

GENERAL RELATIVITY AND PHYSICS OF THE EARTH

ALEXANDER P. TROFIMENKO

*Astronomical Section of Minsk Department of Astronomical-Geodesical Society of the USSR,
Minsk-12, Abonent Box No. 7, 220012, USSR*

Received 5 July 1991

UDC 530.12

Original scientific paper

Geophysical manifestations of otons (objects of general relativity) are discussed. Values of energy and flow of neutrino from a microblack hole which can supply energetics of volcanos are specified. The energy of catastrophic volcano explosions is pointed out to coincide in the order of value with the energy of exploding black holes. The question is put about registration of high energy neutrino from exploding black holes by means of deep-water detectors. Short-time variations of gravitational potential derivatives (otonic graviimpulses) are described which are produced by fastmoving otons in the Earth. Expressions for oton mass are obtained through measurable physical quantities. The question of otonic graviimpulses registration is analysed.

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И ФИЗИКА ЗЕМЛИ

АЛЕКСАНДР П. ТРОФИМЕНКО

*Астрономическая секция Минского отделения Всесоюзного астрономо-геодезического общества,
Минск-12, абонентный ящик № 7, 220012, СССР*

Обсуждаются геофизические проявления отонов (объектов общей теории относительности). Уточнены значения энергии и потока нейтрино от микрочерной дыры, которая может обеспечить энергетику вулканов. Отмечается, что энергия катастрофических взрывов вулканов по порядку величины совпадает с энергией взрывающихся черных дыр. Поставлен вопрос о регистрации нейтрино высоких энергий от взрывающихся черных дыр глубоко-водными детекторами нейтрино. Описаны кратковременные вариации производных гравитационного потенциала (отонные гравиимпульсы), продуцируемые быстродвижущимися в Земле отонами. Получены выражения для

масс отонов через регистрируемые физические величины. Проанализирован вопрос регистрации отонных гравимпульсов.

1. Введение

Теоретические объекты общей теории относительности (ОТО) — отоны (черные, белые и серые дыры)¹⁾ нашли широкое применение в астрофизике для объяснения различных космических феноменов и, в особенности, тех, которые связаны с огромными энерговыделениями^{2,3)}. Проблема источников энергии стоит остро не только в астрофизике высоких энергий, но и в физике планет⁴⁾ и Земли⁵⁾. Причем проблема состоит не в количестве энергии, а в механизмах ее локализации в относительно небольших объемах. Этот вопрос особенно остро стоит в проблеме энергетики вулканов и землетрясений⁶⁾.

Для объяснения энергетики вулканов и других геофизических феноменов было предложено использовать модель микро-черных дыр^{7,8)}. В этой модели проблема локализации энергии легко решается, т. к. источник энергии (микро-черные дыры) является точечным — «горячей точкой». Поток нейтрино от черных дыр обладает уникальным спектром (он состоит из равномоощных потоков шести типов нейтрино, с одинаковой энергий) и он может быть зарегистрирован современной аппаратурой⁷⁾.

В данной статье продолжены исследования геофизических проявлений отонов. Качественно обсужден характер движения отонов в гравитационном поле Земли, даны оценки ближайших к земной поверхности кратных орбит отонов, их радиусы и периоды. Уточнены значения энергии и потока нейтрино от микро-черной дыры, которая может обеспечить энергетику вулканов. Проанализирована возможность объяснения катастрофических взрывов вулканов взрывами черных дыр. Описан примерный сценарий изменения энергии и потока нейтрино от взрывающихся черных дыр. Поставлен вопрос о наблюдениях взрывов черных дыр, находящихся в глубинах Земли, по всплеску нейтрино высоких энергий, которые могут регистрироваться глубководными детекторами нейтрино. Описаны кратковременные вариации производных гравитационного потенциала (отонные гравимпульсы), продуцируемые движущимися в Земле отонами. Даны выражения для различных производных гравитационного потенциала, продуцируемых отонами; оценено время отонных гравимпульсов. Получены выражения для масс отонов (M_0), в которые входят наблюдаемые физические величины (первые и вторые производные гравитационного потенциала, время изменения на определенную величину амплитуды отонного гравимпульса, энергия нейтрино). Обсужден вопрос о регистрации отонных гравимпульсов современными гравиметрическими приборами (гравиметрами и вариометрами).

2. Отоны в геофизике

Прежде, чем обсуждать проблему отонов в геофизике, необходимо ответить, по крайней мере, на два вопроса. Во-первых, надо выяснить, как

могут образовываться отоны малых масс ($M_0 \ll M_{\odot}^{\text{pl}}, M_0 < M_{\oplus}$)? Во-вторых, нужно ответить на вопрос: каким образом отоны могут оказаться в Земле? Конечно, ответить полно на эти вопросы в статье нельзя и нижесказанное означает лишь принципиальную возможность ответов на эти вопросы.

Ответ на первый вопрос был фактически дан в 1964—1965 гг. в работах И. Д. Новикова и Ю. Неемана, выдвинувших идею «задержавшихся ядер»⁹⁾, у которых массы могут быть меньше массы Солнца или даже массы Земли. Хотя эта идея была первоначально выдвинута для построения модели анти-коллапсаров (белых дыр), но вскоре было понято, что, если «задержавшиеся ядра» сразу не взрываются, то через короткое время они гравитационно самозамыкаются и образуют черные дыры. Было осознано, что идея «задержавшихся ядер» содержит в себе второй вариант образования черных дыр¹⁰⁾. Таким образом, отонами малых масс могут быть осколки (реликты) Большого взрыва. Эти отоны были названы первичными (реликтовыми). Так как первичные отоны образуются на начальном этапе Большого взрыва при вполне определенных условиях, а именно, при условиях больших плотностей и температур за весьма короткое время, то возникают ограничения на их число и общую массу. Если первичные черные дыры и существуют в настоящее время, то их должно быть немного: их общая масса должна быть на много порядков меньше массы обычного вещества. И уже только по этой причине наличие первичных черных дыр малых масс в Земле маловероятно.

Третий вариант образования черных дыр как реликтов серых дыр был предложен в 1973—1978 гг. в рамках идеи множества отонных миров в многомерной Вселенной (отонный сценарий)^{11,3)}. В этом сценарии отоны малых масс могут образовываться на любом этапе расширения нашей Метагалактики, а поэтому не возникает ограничений на количество малых черных дыр. Кроме того, в отонном сценарии нет ограничений на возраст космических объектов. Следовательно, черные дыры звездных масс за счет квантового испарения могут значительно уменьшить свою массу и стать черными дырами малых масс, а затем проникнуть в нашу Метагалактику через кротовые норы. Таким образом, в отонном сценарии допускается существование множества черных дыр различных масс, общая масса которых может быть порядка критической и составлять «скрытую массу» Вселенной^{3,11)}. Но даже существование очень большого числа отонов не означает, что они могут быть в Земле, т. к. одиночные черные дыры имеют крайне малое сечение захвата, что делает невероятным захват их космическими телами¹²⁾. Поток одиночных черных дыр малых масс проходит свободно сквозь Землю, подобно потоку нейтрино. Встает вопрос: каким образом малые черные дыры могут оказаться в гравитационной потенциальной «яме» Земли?

