у которого среднее расстояние между локальными максимумами тоже стремится к трем, т.е., выделится «девятый вал» – период в девять

интервалов исходного временного ряда. Процедуру можно последовательно повторять, и это дает систему утраивающихся периодов [1].

В 2014 г. появилась работа [2], которую следует признать доказательством существования мультимасштабной фундаментальной системы утраивающихся периодов (ФСУП). В ней сообщается, что благодаря происходящему в современной науке тотальному уточнению экспериментальных данных о геологических, биологических и астрономических событиях и процессах, к настоящему моменту достигнуто существенное повышение достоверности численных значений старых данных, и на этом основании появилась возможность показать, что периодические процессы происходят в своеобразном мета-резонансе, демонстрируя утроение периодов. Периоды процессов, в совокупности слагающих ФСУП, занимают широчайший диапазон масштабов и не зависят от природы (т.е., от физики) конкретного периодического процесса. Это универсальное явление выглядит поистине вселенским, потому что данные по внеземным периодическим процессам, таким как

Сокращение: ФСУП – фундаментальная система утраивающихся периодов.

образование квазаров и звездообразование, демонстрируют функционально связанную периодичность с такими периодическими земными явлениями, как, например, вулканизм и вымирание таксонов. Наблюдаемые периоды этих процессов формируют в совокупности целостную систему утраивающихся периодов. Авторы работы [2] формализовали ФСУП в виде формул и таблиц, сочетающих в себе характеристики утраивающихся периодов в широчайшем диапазоне масштабов. В конце концов они решили, что эта мультимасштабная согласованность предполагает общую астрономическую причину для земной геологической и биологической цикличности. Они не исключают, что природа ФСУП будет объяснена теорией бифуркаций и динамического хаоса (см., например, работы [3,4]).

Данные, проанализированные в работе [2], были собраны из более чем 30 обзоров. Анализу собранных временных рядов предшествовала предобработка – вычитание тренда, полосовая фильтрация и разбиение на бины. В ходе дальнейшей обработки рядов строили гистограммы, периодограммы и делали оценки вероятностей. В итоге удалось обнаружить, что изученные гармонические периоды природных циклических процессов достоверно попадают в диапазон от около-59-летнего периода, обнаруженного у Солнца, до 819-миллионного цикла, найденного в 3,7-миллиарднолетних временных рядах, полученных при измерениях свойств магматических горных пород. Периоды этих и многих других природных циклических процессов отличаются обычно менее чем на 4% от периодов ФСУП. В общем, статистические оценки привели к заключению, что периоды гармонических колебаний организованы в своеобразный темпоральный фрактал. По сути, это довод в пользу приверженцев так называемой фрактальной космологии, считающих, что вселенная может быть устроена фрактально [5–8]. В настоящее время данный вывод начинает серьезно конкурировать с традиционным положением об однородном и изотропном распределении материи во вселенной.

Приложенная к статье [2] сводная таблица, опубликованная в работе [9], содержит статистические данные для 195 природных периодических процессов, которые свидетельствуют в пользу существования ФСУП. Независимо от используемых методов обработки экспериментальных данных результаты получаются близкими, в большинстве случаев практически совпадающими. Найденные таким способом периоды простираются от 57,3 лет до 1,64 млрд лет. Используемые методы привели к обна-

ружению 36 астрономических, 14 биологических, 77 климатических, 13 геомагнитных, 21 солнечных и 34 вулканических периодов, при сопоставлении подтверждающих их фрактальное упорядочивание, принадлежность к ФСУП. В частности, использованный метод показал, что период в 60,9 миллионов лет подтверждается 14-ю независимо найденными астрономическими, биологическими и вулканическими рядами экспериментальных данных. С этим периодом конкурируют 114,6-летний, встретившийся 12 раз, и 4640-летний, найденный в 11 случаях.

Надежно установлено, что периоды, составляющие ФСУП, упорядочены в две серии. Первая простирается в сторону увеличения от периода 114,6... /1 лет, а вторая от вдвое меньшего периода 114,6... /2 лет. Для краткости записи ниже мы маркируем эти две системы условиями, соответственно, $n = 1$ и $n = 2$. Каждой системе принадлежат по 16 значений утраивающихся периодов, т.е. в двух системах их 32 шт.

