ISSN 1330–0016
CODEN FIZBE7

GRAVITATIONALLY-BOUNDED OTONIC SYSTEMS IN THE PHYSICS OF THE EARTH

ALEXANDER P. TROFIMENKO AND OLEG L. ARTEMENKO

Astronomical Section of Minsk Department of Astronomical-Geodesical Society, Minsk-12, Abonent Box No 7, 220012, Byelorussia

Received 22 September 1993

UDC 530.12

Original scientific paper

The problem of formation of the gravitationally-bounded systems of otons (objects of general relativity) in the Earth's interior is discussed. The main properties of such systems under the influence of the Earth's gravitational field are calculated as well as in the absence of any external gravitational field. The estimations of the size of otonic systems, velocity and period of circulation of satellite otons around the attracting centre, etc. are obtained. The formation conditions and mechanisms for the gravitationally-bounded otonic systems of a planetary type are examined. The manifestation peculiarities of bounded otonic systems in the physics of the Earth are discussed.

1. Введение

Чёрные дыры [1] и, в более широком смысле, отоны [2] (чёрные, белые и серые дыры) как объекты предсказываемые в рамках общей теории относительности (ОТО) являются предметом интенсивных теоретических и экспериментальных исследований в астрофизике уже в течение долгого времени. Модели основанные на привлечении таких объектов нашли широкое применение в астрофизике для объяснения различных

космических феноменов, в особенности, тех, которые связаны с огромными энерговыделениями [2,3]. Однако, попытки экспериментального наблюдения взрывов микро-чёрных дыр в космосе не были успешными [4], что связывают с их удалённостью от Земли. Существование же микро-чёрных дыр внутри земного шара и ближайщих космических тел до сих пор оспаривалось из-за малого сечения захвата чёрных дыр, благодаря чему они проходят сквозь Землю подобно нейтрино [5].

В последнее время были выдвинуты аргументы в пользу существования большого числа отонов (в особенности микро-чёрных дыр) внутри Земли [6] и предложены различные варианты их экспериментального обнаружения [7]. Такая постановка вопроса позволяет решить проблему механизма локализации источников энергии, которая остро стоит как в астрофизике высоких энергий, так и в физике Земли [8] и планет [9]. Так, для объяснения энергетики вулканов и землетрясений, особенностей вращения Земли (смещение полюсов, годичные и суточные вариации периода вращения), моделирования разного рода аномалий (гравитационных, тепловых, электромагнитных и т.д.), была предложена модель микро-чёрных дыр, находящихся внутри Земли [7,10], и рассмотрена возможность их экспериментального обнаружения через детектирование нейтрино [7] и регистрацию минутных вариаций производных гравитационного потенциала – отонных гравиимпульсов (ОГИ) [11]. Были проведены предварительные эксперименты по обнаружению кратковременных вариаций второй производной гравитационного потенциала на вариометре Е–60 [11], результаты которых можно интерпретировать положительно в смысле регистрации ОГИ. В дальнейшем планируется проведение расширенных экспериментов с использованием широкого спектра геофизической аппаратуры с целью регистрации ОГИ. Успешное осуществление этих экспериментов позволило бы получить доказательства существования чёрных дыр в природе.

В настоящей статье в рамках модели микро-чёрних дыр (далее будем использовать более общий термин – отоны) рассмотрен вопрос о возможности существования гравитационно-связанных систем отонов (ГССО) внутри Земли. Малые отоны, локализующиеся в микроскопических объёмах, создают тем не менее гравитационные эффекты, сравнимые с эффектами от космических тел. Поэтому можно допустить существование в Земле не только одиночных отонов, но и самых разных ГССО (кратные системы, системы планетарного типа, системы типа отонного "газа" и др.). Рассмотрение таких моделей существенно расширяет эвристические возможности отонной геофизики. В работе проведены оценки характерных параметров таких систем (размеры системы, скорость и период обращения отонов-спутников вокруг притягивающего центра, параметры движения связанной системы по круговым орбитам вокруг центра Земли) находящихся в поле тяготения Земли, а также в отсутствие внешнего гравитационного поля. Обсуждаются различные варианты образования ГССО и их появления в геофизических явления.