Для решения этой трудности следует привлечь идею о том, что отоны являются универсальными центрами («зародышами») образования всех космических объектов¹¹⁾. Давно получила известность идея черных дыр как «зародышей» галактик и скоплений галактик¹³⁾, менее известна идея о черных дырах как «зародышах» звезд¹⁴⁾. В рамках отонного сценария универсальными «зародышами» всех космических объектов вплоть до планет, комет и астероидов считаются отоны^{11,3)}. Логическим следствием этой идеи является представление о существовании множества отонов в космических телах, находящихся не только в центре объектов, но и движущихся в их гравитационных полях⁷⁾.

Возможна следующая схема попадания отонов в космические тела. Так, считается, что Земля образовалась за счет аккреции планетезималей на «зародыш» Протоземли¹⁵⁾. Но сами планетезимали, как следует из отонного сценария, также образовались за счет аккреции вещества на отоны, которые являются «зародышами» планетезималей. Таким образом, отоны не являются одиночными, «голыми», а изначально находятся в соответствующих гравитационных потенциальных «ямах» и окружены веществом. Вот эти отоны, имеющие оболочки из вещества, могут захватываться космическими телами. Причем вещество, непосредственно окружающее отоны, может быть вырожденным и обладать весьма большой плотностью, а значит, и сильным гравитационным полем, которое соответствующим образом связывает отон с веществом. Вещество планетезимали (оболочка отона) может тормозиться веществом Земли, а сильное гравитационное поле в центре планетезимали, в свою очередь, может тормозить отон вплоть до скорости, при которой происходит захват отона гравитационным полем Земли. Эта схема еще требует детальных расчетов и не исключено, что она может оказаться не работающей, но возможны и другие схемы попадания отонов в Землю. Например, какая-то часть отонов могут иметь в момент пересечения Земли скорость, близкую к земной, а значит, могут быть захвачены. В силу отсутствия ограничений по времени в гравитационной потенциальной «яме» Земли отоны могут неограниченно долго накапливаться.

Наконец, можно просто постулировать существование отонов в Земле, не ставя вопроса об их происхождении. Затем проанализировать геофизические проявления отонов и возможность их регистрации. И если отоны будут обнаружены (например, по регистрации отонных гравиимпульсов), то после этого можно будет более основательно заняться выяснением природы их происхождения. А пока отметим, что существование множества отонов в Земле не только не противоречит многочисленным эмпирическим фактам геофизики, но и многое может прояснить. Мнение о том, что, будучи в Земле, черные дыры должны легко себя обнаруживать, расценивается при первых же грубых оценках производимых ими эффектов. Даже, если в Земле находятся миллиарды малых черных дыр, обнаружить их крайне сложно, т. к. их гравитационные поля сливаются с гравитационным полем Земли. Кроме центрального зародышевого отона все остальные должны двигаться с большими скоростями и даже в случае близости апоцентров орбит отонов к земной поверхности обнаружить их не просто. Движение большинства отонов относительно земной поверхности труднопрогнозируемо, а сами отоны трудноуловимы, а регистрация кратковременных проявлений их гравитационных полей находится на пределе точности современной аппаратуры.

Кратко охарактеризуем свойства малых отонов. Заметим, что из отонов малых масс в наибольшей степени исследованы так называемые микро-черные дыры, хотя название для этих объектов является неточным по двум обстоятельствам. Во-первых, эти объекты не черные, т. к. за счет эффекта Хокинга они светятся и «раскаляются до бела». Во-вторых, за счет опять-таки эффекта Хокинга массы (а значит, и размеры) этих объектов уменьшаются, т. е. дыра стягивается и исчезает. Следовательно, эти объекты и не черные, и со временем перестают быть дырами. Поэтому во многих случаях в статье используется для этих объектов термин «отоны», который не содержит подобных

несоответствий. К отонам относится широкий класс объектов, теоретические модели которых строятся на основе точных решений ОТО^{1,2)}. Заметим, что микроскопический аналог белых дыр, может оказаться стабильным, т. к. их поведение должно быть обратным поведению испаряющихся и взрывающихся микро-черных дыр. Поэтому для геофизики отонов представляет интерес малоисследованный аналог микро-белых дыр.

Одной из самых характерных особенностей отонов малых масс является эффект Хокинга. Спектр излучения черных дыр был рассчитан впервые Пейджом¹⁶⁾, который затем был уточнен²⁾. Интегральную мощность излучения черной дыры для различных случаев можно выразить формулой:

$$P_{BH} = (k_g + k_\nu + k_\gamma + k_e + k_N) \cdot P_c \cdot (M_c/M_{BH})^2, \quad (1)$$

$$k_g + k_\nu + k_\gamma + k_e^0 + k_N = 1$$

где коэффициенты (k) означают часть мощности излучения черной дыры, которые приходятся на различные типы частиц: k_g (гравитоны), k_ν (нейтрино), k_γ (фотоны), k_e (лептоны), k_N (барионы). Для малых масс ($M_{BH} < 10^{10.5}$ кг) и больших мощностей излучения черных дыр продукты излучения существенно зависят от модели сильного взаимодействия при сверхвысоких энергиях и спектра масс элементарных частиц, что недостаточно исследовано. Поэтому для спектра излучения черной дыры имеются данные лишь для трех случаев²⁾, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1.

M_{BH} (кг)	M_c (кг)	P_c (Дж·с ⁻¹)	k_g	k_e^0	k_γ	k_e	k_N
$M_{BH} > 10^{14}$	10^{14}	$3,5 \cdot 10^5$	0,014	0,867	0,119	0	0
$5 \cdot 10^{11} < M_{BH} < 10^{14}$	10^{12}	$6,3 \cdot 10^9$	0,009	0,549	0,076	0,366	0
$10^{10.5} < M_{BH} < 10^{11}$	10^{11}	10^{12}	0,01	0,48	0,11	0,28	0,12

Мощность и спектр излучения черных дыр различных масс $P_{BH} = (k_g + k_\nu + k_\gamma + k_e + k_N) P_c (M_c/M_{BH})^2$.

Но источником энергии земных черных дыр может быть не только их квантовое испарение, но и аккреция вещества. Мощность излучения за счет гидродинамической сферически-симметричной аккреция на черную дыру определяется выражением²⁾:

$$P_{BH} = 120 \cdot c^2 (M_{BH}/M_\odot)^2 (\rho_\infty/10^{-24} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}) (T_\infty/10^4 \text{ К})^{-3/2} \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1}. \quad (2)$$

Для твердого вещества земной коры вопрос об аккреции на черную дыру в силу некоторых факторов проблематичен. Но (2) вполне можно использовать для первоначальной оценки мощности излучения аккрецирующего магматического вещества, для которого из (2) получаем:

$$P_{BH} \approx 1,5 \cdot 10^{-19} M_{BH}^3 \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1}. \quad (3)$$

Из (1) и (2) и табл. 1 видно, что при $P_{BH} \approx 10^{10}$ Дж · с⁻¹ трудно определить, что является основным источником энергии излучения (аккреция или квантовое излучение), т. к. и в том, и в другом случаях величина массы черной дыры одного порядка. При $P_{BH} > 10^{11}$ Дж · с⁻¹ массы аккрецирующих и излучающих черных дыр могут значительно различаться, т. к. у аккрецирующих черных дыр $P_{BH} \sim M_{BH}^2$, а у испаряющихся черных дыр $P_{BH} \sim M_{BH}^{-2}$. Определив массу черной дыры, можно сделать вывод о доминирующем источнике энергии (аккреция или квантовое излучение). Для $M_{BH} > 10^{12}$ кг начинает доминировать аккреционный механизм выделения энергии.