Косвенным подтверждением существования ФСУП является то, что астрономические циклы синфазны с геологическими, а биологические циклы заметно отстают от них по фазе. Отставание по фазе у биологических процессов, действительно, должно существовать, поскольку по своей сути биологические процессы являются адаптационными. Биосфера и ее фрагменты являются результатом работы самовоспроизводящегося автомата, занятого деградацией лучистой энергии, поступающей от Солнца. В частности, этот автомат отслеживает процессы, травмирующие биосферу. С тем или иным характерным временем запаздывания, зависящим от глубины нанесенной травмы, он восстанавливает биосферу до состояния, близкого к исходному. Эти травмы порождаются астрономическими (вспышки близких сверхновых, падение на Землю астероидов и т.п.) и геологическими (например, извержения супервулканов) воздействиями. Ниже мы не будем касаться темы фазовых соотношений в системе утраивающихся периодов, а сделаем основной темой настоящей статьи расширение диапазона частот ФСУП; это будет перемещение нижней грани уже известной ФСУП в область существенно более коротких периодов. Отсутствие обоснованной нижней границы ФСУП – это явный довод в пользу попытки расширения идеологии ФСУП на область малых периодов (высоких частот).

Мультимасштабность утраивающихся периодов, имеющая поистине вселенский размах, ведет к принципиально новому научному методу описания явлений – к сведению спектра

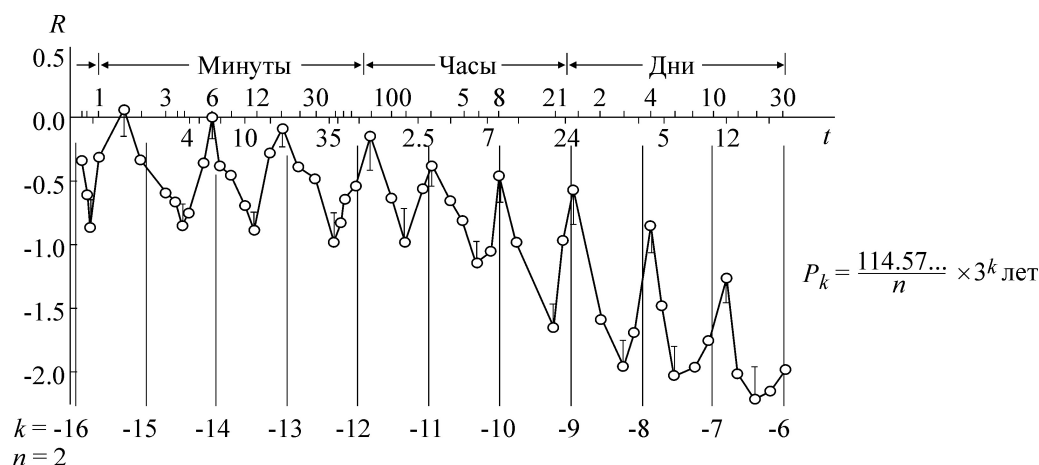


Рис. 1. Экспериментальный график (осциллирующая кривая) и расчетные положения пиков ФСУП для $n = 2$ (вертикальные линии). Оси логарифмические. По горизонтальной оси графика отложена длительность периода, по вертикальной – доля правильно воспроизведенной/запомненной информации. Параметр k в формуле ФСУП для периода P_k – это номер пика, а параметр n – это номер системы пиков ФСУП. Основной корпус пиков совпадает с положениями вертикальных линий.

характерных времен изучаемого мультимасштабного явления к набору периодов ФСУП как к некоему эталону (поскольку ФСУП имеет фундаментальную природу).

Мы проиллюстрируем применение этого метода на двух примерах.

Сначала будет описан десяток пар экспериментальных значений новых периодов ФСУП, обнаруживаемых в особенностях реализации функции памяти человека. Эти периоды лежат в характерных интервалах минута–месяц.

Затем мы опишем обусловленные характерными частотами ФСУП особенности слуха человека, а также феномен музыки – технической имитации пения. Звуковые явления лежат преимущественно в диапазоне от 20 Гц до 20 КГц, здесь обнаруживаются следы семи пар периодов ФСУП.

Таким образом, полученные нами результаты по крайней мере удваивают количество ранее известных периодов ФСУП.