2. *Свободные системы отонов*

Рассмотрим кратко характеристики ГССО без учёта влияния поля тяготения космического тела. Предположение о формировании таких свободных систем носит несколько модельный характер, поскольку одиночные чёрные дыры имеют очень малое сечение захвата и вероятность их гравитационного захвата друг другом в свободном пространстве ничтожно мала даже при наличии очень большого числа отонов в рамках отонного сценария образования чёрных дыр в нашей Метагалактике [2,12]. Гораздо более вероятным является образование таких систем в космических телах, в гравитационные потенциальные "ямы" которых отоны могут попадать и накапливаться, так что вероятность гравитационного перезахвата отонов друг другом может уже оказаться достаточно большой.

Для оценки диапазона размеров ГССО планетарного типа вычислим расстояние на котором отон с массой M_0^* создаёт силу притяжения, равную силе тяжести на земной поверхности. Тогда имеем

$$R_0^* = \left(\frac{M_0^*}{M_\oplus^*}\right)^{1/2} R_\oplus \tag{1}$$

где $M_\oplus$-масса Земли, $R_\oplus$-экваториальный радиус Земли. Результаты расчётов величины R_0^* приведены в Таблице 1 для различных масс M_0^* центрального притягивающего отона. Здесь же указаны значения скорости V_0^* и периода T_0^* обращения отона-спутника с массой $M_0 = 10^9$ кг по круговой орбите радиуса R_0^* вокруг отона с массой M_0^* ($M_0 \ll M_0^*$), рассчитанные по известным формулам [12]

$$V_0^* = \left(\frac{G(M_0^* + M_0)}{R_0^*}\right)^{1/2} \tag{2}$$

Таблица 1. Скорость (V_0^*) и период (T_0^*) обращения отона-спутника массой $M_0 = 10^9$ кг по круговой орбите радиусом R_0^* вокруг притягивающего центра массой M_0^* в отсутствие внешнего гравитационного поля.

M_0^* (кг)	R_0^* (м)	V_0^* (м/с)	T_0^* (с)
10^{11}	0,852	2,843	1,822
10^{13}	8,252	8,990	5,762
10^{15}	82,52	28,43	18,22
10^{17}	825,2	89,90	57,62
10^{19}	8252	284,3	182,2
10^{21}	82516	899,0	576,2

$$T_0^* = 2\pi \left(\frac{R_0^{*3}}{G(M_0^* + M_0)} \right)^{1/2} \tag{3}$$

где G-гравитационная постоянная. Анализ приведенных оценочных результатов показываеть, что значение R_0^* для отонов-спутников невелико. Так, при изменении M_0^* от 10^{11} до 10^{21} кг, R_0^* изменяется от 0,825 до 83516 м. Скорость движения отонов-спутников по круговым орбитам вокруг притягивающего центра также мала, что обусловлено небольшими массами (по сравнению с $M_\oplus$) притягивающих отонов. Например, скорость движения V_0^* отона с массой $M_0 = 10^8$ кг (предвзрывной отон) по круговой орбите вокруг центра с $M_0^* = 10^{11}$ кг составляет 2,85 м/с, при этом период обращения спутника равен $T_0^* = 1{,}82$ с.

В свободных ГССО, где внешнее гравитационное поле не накладывает ограничений на размеры системы, отоны-спутники могут находиться как на орбитах с радиусами $R < R_0^*$, так и на орбитах с $R > R_0^*$. При этом, с увеличением радиуса круговых орбит скорость V_0^* падает, а период обращения T_0^* возрастает. Так, для отона-спутника с массой 10^9 кг скорость и период обращения по круговой орбите радиусом $R = 100R_0^*$ вокруг центра с $M_0^* = 10^{13}$ кг будут составлять 0,9 м/с и 918 с (15,3 мин), соответственно. Зависимость ускорения g для полей тяготения отонов от расстояния до поверхности сфери радиусом R_0^* может быть рассчитана по обычной ньютоновской формуле $g_h = gR^*/(R_0^* + h)$.

3. Системы отонов в поле тяготения Земли

Оценим характерные размеры системы отонов планетарного типа (отоны-спутники в поле центрального притягивающего отона) находящейся в поле тяготения Земли и движущейся по некоторой орбите (для упрощения оценок будем рассматривать круговые орбиты лежащие в плоскости экватора и не выходящие за пределы объёма Земли) вокруг зародышевого отона расположенного в центре Земли.