Земные отоны сконцентрированы в микроскопических объемах и их можно считать гравитирующими точечными массами, которые движутся по ньютоновскому закону тяготения. А значит, эффекты ОТО сказываются для них лишь на уровне масштабов микромира. Но самым важным является то, что сама возможность существования подобных массивных точечных объектов является следствием ОТО. Микроскопические размеры земных отонов можно оценить по формуле:

$$R_0 = (M_0/M_\odot) R_\odot, \quad (4)$$

где M_\odot — масса Солнца, равная $2 \cdot 10^{30}$ кг, R_\odot — гравитационный радиус Солнца, равный $3 \cdot 10^3$ м. Плотность вещества отонов оценивается формулой:

$$\rho_0 = (M_0/M_\odot)^{-2} \rho_\odot \quad (5)$$

где $\rho_\odot = 1,85 \cdot 10^{19}$ кг · м⁻³ есть плотность вещества черной дыры с массой Солнца. Хотя малые отоны и локализируются в микроскопических объемах, но тем не менее они могут создавать гравитационные эффекты, сравнимые с эффектами от космических тел. Так, на расстоянии

$$R_0 = (M_0/M_\oplus)^{1/2} R_\oplus \quad (6)$$

сила притяжения, создаваемая отоном, равна силе тяжести на земной поверхности. Отон с $M_0 = 2 \cdot 10^{17}$ кг на расстоянии одного километра будет создавать силу тяжести такую же, какую создает Земля на своей поверхности.

Черные дыры испускают частицы подобно черному телу, обладающему температурой²⁾:

$$T_{BH} = 10^{-7} (M_{BH}/M_\odot)^{-1} \text{ К} \quad (7)$$

в течение времени:

$$t_{BH} \approx 10^{10} (M_{BH}/10^{15} \text{ г})^3 \text{ лет.} \quad (8)$$

На последнем этапе испарения черной дыры происходит взрыв, когда за 0,1 с выделяется энергия 10^{23} Дж. Это незначительная энергия по сравнению

с энерговыделением звезд (светимость Солнца $3,8 \cdot 10^{25}$ Дж \cdot с $^{-1}$), но весьма значительная величина для энергетики планет (тепловой поток земных недр — $3,17 \cdot 10^{13}$ Дж \cdot с $^{-1}$, тепловой поток Юпитера — $3 \cdot 10^{17}$ Дж \cdot с $^{-1}$)⁴⁾. Излучению от микро-черных дыр соответствуют значительные температуры (10^6 К и больше), а значит, в космических телах возможно протекание различного рода термоядерных реакций и даже образование кваркового вещества.

Успехи кварковой теории¹⁷⁾, открытие пси-частиц¹⁸⁾, обнаружение Дж. Фридманом (J. I. Friedman), Г. Кендаллом (H. W. Kendall), Р. Тейлором (R. E. Taylor) партонных давлений дали основание для идеи о кварковых звездах и ядрах¹⁹⁾. Отоны могут продуцировать кварковое вещество не только в центре нейтронных звезд²⁰⁾, но и, возможно, в Земле. Поясним это. Для микро-черных дыр ($M_{BH} \approx 10^{10}$ кг) аккреционные диски (в случае верности соотношений для макро-черных дыр) должны находиться внутри пространства адронов. Затем, температура возле микро-черных дыр (7) также может соответствовать кварковому состоянию вещества. Таким образом, отоны, возможно, могут продуцировать сверхплотные, экзотичные состояния вещества: кварковое, вырожденное нейтронное и электронное. Из этого сверхплотного вещества могут состоять оболочки отонов. Отоны, возможно, порождают в земных недрах и другие экзотичные состояния вещества как сверхтекучесть и сверхпроводимость²¹⁾, которые могут реализовываться в форме короткоживущих струй вдоль движения соответствующих отонов. Естественно, сделанные предположения требуют дополнительно анализа и расчетов, чтобы оценить их верность.

Наконец, сделаем замечания по классификации отонов земного спектра в зависимости от их массы. Земные отоны в зависимости от величины массы могут представлять собой как практически вечные объекты, так и кратковременные взрывы; они могут быть источником энергии как за счет квантовых эффектов, так и за счет аккреции; отоны могут излучать как массивные так и безмассовые частицы и пр. Осознавая условность такого рода классификаций, приведем возможный ее вариант.

1) $M_0 < 10^7$ кг. Взрывные черные дыры: время их существования порядка нескольких секунд, а форма существования — взрыв.

2) 10^7 кг $< M_0 < 10^9$ кг. Предвзрывные черные дыры. Время существования менее 10 лет. Этого времени достаточно, чтобы обнаружить по нейтринному излучению эти черные дыры за несколько лет до взрыва. Эти объекты излучают по земным масштабам весьма большое количество энергии, быстро теряют массу и, в конце концов, взрываются. Зарегистрировав такие объекты, можно предсказать время их взрыва. Если масса черной дыры будет больше всего лишь в несколько раз, время ее существования будет измеряться столетиями, что делает практически невозможным наблюдение взрыва.

3) 10^9 кг $< M_0 < 10^{12}$ кг. Время существования этих черных дыр не превосходит времени существования Метагалактики и по этому признаку их можно назвать хаббловскими или метагалактическими. Они излучают адроны, а поэтому эти отоны можно назвать адронными.

4) 10^{12} кг $< M_0 < 10^{18}$ кг. Время существования этих объектов уже превосходит время существования Метагалактики, т. е. для метагалакти-

ческих процессов — это практически вечные объекты. Размеры этих объектов в зависимости от массы могут быть от размеров элементарных частиц и атомных ядер до размеров атомов и молекул, т. е. по пространственному параметру это микроскопические отоны. В свою очередь, микроскопические черные дыры можно разделить на отоны с $M_0 > 10^{14}$ кг, которые излучают только люксоны (люксонные отоны), и с $M_0 < 10^{14}$ кг, которые излучают еще лептоны (лептонные отоны).

5) 10^{18} кг $< M_0 < 10^{22}$ кг. По пространственному параметру — это макроскопические отоны, возможность существования которых в Земле еще имеет смысл обсуждать.

Черные дыры с $M_0 > 10^{22}$ кг имеют уже массу планет и их спутников и не имеет смысла рассматривать их как внутриземные объекты. Хотя представляют собой интерес, например, задачи типа прохождения (точнее, проскакивания) через Землю отона с $M_0 > M_{\oplus}$ и $v_0 > 10^7$ м · с⁻¹. Сможет ли подобная одиночная черная дыра, мгновенно проскочив через Землю, оказать какое-либо заметное влияние на планету? Сможет ли человек ощутить увеличение силы тяжести, происходящее доли секунды? Но отложим эти вопросы на будущее и перейдем к анализу движения земных отонов, воздействие которых на земную поверхность хотя и кратковременно, но доступно для регистрации современной гравиметрической аппаратурой.

3. Отоны в гравитационном поле Земли

В гравитационном поле Земли отоны свободно передвигаются как точечные гравитационные массы даже в земных недрах, т. к. неизвестен физический механизм, который мог бы удержать в относительной неподвижности столь необычные тела. Кроме зародышевого центрального отона все остальные перемещаются в Земле словно в пустоте. Точное описание движения отонов в Земле представляет собой крайне сложную задачу, поэтому ограничимся лишь общей характеристикой.