МЕТОД И ЕГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Широко известный и сейчас ставший почти тривиальным закон Г. Эббингауза [11] описывает процесс плавного забывания человеком запомненной информации. Графически это кривая, близкая к экспоненте с отрицательным показателем степени; она была экспериментально получена в опытах, в ходе которых испытуемые волонтеры запоминали и пытались воспроизвести последовательности трехбуквенных бессмысленных слов типа роц, шаз, лек и т.д.

Спустя почти сотню лет возникла отчетливая альтернатива закону Эббингауза [12,13]. Однородному контингенту испытуемых предъявлялись для запоминания серии двузначных чисел, по сути тоже серии символов, не несущих смысловой или эмоциональной нагрузки. Полученные в масштабном эксперименте новые результаты коренным образом преобразовали закон Эббингауза, в работе [14] новый закон был по аналогии назван законом Бондаря. Многочисленные предвестники этого закона можно различить в работах [15–24].

Суть этого нового закона состоит в том, что память о событиях не просто ослабляется со временем, но при этом еще и осциллирует с закономерно затягивающимся периодом: предъявленная информация то вспоминается («просветление памяти»), то почти напрочь забывается («затемнение памяти»). Экспериментально было получено, что период просветления/затемнения памяти все время утраивается (рис. 1, 2). Если моменты просветления памяти представлять в логарифмическом масштабе, то на модифицированной таким способом оси времени они располагаются практически через равные интервалы.

Феномен периодических просветлений/затемнений памяти был применен при попытке обоснования цифрового подхода к теории перцепции и мышления человека [14]. Дискретные утраивающиеся времена просветлений автор работы [14] связывал с предполагаемым использованием в мышлении человека троичной системы счисления; теоретические основания для этого предположения см. в работе [25], а экспериментальные – в работе [26]. Ниже мы рас-

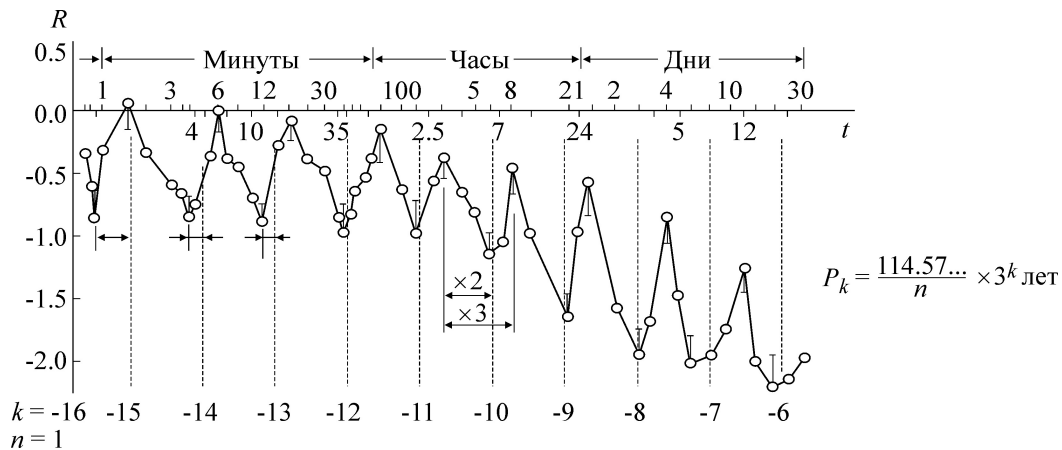


Рис. 2. Минимумы на том же экспериментальном графике соответствуют периодам, где должны располагаться периоды ФСУП с параметром $n = 1$ (см. вертикальные штриховые линии). Эти периоды в два раза больше, чем помеченные вертикальными сплошными линиями пики на рис. 1. Таким образом, система мозга, обеспечивающая память человека, не только настроена на дискретные состояния ФСУП с параметром $n = 2$, но и отчетливо избегает дискретных состояний ФСУП с параметром $n = 1$. Прогрессирующее отклонение от этой закономерности в области малых периодов может быть следствием того, что на временах от минуты до получаса память функционирует на несколько иных принципах, чем на временах от получаса до месяца. Возможно, это обусловлено различием природы так называемой кратковременной и долговременной памяти.