Пусть притягивающий отон с массой M_0^* движется по круговой подэкваторной орбите с радиусом R_0. Вокруг него движется отон-спутник с массой M_0. Тогда расстояние между притягивающим отоном-центром и точкой, где силы притяжения этого отона и объёма Земли (заключёного в сфере радиусом $R_\oplus^*$ и имеющего массу $M_\oplus^*$) действующие на массу M_0, уравновешиваются, составит

$$R_1 = \frac{R_\oplus^*}{\left(\frac{M_\oplus^*}{M_0^*}\right)^{1/2}}. \tag{4}$$

Здесь $R_0 = R_1 + R_\oplus^*$. Величина R_1 (радиус орбиты отона-спутника) характеризует размер ГССО состоящей из двух отонов и движущейся

Таблица 2. Радиусы круговых орбит (R_1) отона-спутника массой $M_0 = 10^9$ кг в ГССО (M_0^* – масса центрального отона) движущейся в поле тяготения Земли по круговой подэкваторной орбите радиусом $R_\oplus^*$.

M_0^* (кг)	10^{11}	10^{13}	10^{15}	10^{17}	10^{19}	10^{21}
$R_\oplus^*$ (км)	R_1 (м)	R_1 (м)	R_1 (м)	R_1 (м)	R_1 (м)	R_1 (м)
6370	0,82	8,25	82,49	824,9	8249	82492
6300	0,82	8,24	82,37	823,7	8237	82369
6000	0,82	8,21	82,11	821,1	8211	82107
5000	0,83	8,29	82,87	828,7	8287	82874
3000	0,85	8,49	84,85	848,5	8485	84853
1500	1,15	11,5	115,4	1154,1	11541	115412
500	1,93	19,3	192,8	1928,1	19281	192813

по круговой орбите вокруг центра Земли. Поскольку рассматриваемые орбиты являются круговыми, то влияние масс Земли, внешних по отношению к сферам с радиусами $R_0 + R_1 \geq R \geq R_\oplus^*$, можно не учитывать. Кроме того, здесь пренебрегалось искажением круговой орбиты отона-спутника, вызываемым действием нецентральных сил, которые обусловлены влиянием масс Земли лежащих под сферой с текущим значением радиуса-вектора отона-спутника. Результаты расчётов величины R_1 при различных значениях параметров M_0^* и $R_\oplus^*$ приведены в Таблице 2. При расчёте масс $M_\oplus^*$ учитывалась неравномерность распределения плотности Земли, что позволяет получить более реальные результаты в отличие от модели однородной Земли. Для расчётов была выбрана модель слоисто-неоднородной (в радиальном направлении) Земли включающая пять областей с различной плотностью [13]. Такая модель наиболее близка к реальным геофизическим данным.

Из анализа полученних результатов следует, что размер ГССО возрастает с переходом на более глубокие орбиты. Значения R_1 совпадают с параметрами R_0^* свободной системи отонов из Таблицы 1 только для орбит связанных систем, лежащих близко к поверхности Земли. Реальные же размеры связанной системы отонов составляют (для M_0^* от 10^{11} до 10^{21} кг) в среднем од 1 до 10^5 м для орбит, лежащих на глубинах до $5 \cdot 10^6$ м от поверхности Земли. Назовём условно такие ГССО макросистемами. Из Таблицы 2 также видно, что системы размером $100R_0^*$ и более (т.е. при $R > R_1$) реально существовать не могут, т.к. ГССО в этом случае оказывается неустойчивой и возможен перезахват отонов-спутников внутренними массами Земли. В целом, вокруг центрального отона может обращаться достаточно большое число отонов-спутников, лежащих на внутренних орбитах с $R \leq R_1$ и движущихся с небольшими скоростями. Такая система напоминает обычную планетарную систему типа Солнечной. Наличие большого числа отонов-спутников на внутрен-

Таблица 3. Скорость ($V^*_\oplus$) и период ($T^*_\oplus$) обращения ГССО планетарного типа (масса центрального отона – 10^{19} кг) по круговой подэкваторной орбите радиуса $R^*_\oplus$ вокруг центра Земли ($M^*_\oplus$ – масса Земли, ограничиваемая сферой радиуса $R^*_\oplus$. $\Delta = R_\oplus - R^*_\oplus$.