Отоны могут двигаться по эллиптическим орбитам, у которых в одном из фокусов должно находиться ядро Земли (центральный отон). Апоцентры орбит отонов могут находиться в глубинах Земли, быть вблизи ее поверхности или выходить далеко в околоземное пространство. Скорость в апоцентре минимальна, а время нахождения и действие отона — максимальны. Если апоцентр находится в глубине, то геофизическое проявление отона на поверхности Земли мало, а вероятность его регистрации невелика. Если апоцентр находится далеко в околоземном пространстве, то прохождение через земную поверхность и геофизические проявления отона будут кратковременными. Поэтому только те отоны, апоцентра которых лежат вблизи поверхности Земли, могут оказывать заметное геофизическое воздействие. Оценить период обращения отона вдоль поверхности Земли можно с помощью известного выражения:

$$T_{\oplus} = 2 (R_{\oplus}^3 / GM_{\oplus})^{1/2}, \quad (9)$$

где R_{\oplus} — экваториальный радиус Земли, равный $6,378 \cdot 10^6$ м; G — гравитационная постоянная; M_{\oplus} — масса Земли. Из (9) имеем следующее значение для периода обращения отона вокруг Земли $T_{\oplus} = 5066$ с (84,43 мин).

Но даже близость апоцентров орбит отонов к земной поверхности не является гарантией их легкого обнаружения. Подавляющая часть отонов должна двигаться относительно земной поверхности весьма хаотичным образом, появление их в этой или иной области земной поверхности труднопрогнозируемо, а сами они трудноуловимы. И это несмотря на то, что относительно удаленных звезд должны сохранять свое пространственное положение плоскость орбиты отона и ось вращения Земли. Дело в том, что вследствие вращения Земли отоны будут приближаться каждый раз к различным областям земной поверхности. Итолько незначительное число отонов, которые обладают кратными периодами относительно периода обращения Земли вокруг своей оси (кратность может быть и относительно произвольного числа периодов), будет появляться в фиксированных местах земной поверхности. Кратность относительно суток означает также число областей вблизи земной поверхности, в которых появляется кратный отон в течение суток. Кратный отон через звездные сутки (или кратное им число) оказывается в апоцентре своей орбиты вблизи одной и той же области земной поверхности. Дадим оценку ближайших к земной поверхности кратных орбит, воспользовавшись выражением:

$$R_k = R_{\oplus} (T_k/T_{\oplus})^{2/3}, \quad (10)$$

R_{\oplus} и T_{\oplus} известны из (9), $T_k = T_{sc}/k$. T_{sc} — время звездных суток. Отношение $(T_{sc}/T_{\oplus}) = 16,998$ говорит о том, что ближайшие к земной поверхности кратные отоны имеют период, кратный семнадцати ($k = 17$). Этот период равен $T_{17} = (T_{sc}/17) = 5068,48$ с = 84,47 мин. Для большой полуоси из (10) имеем $R_{17} = 6476,7$ км, что, примерно, на полтора километра меньше экваториального радиуса. Фактически апоцентры этих кратных отонов должны находиться еще глубже, т. к. гравитационная масса, в поле которой движется отон, всегда меньше M_{\oplus} . Другие ближайшие кратные орбиты ($k = 18$, $k = 16$) имеют параметры: $k = 18$, $T_{18} = 4786,9$ с (79,78 мин), $R_{18} = 6139$ км (область астеносферы); $k = 16$, $T_{16} = 5385,3$ с (89,75 мин), $R_{16} = 6933$ км (область термосферы).

В настоящее время апоцентры орбит отонов с $k = 17$ подходят близко к поверхности Земли. Это означает, что каждые сутки в определенное время в одну и ту же область земной коры происходит «впрыскивание» энергии: в апоцентре скорость минимальна, а значит, выделение энергии на единицу расстояния максимально. Выделяемая отоном энергия в твердом веществе может эффективно аккумулироваться и ее вполне достаточно даже для обеспечения энергетики вулкана. Само же «впрыскивание» энергии может служить спусковым механизмом для землетрясений. Таким образом, в местах появления кратных отонов ($k = 17$) могут быть геологические особенности: вулканы, эпицентры землетрясений, кольцевые структуры, месторождения углеводородов, тепловые аномалии и др.

Так как период вращения Земли и периоды обращения орбит меняются со временем, то одни орбиты могут перестать быть кратными, а другие ими станут. Это может привести к изменению и даже прекращению вулканической активности в двух случаях. Во-первых, если апоцентры кратных орбит орбит отонов уйдут достаточно глубоко в земные недра, что сделает невозможным их геофизическое проявление на поверхности. Во-вторых, если апоцентры орбит кратных орбит отонов выйдут выше земной поверхности, что сделает невозможным аккумуляцию энергии. Это объясняет то, что в настоящее время лишь небольшое число планетных тел, у которых апоцентры кратных орбит близки к поверхности, обладает активным вулканизмом.

Обращение Земли вокруг Солнца приводит к тому, что в различные времена года кратный орбит отон будет проходить в одну и ту же область в различное время суток. Это время будет меняться каждые сутки, примерно, на 237 с и его можно определить из следующего простого соотношения $t_c = t_0 - \Delta t N_c$ (t_0 — время суток исходного отсчета, N_c — число прошедших суток, $\Delta t = 236,555$ с).

Наконец, заметим, что в принципе можно допустить существование не только одиночных орбит отонов в Земле, но и самых различных гравитационно-связанных систем орбит отонов (кратных систем, систем, подобным планетным системам и пр.). Кроме того, орбиты могут двигаться в Земле отонными рядами. Подобные модели значительно расширяют эвристические возможности отонной геофизики. Так, взрыв одного из орбит отонов, входящего в отонную систему и вызывающего катастрофическое извержение вулкана, не означает прекращение вулканической активности в этой области, т. к. будут продолжать выделять энергию другие орбиты системы.

4. Геологические катастрофы и взрывы вулканов

Наибольшие энерговыделения на Земле связаны с катастрофическими взрывами вулканов⁶⁾. Так, энергия взрывов вулканов Тамбора и Санторин была порядка 10^{20} Дж. Анализ движения орбит отонов в Земле показывает, что энергия катастрофических взрывов вулканов может быть обусловлена энергией взрывающихся черных дыр.

Прежде всего отметим, что учет фактора движения кратного орбит отона ведет к изменению оценки энергии и потока нейтрино, приведенные ранее для вулкана Ключевского⁷⁾. Из учета фактора движения кратного орбит отона следует, что черная дыра не находится постоянно в магматической камере вулкана, а появляется там в течение суток, примерно, на минуту. Следовательно, чтобы обеспечить энергетику вулкана, мощность излучения черной дыры должна быть больше в соответствующее число раз, что дает $P_{BH} = 2,6 \cdot 10^{13}$ Дж · с⁻¹. Этой мощностью излучения может обладать черная дыра с $M_{BH} = 2 \cdot 10^{10}$ кг, которая излучает нейтрино с энергией около 1 Гэв со скоростью порядка $\approx 10^{22}$ с⁻¹.

Движущиеся микро-черные дыры еще в большей степени соответствуют концепции горячих точек, которые, как считается, поддерживаются локализованными восходящими потоками мантийного материала в плюмах⁵⁾. Дви-

жущаяся черная дыра вдоль своего движения прогревает вещество, создавая восходящий плюм.