смаатриваем не альтернативный, а дополнительный подход к интерпретации феномена просветлений и затемнений памяти: его инкрустацией во ФСУП – в иерархическую систему вселенских масштабов; это придает феномену периодических просветлений/затемнений памяти фундаментальную значимость и предвещает революционные изменения в науке о когнитивных процессах.

Закономерные осцилляции эффективности процесса воспоминания были обнаружены в результате выполнения следующего эксперимента. На роль испытуемых были выбраны школьники 11–12 лет. В затемненной комнате им предъявлялись на слух с пятисекундным интервалом одно за другим пять двузначных чисел. Через пять секунд после предъявления последнего числа испытуемым давалась инструкция воспроизвести эти числа. Предлагалось в случае затруднения назвать любые двузначные числа так, чтобы общее количество названных чисел оказывалось равным пяти. Испытуемые делились на группы, в каждой из которых было не менее 11 испытуемых, и каждая из этих групп потом обследовалась только через один из 51 интервалов времени (см. рис. 1, 2). Началом отсчета времени у каждого испытуемого было предъявление ему пятого числа. Во второй фазе эксперимента, проводимой через указанные интервалы времени, испытуемым предлагалось вспомнить и назвать предъявленные им ранее числа. В случае затруднения предлагалось назвать недостающие числа наугад.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Обработка результатов показала, что все группы являются относительно однородными по показателю немедленного воспроизведения информации, т.е. в первой части опыта. Средние значения лежали в диапазоне от $2,8 \pm 0,32$ до $3,00 \pm 0,28$ правильно воспроизведенных чисел.

На фоне общей тенденции к забыванию информации эффективность воспроизведения в заключительной (второй) части опыта проявила колебательный характер. В некоторых из 51 интервалов времени эффективность воспроизведения была достоверно ($p < 0,01$) уменьшенной, а в других случаях достоверно ($p < 0,01$) повышенной. (См. экстремальные точки на рис. 1.) В течение месяца наблюдалось приблизительно 10 осцилляций.

На рис. 1 приведена полученная система пиков, остававшаяся до сих пор необъясненной. Только теперь становится понятным, что она является продолжением ФСУП ($n = 2$) в область меньших периодов. Обнаружение ФСУП лишь в 2014 г. полностью объясняет причину столь долгого отсутствия объяснения обнаруженных осцилляций.

Оказалось также, что система впадин на рис. 1 тоже не случайна (рис. 2). Она соответствует удвоенным значениям периодов соседних пиков, расположенных слева от этих впадин, т.е. в этих местах расположены периоды ФСУП с параметром $n = 1$. Можно предположить, что

существование связанных с впадинами периодических процессов, происходящих в мозге человека, мешает выполнению процесса воспоминания; эти периодические процессы могут, например, производить запись в память.

ОБСУЖДЕНИЕ

1. Каждый из экспериментальных процессов, в совокупности сформировавших периодическую в логарифмическом масштабе ФСУП, сам является периодическим процессом, разворачивающемся в обычном нелогарифмическом масштабе времени. В работе [2] показано, что количество измеренных волн у некоторых из этих процессов достигает тысячи. Из того, что периодические просветления и затемнения памяти оказались частным проявлением ФСУП, следует предположение, что происходящие в мозгу процессы, формирующие характерные периоды ФСУП в диапазоне от одной минуты до одного месяца, являются тоже периодическими процессами в обычном нелогарифмическом масштабе времени. Предсказание этих сверхмедленных периодических процессов в перспективе может оказаться существенным вкладом в нейробиологию, так как периоды этих процессов выходят далеко за диапазон традиционно исследуемых ритмов (θ -а-, α -а-, β -а- и пр.) мозга.

2. Почему для извлечения информации из памяти мозг выбрал в процессе эволюции систему периодов с $n = 2$, а не с $n = 1$? Возможно, потому, что она вдвое быстрее, а это важно для биологической эволюции, поскольку извлекать информацию из памяти приходится нередко в условиях цейтнота.