Δ (км)	$R^*_\oplus$ (км)	$M^*_\oplus$ (кг)	$V^*_\oplus$ (м/с)	$T^*_\oplus$ (с)
8,4	6370	$5{,}96{\cdot}10^{24}$	$7{,}90{\cdot}10^{3}$	5062 (84,37 мин)
78,4	6300	$5{,}85{\cdot}10^{24}$	$7{,}87{\cdot}10^{3}$	5027 (83,78 мин)
378,4	6000	$5{,}34{\cdot}10^{24}$	$7{,}70{\cdot}10^{3}$	4891 (81,52 мин)
1378,4	5000	$3{,}64{\cdot}10^{24}$	$6{,}97{\cdot}10^{3}$	4507 (75,12 мин)
3378,4	3000	$1{,}25{\cdot}10^{24}$	$5{,}27{\cdot}10^{3}$	3578 (59,63 мин)
4878,4	1500	$1{,}69{\cdot}10^{23}$	$2{,}74{\cdot}10^{3}$	3433 (57,22 мин)
5878,4	500	$6{,}75{\cdot}10^{21}$	$0{,}95{\cdot}10^{3}$	3309 (55,15 мин)

них орбитах будет приводить к периодическим изменениям их параметров из-за взаимного влияния спутников друг на друга.

Оценим теперь скорость и период обращения такой связанной системы отонов (или, что то же самое, центрального отона с массой M^*_0) по круговой подэкваторной орбите вокруг зародышевого отона, расположенного в центре Земли. Предположим, что масса $M^*_\oplus$ объёма Земли, находящегося под сферой радиусом $R^*_\oplus$, сосредоточена в центре Земли (в неё также входит и масса зародышевого отона расположенного в центре земного шара). ГССО с притягивающим центром M^*_0 ($M^*_0 \ll M^*_\oplus$) движется по круговой орбите с радиусом $R^*_\oplus$. Результаты расчётов скорости $V^*_\oplus$ и периода обращения $T^*_\oplus$ системы по такой орбите приведены в Таблице 3 для различных значений $R^*_\oplus$. Как видно из таблицы значения круговых скоростей оказываются близкими к первой космической ($7{,}912 \cdot 10^3$ м/с), причём с уменьшением радиуса орбиты скорость и период обращения уменьшаются. Так при снижении $R^*_\oplus$ с 6370 до 500 км, V^*_0 уменьшается с $7{,}9 \cdot 10^3$ до $0{,}95 \cdot 10^3$ м/с, а T^*_0 – с 5062 с (84,37 мин) до 3309 с (55,15 мин). При расчёте $M^*_\oplus$ бралась модель слоисто-неоднородной (в радиальном направлении) плотности Земли [13], поэтому периоды обращения системы связанных отонов вокруг центра Земли по различным орбитам различаются, в то время как в модели однородной Земли с плотностью $\varrho_\oplus = 5{,}5 \cdot 10^3$ кг/м^3 период обращения отонов массой до 10^{21} кг по орбитам с радиусами $R^*_\oplus \geq 10^3$ м практически одинаков (т.к. $M^*_0 \ll M^*_\oplus$) и равен 5066 с (84,43 мин).

4. Условия формирования гравитационно-связанных систем отонов

В предыдущих разделах были приведены оценки некоторых из параметров, характеризующих ГССО, существование которых возможно внутри космических тел различной природы, в частности Земли. Возникает вопрос, какие всё-же необходимы условия для образования таких устойчивых систем?

Теоретически возможно предложить несколько вариантов возникновения ГССО. Первый вариант – это попадание уже сформированной ГССО внутрь Земли в процессе её образования. Т.к. считается, что Земля образовалась за счёт аккреции планетезималей на "зародыш" Протоземли [14], а сами планетезимали, как следует из отонного сценария, также образовались за счёт аккреции вещества на отоны, то можно предположить, что в планетезималях уже могли находиться ГССО. Кроме того, если расматривать модель осциллирующей Вселенной, то не следует исключать возможность образования ГССО на стадии сжатия вещества в эпоху "Большого хруста". Тогда, естественным образом сформированные в фазе сжатия ГССО, в фазе расширения Вселенной уже могут попадать в космические тела в процессе их формирования (либо захватываться полями тяготения тел в момент их пролёта).