Различие энергии взрыва черной дыры (10^{23} Дж) и максимальной энергии взрыва вулкана (10^{20} Дж) объясняется следующими факторами. Во-первых, вероятность того, что черная дыра окажется в магматической камере в момент взрыва, невелика, т. к. в течение суток черная дыра находится в магматической камере, примерно, минуту. Поэтому, скорей всего, черная дыра оказывается в магматической камере не в момент взрыва, а в предвзрывном состоянии. В течение суток сгорает черная дыра с $M_{BH} \approx 3 \cdot 10^8$ кг, а мощность ее излучения порядка 10^{18} Дж \cdot с $^{-1}$. Такая черная дыра уже больше не вернется в магматическую камеру, т. к. за сутки она должна взорваться в глубинах Земли. За время последнего появления в магматической камере эта черная дыра выделяет энергию порядка 10^{20} Дж, т. е. эта энергия взрыва вулкана.

Во-вторых, не вся энергия взрывающейся черной дыры может перейти в энергию взрыва вулкана. Около половины энергии приходится на нейтрино и гравитоны, которые очень слабо взаимодействуют с веществом и в основном уходят в космическое пространство. Затем, часть энергии переходит в массу покоя рождающихся массивных частиц. А если учитывать вторичные процессы рождения массивных частиц, то энергия, связанная с массой покоя частиц, может оказаться значительной.

Наконец, могут быть повышены оценки энергии взрывов вулканов. Верхняя оценка энергии вулканических взрывов (10^{20} Дж) считается предельной еще потому, что прочность земной коры не позволяет сконцентрировать большее количество энергии в течение длительного времени. Кратковременная подпитка большим количеством энергии ($E > 10^{20}$ Дж) от черной дыры, за чем следует извержение и разрядка напряжений в коре, не имеет этих ограничений. Таким образом, энергетика взрывающихся черных дыр по порядку величины удивительным образом оказывается близкой к энергии взрывов вулканов, что является еще одним косвенным свидетельством существования черных дыр в Земле.

Обсудим возможность регистрации всплеска нейтрино, сопровождающего взрыв черной дыры. Причем этот взрыв, скорее всего, происходит в центральной области Земли, которая, возможно, представляет своеобразное хранилище предвзрывных и взрывных черных дыр. Пространственная область ядра Земли для гравитационных объектов является выделенной — это область наиболее древней части гравитационной потенциальной «ямки», в которой должны находиться наиболее древние и короткоживущие черные дыры. Другими словами, плотность короткоживущих черных дыр в центральной области Земли должна быть выше (возможно, на много порядков), чем в пространстве окружающего мира.

Предшествующие исследования по регистрации взрывов черных дыр²²⁾ велись в другом направлении. Во-первых, их искали не в глубинах Земли, а в глубинах Космоса. Во-вторых, их пытались регистрировать не по нейтринному излучению, а по электромагнитному. Для регистрации нейтринных всплесков можно использовать любые имеющиеся нейтринные детекторы, т. к. все они, примерно, равноудалены от области нахождения черной дыры. Этот эксперимент разительно отличается от эксперимента по регистрации

повышенного потока нейтрино вблизи вулканов: не требуется построения дорогостоящего нейтринного детектора в весьма трудных условиях вблизи вулкана, а можно использовать для регистрации всплесков нейтрино от взрывов черных дыр глубоководные нейтринные детекторы²³⁾. Желательно лишь понизить на порядок величину энергии регистрируемых нейтрино. В имеющихся глубоководных нейтринных детекторах эта величина равна 50—100 Гэв, а необходимо, чтобы уверенно зафиксировать черную дыру за несколько лет до ее взрыва, регистрировать нейтрино с энергией порядка 10 Гэв.

В силу ряда обстоятельств (возможность существования новых типов нейтрино, неопределенность ряда факторов в физике высоких энергий и элементарных частиц и др.) определить точно сценарий излучения нейтрино взрывающейся черной дырой нельзя. Но можно нарисовать примерную картину направленности процессов и оценить порядок величин, что и изложено ниже.

Предвзрывная черная дыра с $M_{BH} \approx 10^9$ кг излучает в течение нескольких нейтрино с энергией порядка 10 Гэв, поток которых на поверхности Земли $\varphi_{\oplus} \approx 10^9 \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Энергия и поток нейтрино будут возрастать со временем. В последние дни перед взрывом черная дыра будет излучать нейтрино с энергией 100 Гэв и $\varphi_{\oplus} \approx 10^{10} \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Энергия и поток нейтрино начнут резко возрастать и в последние минуты черная дыра будет излучать нейтрино с энергией до 10 Тэв, а поток составит величину $\varphi_{\oplus} \approx 10^{12} \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Заканчивается взрыв черной дыры тем, что в доли секунды происходит всплеск нейтрино с энергией более 100 Тэв⁷⁾. Детально нейтринное излучение от черной дыры проанализировано в работе 24.

Открытие в 1962 г. Л. М. Ледерманом (L. Lederman), М. Шварцом (M. Schwartz), Дж. Стейнбергом (J. Steinberger) второго типа нейтрино (ν_{μ}), а также обнаружение в 1975 г. М. Л. Перлом (M. L. Perl) третьего типа нейтрино (ν_{τ}) говорит об уникальности спектра нейтрино, излучаемого черной дырой: он состоит из равномоощных потоков различных типов нейтрино ($\nu_e, \tilde{\nu}_e, \nu_{\mu}, \tilde{\nu}_{\mu}, \nu_{\tau}, \tilde{\nu}_{\tau}$), имеющих одинаковую энергию. Эта уникальность спектра нейтрино является важным тестом для отождествления потока нейтрино с излучением от черной дыры.

Если даже предвзрывных черных дыр достаточно много, взрываться они должны в одиночку. Дело в том, что со временем разница в массе черных дыр сказывается все сильнее на процессы их испарения. Чтобы черные дыры взрывались одновременно, их массы должны быть равными с высокой степенью точности: так, для черных дыр с массами порядка 10^{12} кг различие в величине масс не должно быть более трех миллионных долей. Таким образом, черные дыры приближаются к своему финишу (взрыву) в одиночку и нейтринное излучение от них должно начать резко выделяться от нейтринного фона, образованного другими предвзрывными черными дырами.

Экспериментальные данные по регистрации нейтрино высоких энергий от взрывов черных дыр позволяют не только уточнить картину квантового испарения и взрыва черной дыры, но и дадут информацию о частицах при сверхвысоких энергиях²⁵⁾, прояснят проблему комбинированной симметрии²⁶⁾. Заметим, что отоны могут проявлять себя не только в форме геологических катастроф, но и в форме различных геологических особенностей, которые могут продуцироваться отонами за большие промежутки времени.

5. Релятивистская (отонная) геология

Существование отонов в Земле должно вести к геофизическим и геологическим следствиям. Дело в том, что области земной поверхности, вблизи которых появляются кратные отоны, должны быть особенными в геологическом отношении, т. к. воздействие отонов может аккумулироваться в течение длительного времени. Такими особенностями могут быть вулканы, эпицентры землетрясений кольцевые структуры, месторождения полезных ископаемых и пр.

Любые месторождения полезных ископаемых означают определенную степень локализации, которая, возможно, может быть объяснена тем или иным воздействием кратных отонов. В геологии давно отмечалась корреляция древнего вулканизма с теми или иными месторождениями полезных ископаемых. А так как вулканизм может быть связан с действием кратных отонов, движение которых закономерно, а расположение отонных особенностей на Земле определенным образом упорядочено, то можно прогнозировать расположение месторождений на земной поверхности.