3. Если в процессе эволюции сформировалась высокоточная подстройка мозга к периодам ФСУП, проявившаяся в форме периодических просветлений памяти, то эта подстройка должна быть особенно хороша там, где она особенно важна для осуществления функции памяти. Естественно, что точность подстройки может ухудшаться на очень кратких и очень длительных временах, где, по-видимому, в высокоточной подстройке уже нет острой необходимости. То есть нужно учитывать, что между идеальными вселенскими дискретными периодами ФСУП, расположенными в диапазоне минута–месяц, и экспериментальными результатами, представленными на рис. 1 и 2, есть промежуточное звено: все еще эволюционирующий, т.е. пока еще несовершенно функционирующий мозг. И, по-видимому, именно на его неидеальное функционирование следует возложить в этом случае ответственность за неидеальность: за появление заметных отклонений положений

крайних пиков (рис. 1, 2) от вычисленных периодов ФСУП.

4. Каким же образом происходит в различных масштабах вселенной подстройка возникающих в ней периодических процессов к периодам ФСУП? Это можно проследить на примере эволюционной подстройки к ФСУП слухового аппарата человека (см. работу [14]). В пифагорейском варианте настройки музыкального инструмента ноты в октаве представляют собой результат последовательных утроений частоты, выводящих за пределы октавы, и следующего за каждым утроением однократного или двукратного деления частоты надвое, нужных для возвращения в пределы октавы. Так работает так называемый стохастический аттрактор октавы. Однако деление утроенной частоты на два или на четыре обслуживает лишь заполнение октавы, и в данном контексте можно забыть о делении, сосредоточив внимание на утроениях периода (рис. 3, 4). В диапазон частот 20 Гц – 20 КГц, различимых ухом человека, попадает семь таких утроений; это приводит к семи белым клавишам октавы (рис. 3а). Еще пять утроений (после соответствующих делений на целые степени двойки им соответствуют черные клавиши в октаве) получают с помощью рекуррентного продолжения этой процедуры; соответствующие частоты лежат уже далеко вне области слуха человека. Выбор пяти таких частот – это победившая конвенция; в свое время существовали музыкальные инструменты, например, с 17-ю нотами в октаве (так называемые энгармонические инструменты) [27].

Отталкиваясь от системы утраивающихся периодов, имеющей в данном случае прозрачное происхождение, можно предположить, что пение (а затем и музыка как инструментальный заменитель, «протез» пения) – это один из результатов перманентного влияния ФСУП на мозг в ходе долгой биологической эволюции.

Количество звуковых частот, кратных степеням тройки (рис. 3б), «несколько зависит» от выбора частоты, соответствующей ноте фа: возможна ситуация, когда в звуковом диапазоне помещаются восемь частот; в этом случае две крайние частоты – первая и восьмая – попадают на области спада амплитудно-частотной характеристики слуха, и при небольших смещениях положения рассматриваемого дискретного спектра одна из крайних частот становится седьмой, а другая окончательно выходит из звукового диапазона. Музыка на базе элементарной семерки нот – фа, до, соль, ре, ля, ми, си – на удивление хорошо согласована с шириной диапазона слуха.

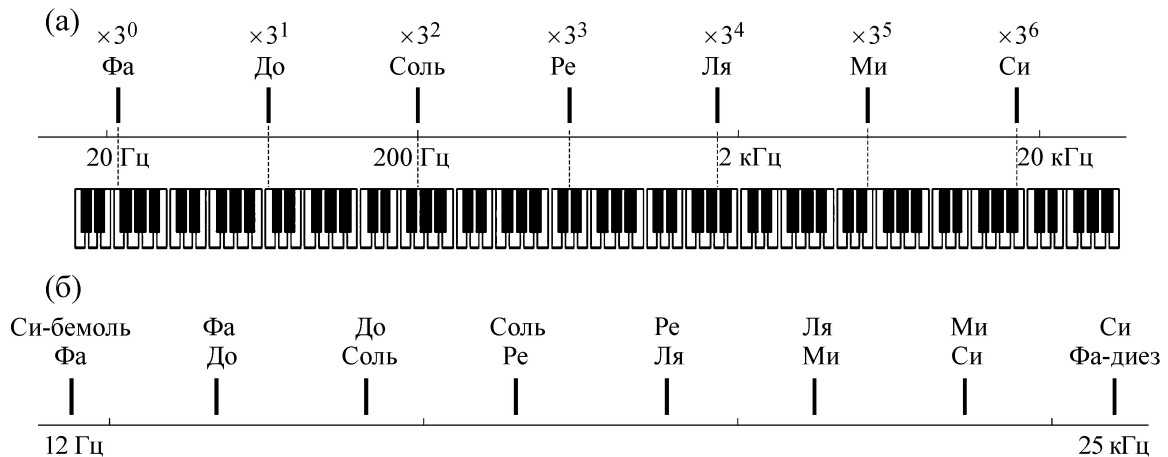


Рис. 3. (а) – В звуковом диапазоне помещается семь частот из спектра частот, кратных степеням тройки. Это семь «базовых нот», которые далее растражированы во все октавы делениями или умножениями на соответствующее количество двоек. (б) – Диапазон расположения семи белых «базовых» нот: от си-бемоль до фа-диез.