Второй возможный вариант формирования ГССО заключается в перезахвате земными отонами друг друга на свои внешние орбиты. Однако, как видно из Таблицы 3, отоны движутся по орбитам вокруг центра Земли с довольно большими скоростями, приближающимися по величине к первой космической. В то же время скорости обращения отонов-спутников по орбитам с $R \geq R_0^*$ (Таблица 1) малы и составляют от нескольких единиц до десятков метров в секунду. Тогда очевидно, что гравитационный захват на такие орбиты в данном случае не имеет места, т.к. отоны будут "проскакивать" друг мимо друга с большими скоростями. Однако при этом возникает вопрос, могут ли земные отоны перезахватывать друг друга на орбиты с радиусами $R < R_0^*$? Оценим это расстояние

$$R^* = \frac{G(M_0^* + M_0)}{V_\oplus^{*2}}. \tag{5}$$

Здесь M_0 – маса отона-спутника, захватываемого отоном массой M_0^* на круговую орбиту радиусом R^*, $V_\oplus^*$ – скорость движения отона-спутника по круговой подэкваторной орбите радиуса $R_\oplus^*$ вокруг центра Земли (вектор скорости $V_\oplus^*$ должен совпадать с вектором скорости V^* в точке круговой орбиты, где происходит гравитационный захват отона-спутника). Результаты расчётов величин R^* и T^* (период обращения) представлены в Таблице 4 для $M_0 = 10$ кг, $V_\oplus^* = V^* = 7{,}876 \cdot 10^3$ м/с ($R_\oplus^* = 6300$ км) и различных значений M_0^*. Оказывается, что захват отонов-спутников на

Таблица 4. Скорость (V^*) и период (T^*) обращения отона-спутника массой $M_0 = 10^9$ кг по круговой орбите радиуса R^* вокруг центра притяжения с массой M_0^* в гравитационно-связанной микросистеме отонов (R_g – гравитационный радиус отона массой M_0^*).

M_0^* (кг)	R_g^* (м)	R^* (м)	V^* (м/с)	T^* (с)
10^{11}	$1{,}48{\cdot}10^{-16}$	$1{,}08{\cdot}10^{-7}$	$7{,}876{\cdot}10^{3}$	$8{,}6{\cdot}10^{-11}$
10^{13}	$1{,}48{\cdot}10^{-14}$	$1{,}08{\cdot}10^{-5}$	$7{,}876{\cdot}10^{3}$	$8{,}6{\cdot}10^{-9}$
10^{15}	$1{,}48{\cdot}10^{-12}$	$1{,}08{\cdot}10^{-3}$	$7{,}876{\cdot}10^{3}$	$8{,}6{\cdot}10^{-7}$
10^{17}	$1{,}48{\cdot}10^{-10}$	$1{,}08{\cdot}10^{-1}$	$7{,}876{\cdot}10^{3}$	$8{,}6{\cdot}10^{-5}$
10^{19}	$1{,}48{\cdot}10^{-8}$	$1{,}08{\cdot}10^{1}$	$7{,}876{\cdot}10^{3}$	$8{,}6{\cdot}10^{-3}$

таких больших скоростях возможен на орбиты с радиусами от 10^{-7} до 10^1 м при массе центра захвата 10^{11} кг $< M_0^* < 10^{19}$ кг.

Таким образом, в данной ситуации образуются уже микросистемы гравитационно-связанных отонов размером приблизительно от 10^{-7} до 10^1 м. В такой системе отон-спутник движется по орбите с огромной скоростью и очень малым периодом обращения $T^*(\approx 10^{-11} - 10^{-3}$ с). Для сравнения порядка величин в Таблице 4 указаны значения гравитационного радиуса R_g^* для центрального притягивающего отона с массой M_0^*. Разница между R_g^* и R^* составляет около девяти порядков, так что на таких расстояниях от сферы Шварцшильда можно считать, что сила притяжения центрального отона изменяется по ньютоновскому закону. Оценить вероятность образования таких микросистем в Земле довольно затруднительно, поскольку остаётся неопределённым вопрос о количестве отонов в Земле [6] (которое может колебаться в зависимости от их массы от 1 до 10^9) и плотности распределения их орбит. Т.к. область захвата отонами друг друга на орбиты радиусом R^* (Таблица 4) крайне мала, то для более или менее вероятного образования микросистем, плотность их распределения в некотором ограниченном объёме Земли должна быть значительной. Можно также утверждать, что отоны, орбиты которых лежат ближе к центру Земли, имеют большую вероятность образования связанных систем, т.к. с уменьшением радиуса орбиты частота их близкого пролёта относительно друг друга будет выше при прочих равных условиях.