Затем, температуры, до которых отоны могут локально разогревать вещество, достаточны для протекания термоядерных реакций и образования элементов. Поэтому не исключено, что в магматических камерах вулканов происходит образование элементов, на что указывают корреляция аномалий ^3He с вулканами. Прямую информацию о термоядерных реакциях в магматических камерах может дать нейтринное излучение. Распад же ядернов может вести к образованию месторождений трансурановых элементов.

Отоны, имеющие соответствующие параметры, могут быть источниками энергии для образования химических соединений, газовых и жидких носителей энергии (углеводородов). Выявляя пространственное расположение в Земле отонов, релятивистская (отонная) геология может прогнозировать расположение месторождений нефти и газа в нетрадиционных геологических районах. В любой теории происхождения углеводородов (органической или неорганической) требуется источник энергии для их образования. Такими источниками могут быть отоны. Появление отонов в месторождении углеводородов должно сопровождаться кратковременными вариациями гравитационного и электромагнитного полей, что вносит принципиально новые элементы в геофизическую разведку. По этим кратковременным вариациям физических полей можно регистрировать отоны.

6. Кратковременные вариации производных гравитационного потенциала и отоны

Земные отоны можно регистрировать непосредственно по их гравитационному полю: они продуцируют кратковременные локальные гравитационные аномалии^{3,7)}. Специфика их проявления в условиях Земли заключается в их локальности (лишь вблизи отонов их гравитационное поле значительно) и кратковременности (они могут входить в область регистрации современными приборами лишь на несколько минут). Возможность прямой гравитационной

регистрации отонов представляется весьма заманчивой и она будет обсуждена детальной.

Пока заметим, что отоны, в принципе, такие же объекты физики, которые были предсказаны в теории и открыты на Земле, как, например, промежуточные векторные бозоны (W^+ , W^- , Z^0). Промежуточные векторные бозоны были открыты в знаменитых экспериментах К. Руббиа (С. Rubbia), для которых специально готовилась сложная и дорогостоящая установка (van der Meer). Хотя заметим, что в случае регистрации отонов ситуация может оказаться иной, а именно, такой, какая была при открытии реликтового излучения, когда использовалась имеющаяся аппаратура (А. А. Penzias, Р. W. Wilson). Для того, чтобы использовать гравиметрическую аппаратуру для регистрации отонов, возможно, понадобится лишь ее незначительная модификация. Современная гравиметрическая аппаратура²⁷⁾ регистрирует первые вертикальные производные гравитационного потенциала (g , гравиметры) и вторые горизонтальные производные гравитационного потенциала (W_{xx} , вариометры). Проанализируем поведение первой и второй производных гравитационного потенциала, продуцируемых отонами.

Гравитационное воздействие отона представляет собой гравитационный импульс (всплеск) продолжительностью несколько минут. Радиус регистрации (R_r) отонных гравимпульсов будем определять не через точность гравиметрического прибора, а через минимальные вариации гравитационного поля, которые уверенно регистрируются и разрешаются во времени. Амплитуды регистрируемых гравимпульсов равны для гравиметров: $\Delta g = 0,1$ мГал; для вариометров: $\Delta W = 1$ Е. С учетом этих значений радиусы регистрации будут определяться следующим образом:

$$R_r(\Delta g) = 0,817 (M_0/M'_0)^{1/2} \text{ (км)}, \quad (11)$$

$$R_r(\Delta W) = 1,616 (M_0/M'_0)^{1/3} \text{ (км)}, \quad (12)$$

где $M'_0 = 10^{10}$ кг. Значения R_r приведены в табл. 2. Как видно, основная часть земных отонов регистрируются на расстояниях до ста километров. Значения амплитуд гравимпульсов, вызываемых отонами разных масс, в пределах этого радиуса регистрируемости даны в табл. 3. Амплитуды могут быть довольно значительными (см. табл. 3), но чем больше амплитуда, тем более кратковременным должен быть отонный гравимпульс и тем реже будут появляться такие гравимпульсы.

При анализе временных вариаций первой (Δg) и вторых (ΔW_{xx} , ΔW_{zz}) производных гравитационного потенциала, которые вызываются отонами, движущимися вблизи земной поверхности, будем учитывать лишь две составляющие в движении отона. Во-первых, это свободное падение отона в гравитационном поле Земли (движение вдоль оси Z). Во-вторых, движение отона относительно земной поверхности (движение на Запад вдоль оси X), возникающее за счет вращения Земли. Не будет учитываться изменение гравитационного поля с изменением Z : в пределах R_r изменение ускорение свободного падения всего около $0,03 g_\oplus$. Не будет учитываться также собственное движение отона вдоль долготы Y , т. е. рассматривается двумерное плоское движение. Для отонов, апоцентры орбит которых находятся вблизи земной поверхности, эти упрощения вполне оправданы.

Таблица 2.

M_0 (кг)	R_r (Δg) км	R_r (ΔW) км
10^{10}	0,82	1,62
10^{11}	2,58	3,48
10^{12}	8,17	7,5
10^{13}	25,84	16,16
10^{14}	81,7	34,82
10^{15}	258	75
10^{16}	817	162

Значения радиуса регистрации (R_r) для гравиметров $R_g(\Delta g) = 0,817 (M_0/M_0^*)^{1/2}$ км и вариометров $R_r(\Delta W) = 1,616 (M_0/M_0^*)^{1/3}$ км при различных значениях массы отона.

При таких упрощениях зависимость вариаций производных гравитационного потенциала, вызываемых отонами, от времени определится выражениями:

$$\Delta g = GM_0 (Z_0 + gt^2/2) R_0^{-3}, \quad (13)$$

$$\Delta W_{zz} = 2GM_0 (Z_0 + gt^2/2) R_0^{-4}, \quad (14)$$

$$\Delta W_{xx} = 2GM_0 (X_0 + V_\varphi t) R_0^{-4}, \quad (15)$$

$$R_0^2 = (X_0 + V_\varphi t)^2 + (Z_0 + gt^2/2)^2, \quad (16)$$

X_0, Y_0 — координаты апоцентра орбиты отона, M_0 — масса отона, V_φ — линейная скорость движения точки земной поверхности на широте φ (на широте Обнинска $V_\varphi = 267$ м · с⁻¹). Производные гравитационного потенциала связаны между собой выражениями:

$$\Delta W_{zz} = (Z_0 + gt^2/2) (X_0 + V_\varphi t)^{-1} \Delta W_{xx}, \quad (17)$$

$$\Delta g = (R_0/2) \Delta W_{zz}, \quad (18)$$

$$\Delta g = (R_0/2) (Z_0 + gt^2/2) (X_0 + V_\varphi t)^{-1} \Delta W_{xx}. \quad (19)$$

Координаты апоцентра орбиты отона влияют не только количественно, но и качественно на картину отонного гравимпульса. На рис. 1 и 2 показаны траектории орбит отонов, которые находятся в пределах (или вблизи) радиуса регистрации относительно системы координат наблюдателя, находящегося на земной поверхности. Уже из характера этих орбит, точнее, из особенностей их расположения относительно наблюдателя видно, насколько разным может быть характер отонного гравимпульса. Кратковременное увеличение силы тяжести, сменяющееся ее уменьшением — это самый простой случай. А могут быть и более сложные варианты, когда за короткое время возможны различные, даже противоположные вариации производных гравитационного потенциала, например: $(+\Delta g, +\Delta W_{zz}), (-\Delta W_{xx}), (-\Delta g, -\Delta W_{zz}), (+\Delta W_{xx})$. Но несмотря на сложную структуру отонного гравимпульса про-

Таблица 3.