Тяготение всех семи «базовых нот» к частотам ФСУП видно из рис. 4: местоположения «базовых нот» практически симметричны по отношению к состояниям с $n = 1$ и $n = 2$. В ходе развития европейской музыки были эмпирически выбраны ноты, проявляющие, как теперь выясняется, самое тесное приближение к обоим наборам частот ФСУП.

Схема на рис. 4 соответствует пифагорейскому строю, октавы заполняются соответствующим делением или умножением «базовых» частот на степени числа 2. Темперация практически не смещает положений семи «базовых» частот на рис. 4: все семь белых клавиш остаются на своих местах, т.е. вывод о предельно сильной корреляции частот базовых музыкальных нот с серединами пар периодов ФСУП не изменяется.

5. Усовершенствованием, которое подкачивает рис. 4, может стать перенастройка музыкальных инструментов от доминирующего сейчас спектра частот, основанного на камертоне 440 Гц, к спектру, основанному на камертоне 430,5 Гц. Это практически совпадает с так называемой классической (времен Моцарта) настройкой и близко к «натуральному» строю, используемому в оперном пении. В этом случае «базовые» ноты (семь белых клавиш на рис. 4) еще более точно смещаются к серединам пар частот ФСУП.

Оказывается также, что усреднение по всем приведенным в музыкальной литературе частотам настройки, использовавшимся музыкантами, приводит к настройке по камертонам в окрестности 430–432 Гц, т.е. в результате этого усреднения «базовые» ноты попадают точно в середины пар частот ФСУП. По сути, это по-

казывает «вселенскую обусловленность» и единственность настройки музыкальных инструментов, еще раз подчеркивая значимость ФСУП.

В тяготении семи «базовых» нот европейской музыки именно к центрам пар частот ФСУП (а не к самим частотам ФСУП, попадающим в диапазон слуха) состоит несовершенство, упрощенность европейской музыки в сравнении с «музыкой на базе 14-ти частот ФСУП». Во многом это связано с проблемами технического характера при создании стандартизированных европейских музыкальных инструментов в XVIII–XX веках. Естественно, что музыканты других стран, народов и цивилизаций идут своими собственными путями к идеальной «музыке ФСУП», но это тема отдельного исследования. Специфику воздействия на слушателя резонансных с ФСУП настроек музыкальных инструментов предстоит изучать музыкантам вместе с биофизиками, нейробиологами и медиками. По-видимому, задачу придется формулировать шире, выйдя за рамки исследования особенностей именно слухового аппарата и именно человека: эволюционно обусловленные подстройки к ФСУП в организмах человека и других живых существ могут оказаться крайне разнообразными. Периодичность просветлений/затемнений памяти – важный частный пример на этом пути. В ближайшее время можно ожидать появления новой («ФСУП-резонансной») области медицины и биологии.

6. Опустив нижнюю границу периодов ФСУП от полусотни лет до периодов в окрестности $1/(20 \text{ КГц})$, мы не увидели никаких отклонений периодов ФСУП от предсказываемых значений. Это свидетельствует о перспективе экстраполяции ФСУП в область еще более