Можно рассмотреть и третий вариант образования ГССО, который состоит в захвате земными отонами внешних отонов, влетающих в Землю с некоторой скоростью. Однако при этом для захвата отона-спутника на внешнюю орбиту радиусом $R \geq R_0^*$ (см. Таблицу 1) необходимо, чтобы его скорость при пролёте Земли составляла не более 900 м/с. В противном случае захват отона-спутника даже при совпадении вектора его скорости с вектором скорости в перицентре реальной эллиптической орбиты, невозможен. При захвате же на орбиты с $R \leq R_0^*$ (см. Таблицу 4) скорость внешнего отона может составлять порядка первой космической,

что является более реальным условием. Однако такой вариант также имеет определённую ограниченность, состоящую в том, что область захвата отона-спутника центром притяжения с массой от 10^{12} до 10^{21} кг весьма незначительна (см. Таблицу 4) и пренебрежимо мала по сравнению с объёмом земного шара. Поэтому даже при наличии большого числа отонов ($\approx 10^9$) в Земле, вероятность попадания внешнего отона при пролёте Земли в область притяжения такого локального центра и образования ГССО крайне мала, хотя и отлична от нуля. В принципе, если учесть общее время существования Земли, то вероятность образования как макро-, так и микросистем гравитационно-связанных отонов за этот период может быть уже заметной.

Резюмируя изложенное выше можно сказать, что наиболее вероятным является либо попадание уже сформированных ГССО обоих типов внутрь Земли, либо образование микросистем в Земле за счёт перезахвата отонами друг друга. В целом, независимо от конкретных условий образования ГССО нельзя исключить факт существования как макро- и микросистем с рассчитанными выше параметрами. По своим проявлениям все рассмотренные типы ГССО (за исключением систем с радиусом орбиты отона-спутника порядка 1 км и более, где можно разделить действие центра и отонов-спутников) не будут отличаться от одиночных отонов. Отоны-спутники будут вносить лишь дополнительный вклад в суммарную энергетику системы. Взрыв одного из отонов системы не означает прекращения действия системы в целом (если рассматривать, например, ГССО, обеспечивающую вулканическую деятельность в определённом районе), т.к. будут продолжать выделять энергию другие отоны системы. В другом случае, если энергетика вулканической деятельности не соответствует энерговыделениям одиночного отона, то такие энерговыделения всегда можно приписать действию ГССО.

Следует указать также на возможность существования систем отонов не связанных непосредственно между собой, но движущихся по близкорасположенным орбитам вокруг центра Земли и чуть смещённым относительно друг друга по фазе. Период обращения по этим орбитам в пределах некоторого слоя (который можно считать однородным) у всех отонов группы будет примерно одинаков, поэтому такая группа будет образовывать отонный "рой", движущийся по некоторой общей "усреднённой" орбите.

5. *Выводы*

Анализ условий формирования и характеристик ГССО привел к следующим выводам:

1) Возможно существование двух типов ГССО (макросистемы и микросистемы) в Земле.

2) Макросистемы отонов характеризуются размерами от 10^{-1} до 10^{6} м, небольшими скоростями обращения отонов-спутников по круговым орбитам. Реальные размеры макросистемы в Земле могут быть оценены исходя из данных о массах всех отонов системы и радиуса орбиты связанной ситемы относительно центра Земли.

3) Микросистемы отонов характеризуются размерами от 10^{-7} до 10^{1} м, очень большими скоростями (приближающимися к первой космической) и малыми периодами обращения отонов-спутников вокруг притягивающего центра.

4) Условия формирования ГССО в Земле включают в себя три основные схемы: попадание уже сформированной системы в Землю, захват внешних отонов и перезахват земными отонами друг друга (характерно для микросистем).

5) ГССО в Земле дают суммарный вклад в общую энергетику геофизических процессов (вулканическая деятельность и т.д.).

В заключение авторы выражают свою благодарность проф. Э. Хьюишу (A. Hewish), проф. А. Саламу (A. Salam), проф. Дж. А. Уилеру (J. A. Wheeler) и проф. А. Пензиасу (A. Penzias) за интерес, проявленный к проблеме существования чёрных дыр в космических телах.