R_0 (M)	10^2	$2 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$	10^3	$2 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	10^4	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	10^5
M_0 (кг)	10^2	10^2	10^1	10^0	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}
10^{12}	10^5	10^4	10^3	10^2	10^1	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}
10^{13}	10^6	10^5	10^4	10^3	10^2	10^1	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}
10^{14}	10^7	10^6	10^5	10^4	10^3	10^2	10^1	10^0	10^{-1}	10^{-2}
10^{15}	10^8	10^7	10^6	10^5	10^4	10^3	10^2	10^1	10^0	10^{-1}

Значения амплитуд отонных гравимпульсов ($\Delta g = (GM_0/R_0^2) \cdot 10^5$ мГал; $\Delta W = (2GM_0/R_0^3) \cdot 10^9$ Е), вызываемых отонами с массами (M_0) на расстоянии (R_0). В таблице даны значения порядков величин первой производной гравитационного потенциала (вверх) и второй производной гравитационного потенциала (вниз). Для получения точных значений необходимо эти величины умножить на соответствующие коэффициенты ($g = k \cdot 10^5$ мГал; $W = k' \cdot 10^9$ Е), которые зависят от аналогичных коэффициентов при R_0 (k): $k = 1$ ($k' = 6,672$, $k'' = 1,334$); $k = 2$ ($k' = 1,668$, $k'' = 1,668$); $k = 5$ ($k' = 2,668$, $k'' = 1,068$).

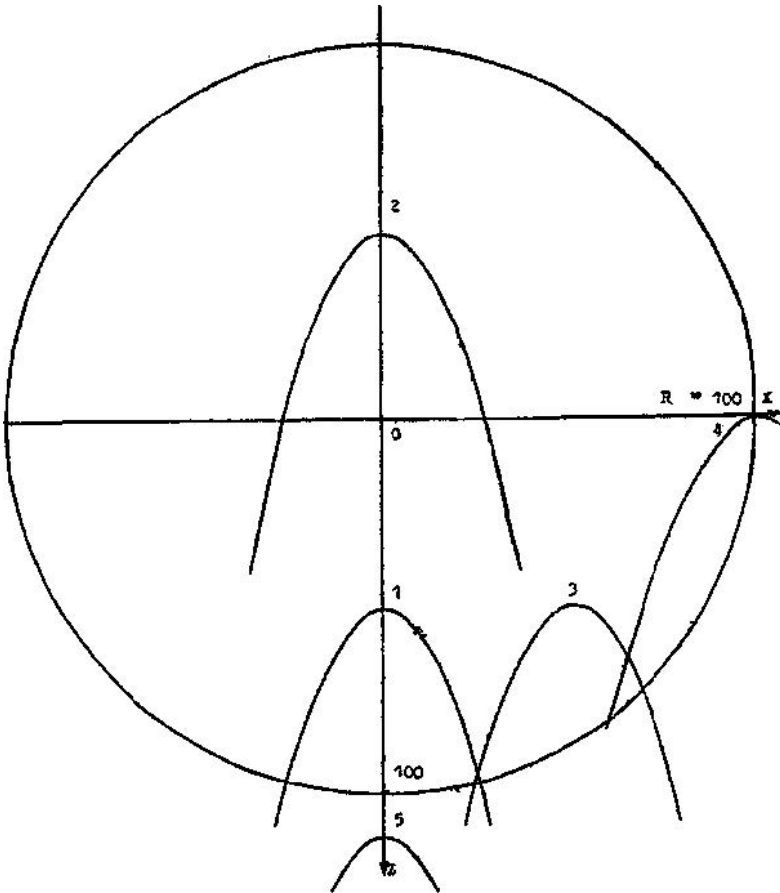


Рис. 1. На рисунке ось Z направлена по вертикали, ось X направлена вдоль широты, она является касательной к точке наблюдателя ($X = 0, Z = 0$), находящегося на поверхности Земли. Один сантиметр на рисунке соответствует 10 километрам. Различные параболы означают различные траектории орбитов внутри или вблизи радиуса регистрации ($R_r = 100$ км). Из особенностей расположения орбит орбитов относительно наблюдателя вытекает специфика вариаций гравитационного потенциала. Различному положению парабол соответствуют различные комбинации вариаций производных гравитационного потенциала: 1) $(+\Delta g, +\Delta W_{zz})$; 2) $(+\Delta g, +\Delta W_{zz}), (-\Delta W_{xx}), (-\Delta g, -\Delta W_{zz}), (+\Delta W_{xx}), (+\Delta g, +\Delta W_{zz})$; 3) $(+\Delta g, +\Delta W_{zz}, +\Delta W_{xx})$; 4) $(+\Delta W_{xx})$; 5) $(0, 0, 0)$.

длительность его в любом случае будет невелика: $t \sim 2 (R_r/g)^{1/2}$, т. е. порядка 200 с. Чтобы в более явном виде выразить зависимость производных гравитационного потенциала от времени, рассмотрим более простой случай ($X_0 = 0; Z_0 = 0$). Это условие приводит к упрощению выражений (13)—(19) и дает:

$$\Delta g = g (GM_0/2) (V_\varphi^2 + g^2 t^2/4)^{-3/2} t^{-1}, \quad (20)$$

$$\Delta W_{zz} = gGM_0 (V_\varphi^2 + g^2 t^2/4)^{-2} t^{-2}, \quad (21)$$

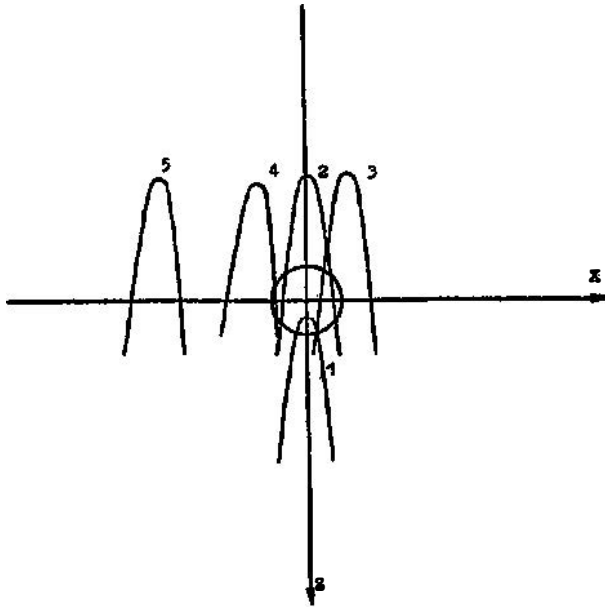


Рис. 2. На рисунке изменен масштаб: один сантиметр соответствует 100 километрам, т. е. радиусу регистрации. Здесь различному положению парабол соответствуют следующие комбинации вариаций производных гравитационного потенциала: 1) $(+\Delta g, +\Delta W_{zz})$, 2) $(+\Delta g, +\Delta W_{zz}), (-\Delta W_{xx}), (-\Delta g, -\Delta W_{zz}), (0, 0, 0), (-\Delta g, -\Delta W_{zz}), (+\Delta W_{xx}), (+\Delta g, \Delta W_{zz})$; 3) $(+\Delta g, +\Delta W_{zz}), (+\Delta W_{xx}), (-\Delta g, -\Delta W_{zz})$; 4) $(-\Delta W_{xx})$; 5) $(0, 0, 0)$.