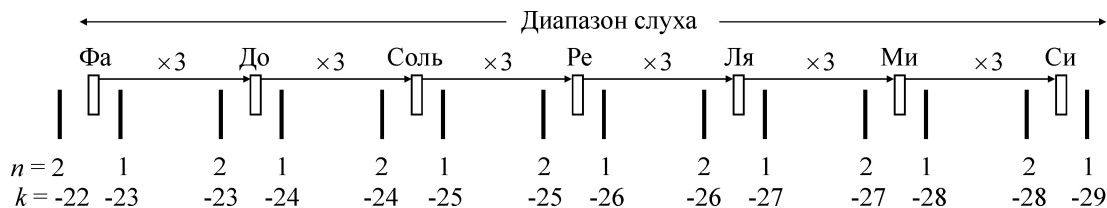


Рис. 4. Семь «базовых» нот, определенных диапазоном слуха человека (ср. с рис. 3), попали в середины соответствующих пар частот ФСУП (при общепринятой сейчас настройке ноты ля первой октавы по камертону 440 гц). Тем не менее можно заметить небольшое отклонение «вправо» от положений, соответствующих точно серединам пар. При так называемой классической (времен Моцарта) настройке «базовые» ноты совпадут с серединами пар частот ФСУП. Середины пар точно соответствуют также средней (средней геометрической) настройке (при усреднении по всем обнаруженным в музыкальной литературе вариантам частоты настройки ля первой октавы).

кратких периодов. Успех переноса нижней грани ФСУП в область малых периодов нацеливает на поиск характерных частот ФСУП в области, уже надежно освоенной современными электронными техническими устройствами. Как успех, так и неудача этого поиска окажутся важным научным результатом.

ВЫВОДЫ

1. Обнаружена система характерных утраивающихся значений интервала времени между моментами предъявления испытуемому информации и правильно воспроизведенной им по памяти. В моменты времени, разделенные таким интервалом, вероятность правильного воспроизведения запомненной информации достоверно повышается. Этот ранее необъясненный эмпирический закон удается теперь трактовать как частное расширение на случай более высокочастотного диапазона недавно обнаруженной фундаментальной системы характерных утраивающихся периодов, простирающейся приблизительно от полсотни лет до полутора миллиардов лет. Периоды ФСУП исходно индексировались целочисленным параметром $n = 1$ или 2, а также целочисленным параметром $k = 0, 1, 2, \dots, 15$. Оказывается, что обнаруженные характерные времена просветлений памяти человека являются десятком новых периодов ФСУП в окрестности $k = -11$ и характеризуются параметром $n = 2$.

2. Найдена закономерная система минимумов вероятности правильного воспроизведения испытуемыми людьми запомненной информации; она соответствует ФСУП при $k = -16, -15, -14, \dots, -7$ и $n = 1$. Мы расцениваем эту находку как свидетельство существования системы, тоже использующей подстроенные к ФСУП периодические процессы, но на этот раз не связанной с воспроизведением человеком запомненной информации. Мы предполагаем, что эта система могла бы обеспечивать запись

информации в память (точнее, ее перезапись в процессе хранения).

3. Появились также основания предположить, что подстройка работы эволюционирующего мозга к ФСУП привела, в частности, к возникновению феноменов пения и затем музыки. Здесь задействованы периоды ФСУП с $k = -29, -28, -27, \dots, -23$ и $n = 1$, а также с $k = -28, -27, -26, \dots, -22$ и $n = 2$.

4. Мы предполагаем, что дальнейшие исследования механизмов эволюционно обусловленной подстройки к частотам ФСУП как человеческой памяти, так и множества других систем организма человека могут привести к возникновению принципиально новых биомедицинских методов на основе «резонансной терапии».

5. Благодаря полученным нами результатам, количество выявленных к настоящему моменту периодов ФСУП увеличилось вдвое, а диапазон значений k возрос практически втрое.

6. Каждый случай сведения спектра периодов изучаемого явления к тому или иному фрагменту спектра периодов расширенной ФСУП является, по сути, образцом применения нового эффективного метода научного исследования, дающего трактовку предмета изучения на основе фундаментальных взаимосвязей между временными шкалами природных процессов. Более глубокая интерпретация, если она вообще возможна, будет относиться уже к самой природе ФСУП.

В заключение мы хотим отметить, что основной целью данной статьи было привлечение внимания широкой научной общественности к удивительному феномену проявления ФСУП в биологических процессах. В силу новизны предмета исследования большинство выводов и предположений в настоящей статье носят предварительный характер. Дополнительная проверка этих предположений и углубленное исследование проявления ФСУП в биологических