Литература

1) S. Chandrasekhar, *The Mathematical Theory of Black Holes*, Oxford University Press, New York, 1983; S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology*, John Wiley & Sons, New York, 1972;
Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков, *Теория тяготения и эволюции звёзд*, Наука, Москва, 1971;

2) A. P. Trofimenko, Astrophys. and Space Sci. **159** (1989) 301;
White and Black Holes in the Universe, University Press, Minsk, 1991;

3) *Black Holes: The Membrane Paradigm*, Edited by K. S. Thorne, R. H. Price, D. A. Macdonald, Yale University Press, New Haven and London, 1986;
S. L. Shapiro and S. A. Teukolsky, *Black Holes, White Dwarfs and Neutron Stars*, John Wiley & Sons, New York, 1983;
R. D. Blandford and K. S. Thorne in book *General Relativity*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983;

4) N. A. Porter and T. C. Weeks, Astrophys. J. **212** (1977) 224;
Nature **267** (1977) 500;
M. J. Rees, Nature **266** (1977) 333;
J. Oliensis and C. T. Hill, Phys. Lett. **B143** (1984) 92;

5) D. G. Blair et al., Nature **251** (1974) 204;
G. Greenstein and G. O. Burns, Amer. J. Phys. **52** (1984) 531;

6) A. P. Trofimenko, Astrophys. and Space Sci. **168** (1990) 277;

7) A. P. Trofimenko, Bulgarian Geophysical J. **16** (1990) 80; Fizika **22** (1990) 545;
Fizika **23** (1991) 247;
Acta Geophysica Polonica XL (1992) 303;

8) P. V. Sharma, *Geophysical Methods in Geology*, Elsevier Science Publ., New York, 1986;

9) W. B. Hubbard, *Planetary Interiors*, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1984;
M. J. Fogg, J. Brit. Interplanetary Soc. **42** (1989) 587;

10) J. Gribbin, New Scientist **1732** (1990) 25;

11) A. P. Trofimenko, Fizika **B1** (1992) 207;
Earth, Moon and Planets **60** (1993) 177, 191;
Astrophys. and Space Sci. **199** (1993) 1;

12) W. M. Smart, *Celestial Mechanics*, Longman, Green & Co., New York, 1953;
Г. Н. Дубошин, *Небесная механика: основные задачи и методы*, Наука, Москва, 1975;

13) H. Laurent, Amer. J. Phys. **59** (1991) 954;

14) H. Alfven and G. Arrhenius, *Evolution of the Solar System*, Scientific and Technical Information Office, Washington, 1976;
H. Alfven, *Cosmic Plasma*, D. Reidel Publ. Com., 1981.

ГРАВИТАЦИОННО-СВЯЗАННЫЕ СИСТЕМЫ ОТОНОВ В ФИЗИКЕ ЗЕМЛИ

АЛЕКСАНДР П. ТРОФИМЕНКО, ОЛЕГ Л. АРТЕМЕНКО

Астрономическая секция Минского отделения астрономо-геодезического общества, Минск-12, абонементный ящик № 7, 220112, Беларусь

УДК 530.12

Обсуждается проблема образования гравитационно-связанных систем отонов (объектов общей теории относительности) внутри Земли. Проведен расчёт характеристик таких систем как в гравитационном поле Земли, так и в отсутствие внешнего гравитационного поля. Получены оценки размера систем, скорости и периода обращения отонов-спутников вокруг притягивающего центра и других параметров. Рассмотрены механизмы и условия формирования гравитационно-связанных систем отонов планетарного типа. Обсуждаются особенности проявления свойств связанных отонных систем в физике Земли.

GRAVITACIJSKI VEZANI SISTEMI OTONA U FIZICI ZEMLJE

ALEKSANDER P. TROFIMENKO i OLEG L. ARTEMENKO

Astronomical Section of Minsk Department of Astronomical-Geodesical Society, Minsk-12, Abonent Box No 7, 220012, Byelorussia

UDK 530.12

Originalni znanstveni rad

Razmotren je problem stvaranja gravitacijski vezanih sistema otona u unutrašnjosti Zemlje. Osnovna svojstva tih sistema izračunata su pod utjecajem gravitacijskog polja Zemlje i izvan gravitacijskog djelovanja. Dobivene su ocjene veličine otonskih sistema, brzine i perioda kruženja otonskih satelita oko privlačnog centra itd. Ispitani su uvjeti formiranja i mehanizmi gravitacijski vezanih otonskih sistema planetarnog oblika. Razmatrane su osobitosti vezanih otonskih sistema u fizici Zemlje.