процессах будет предметом наших последующих исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г. С. Розенберг и С. Ю. Рудерман, в сб. *Тезисы II Всесоюзной конференции по технической кибернетике* (АН СССР, Минск, 1969).
2. S. J. Puetz, A. Prokoph, G. Borchardt, et al., *Chaos, Solitons & Fractals* **62–63**, 55 (2014).
3. Б. Мандельброт, *Фрактальная геометрия природы* (Институт компьютерных исследований, Москва, 2002).
4. Г. Шустер, *Детерминированный хаос. Введение* (Мир, Москва, 1988).
5. A. Gefter, *New Scientist* **2594**, 30 (2007).
6. M. Joyce, F. S. Labini, A. Gabrielli, et al., *Astronomy & Astrophysics* **443**, 11 (2005).
7. L. Pietronero, *Physica A* **144**, 257 (1987).
8. Ю. В. Барышев и П. Теерикорпи, *Фрактальная структура Вселенной. Очерк развития космологии* (Изд. САО РАН, САО РАН, 2005).
9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chaos.2014.04.001>.
10. Дж. фон Нейман, *Теория самовоспроизводящихся автоматов* (Мир, Москва, 1971).
11. *Психологический лексикон. Энциклопедический словарь в шести томах*, под ред. А. В. Петровского (ПЕР СЭ, Москва, 2005), т. 6.
12. А. Т. Бондарь, *ДАН СССР* **236** (6), 1503 (1977).
13. А. Т. Бондарь, *Память и следовые процессы* (ОНТИ НЦБИ, Пушкино, 1979).
14. В. Коломбет, *Введение в гипнографический психоанализ* (Изд. ООО «Мэйлер», Москва, 2008).
15. M. E. Gibbs and R. F. Mark, *Inhibition of Memory Formation* (Plenum Press, N.-Y.–London, 1973).
16. L. J. Kamin, *J. Comp. Physiol. Psychology* **50**, 457 (1957).
17. J. B. Ballard, *Brit. J. Psychol. Monogr. Suppl.* **1** (2), 1 (1913).
18. J. B. Messenger, *Nature* **232**, 202 (1971).
19. C. D. Sanders and J. Barlow, *Nature* **232**, 203 (1971).
20. J. Lat, *Acta Neurobiol. Exp.* **33**, 771 (1973).
21. N. A. Aladjalova, *Nature* **179**, 957 (1957).
22. B. C. Goodwin, *Temporal Organization in Cells* (Acad. Press, London–N.-Y., 1963).
23. M. Menaker, *Bioscience* **19**, 681 (1969).
24. E. Bunning, *The Physiological Clock* (Springer–Verlag, Berlin–N.-Y., 1973).
25. <http://314159.ru/kushnerov/kushnerov1.pdf>.
26. G. Liu, *Nature Neuroscience* **7** (4), 373 (2004).
27. З. Тухманова, *Старинная музыка* **3–4**, 23 (2005).

Period-tripling in Multiscale Physical and Biological Events

A.T. Bondar*, M.V. Fedorov** ***, and V.A. Kolombet**

**Institute of Cell Biophysics, Russian Academy of Sciences,
ul. Institutskaya 3, Pushchino, Moscow Region, 142290 Russia*

***Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences,
ul. Institutskaya 3, Pushchino, Moscow Region, 142290 Russia*

****Scottish Universities Physics Alliance (SUPA), Department of Physics, University of Strathclyde,
John Anderson Building, 107 Rottenrow East, Glasgow, United Kingdom*

A recent paper by S.J. Puetz et al. (*Chaos, Solitons & Fractals*, v. 62–63, p. 55, 2014) described a fundamental period-tripled model. It involves periods of different astronomical (quasars, Sun), geophysical (geomagnetic, climatic, volcanic) and some biological processes. This work contains statistics for sixteen pairs of a period-tripled sequence. These periods range from ~50 years to 1.5 billion years and no signs of the timescale limitations are found. We believe that the universal scope of the fundamental period-tripled model can be used for the development of new methodology of research data analysis: the main idea is that the spectrum of the periods of the studied event should be tested for the similarity with the spectrum of fundamental period-tripling pattern (because of the fundamental nature of the period-tripled model). Using this method, in this study we complement an already described period-tripled model with periods of human memory performance ranging from one minute to one month also adding seven relevant periods/frequencies of the period-tripled model in the range of human hearing. We make a conclusion that these characteristic frequencies may form the basis for music and singing phenomena. The new methodology is particularly appropriate for being applied in medicine and engineering.

Key words: multiscaling, period-tripling, memory, hearing, singing, music, tuning of musical instruments