$$\Delta W_{xx} = 2V_{\varphi} GM_0 (V_{\varphi}^2 + g^2 t^2/4)^{-2} t^{-3}, \quad (22)$$

$$\Delta W_{zz} = (gt/2V_{\varphi}) \Delta W_{xx}, \quad (23)$$

$$\Delta g = (R_0/2) \Delta W_{zz}, \quad (24)$$

$$\Delta g = (gt/2V_{\varphi}) (R_0/2) \Delta W_{xx}. \quad (25)$$

Зависимость от времени различна для двух случаев:

1) $t < 2V_{\varphi}/g$; 2) $t > 2V_{\varphi}/g$. Первое условие для (20)—(22) дает следующие выражения:

$$\Delta g \approx g (GM_0/2) V_{\varphi}^{-3} t^{-1}, \quad (26)$$

$$\Delta W_{zz} \approx gGM_0 V_{\varphi}^{-4} t^{-2}, \quad (27)$$

$$\Delta W_{xx} \approx 2GM_0 V_{\varphi}^{-3} t^{-3}. \quad (28)$$

Выражения (26)—(28) говорят о том, что изменение производных гравитационного потенциала от отона, находящегося вблизи апоцентра, определяется скоростью вращения Земли. Но по прошествии, примерно, одной минуты за счет ускорения свободного падения в гравитационном поле Земли вертикальная составляющая скорости отона становится значительной. Это

соответствует второму условию, которое в предельном случае из (20)—(22) дает следующие выражения:

$$\Delta g \approx 4GM_0 g^{-2} t^{-4}, \quad (29)$$

$$\Delta W_{zz} \approx 16GM_0 g^{-3} t^{-6}, \quad (30)$$

$$\Delta W_{xx} \approx 32GM_0 V_{\varphi} g^{-4} t^{-7}. \quad (31)$$

Выражения (29)—(31) означают, что на данном этапе изменение отонного гравиимпульса определяется ускорением отона в гравитационном поле Земли. Выражения (26)—(31) ясно говорят о том, что гравитационное проявление отона носит импульсный характер. Гравитационные аномалии, вызываемые отоном, быстро достигают максимума и также быстро (обратно пропорционально времени в четвертой — седьмой степени) убывают.

В некоторых случаях (см. рис. 1, 2) в апоцентре отон продуцирует максимальное значение гравитационной аномалии. Рассмотрим такой случай: $X_0 \ll Z_0$, $\Delta W_{xx} \ll \Delta W_{zz}$. Если на расстояние Z_0 будет продуцироваться максимальное значение:

$$\Delta g_0 = GM_0/Z_0^2, \quad (32)$$

то на расстояние R_k будет продуцироваться k часть от Δg_0

$$\Delta g_k = k\Delta g_0 = GM_0/R_k^2. \quad (33)$$

Кроме того R_k и Z_0 связаны между собой выражением:

$$R_k = Z_0 + gt^2/2. \quad (34)$$

Из выражений (32)—(34) получаем:

$$t_k = (2Z_0/g)^{1/2} [(1/k)^{1/2} - 1]^{1/2}. \quad (35)$$

Для грубой оценки ($1 \ll 1/k$) времени отонного гравиимпульса имеем:

$$t_k \approx (2Z_0g)^{1/2} (1/k)^{1/4}. \quad (35a)$$

Из (35) и (35a) и табл. 4 видно, как расстояние до апоцентра влияет на отонный гравиимпульс: чем ближе апоцентр орбиты отона к наблюдателю, тем более кратковременным является отонный гравиимпульс. Само значение производной гравитационного потенциала не входит в выражение (35), а входит только время (t_k) его уменьшения до величины $k\Delta g_0$, т. е. (35) справедливо для отонных гравиимпульсов с различной величиной амплитуды. По временному поведению гравиимпульсов произвольной амплитуды можно определить расстояние до апоцентра орбиты отона:

$$Z_0 = (g/2) t_k^2 [(1/k)^{1/2} - 1]^{-1}. \quad (36)$$

Таблица 4.

Z_0 (м) k	10^2	$2 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$	10^3	$2 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	10^4	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	10^5
0,5	8	11	17	24	34	54	76	108	171	242
0,25	9	13	20	28	40	63	89	127	200	283
10^{-1}	11	16	26	36	51	81	115	163	257	364
10^{-2}	20	29	46	65	91	145	204	289	457	646
10^{-3}	36	51	80	113	160	253	358	506	800	1131

Время (t_k): отклонено гравитационное, в зависимости от разных значений k и Z_0 .

При наблюдении второй производной гравитационного потенциала получаем аналогичные (35) и (36) выражения:

$$t_k = (2Z_0/g)^{1/2} [(1/k)^{1/3} - 1]^{1/2}, \quad (37)$$

$$Z_0 = (g/2) t_k^2 [(1/k)^{1/3} - 1]^{-1}. \quad (38)$$

Для второй горизонтальной производной гравитационного потенциала имеют место аналогичные выражения:

$$t_k = (X_0/V_\varphi) [(1/k)^{1/3} - 1], \quad (39)$$

$$X_0 = V_\varphi t_k [(1/k)^{1/3} - 1]^{-1}. \quad (40)$$

Из сказанного выше, выражений (20)—(31) и табл. 4 следует, что для регистрации отонных гравимпульсов необходимо повысить временное разрешение гравиметров и вариометров с непрерывной записью гравиметрических данных, по крайней мере, на два порядка. Сниматься гравиметрические данные должны ежесекундно и не должно происходить усреднения по большим временным интервалам, в результате которого отонный гравимпульс как бы «стирается» и гравитационное проявление отона не фиксируется прибором. Затем амплитуда гравимпульсов должна быть, по крайней мере, на порядок выше точности прибора, чтобы можно было разрешить временную структуру отонного гравимпульса. Из сказанного ясно, что современная гравиметрическая аппаратура²⁷⁾ не регистрирует отонные гравимпульсы. Для того, чтобы обнаружить отонные гравимпульсы, необходима, по крайней мере, определенная модификация современных гравиметров и вариометров с непрерывной записью гравиметрических данных: изменить режим работы и соответствующие фильтры.

Имеющиеся данные по неприливым изменениям силы тяжести²⁷⁾, которые происходят за промежутки времени на много порядков больше времени отонных гравимпульсов, объясняются тектоническими движениями и миграцией флюидов²⁸⁾. Сравнительно короткие (внутрисуточные) вариации силы тяжести могут объясниться движением ядернов, которые являются объектами промежуточными между телами из обычного вещества и отонами. Ядроны соответственно должны обнаруживать промежуточные свойства: они могут перемещаться в земных недрах, но медленнее отонов; ядроны могут продуцировать вариации силы тяжести, но с меньшими амплитудами и большими временами, чем у отонов. Отонные гравимпульсы же имеют весьма особенную структуру: время порядка минуты; амплитуды, соответствующие гравитационным массам в миллионы и миллиарды тонн; временные вариации отонного гравимпульса, соответствующие крайне быстрым перемещениям сверхмассивных тел. Таким образом, отонные гравимпульсы имеют настолько ярко выраженную временную структуру, что их нельзя спутать ни с чем другим.

Кроме того, можно указать еще дополнительные, характерные только для отонных гравимпульсов особенности (см. рис. 1, 2). Такими дополнительными особенностями, которые могут сопровождать отонные гравимпуль-

сы или характеризовать их самих, являются: 1) отрицательные вариации в вертикальных производных гравитационного потенциала ($-\Delta g, -\Delta W_{zz}$), 2) кратковременные вариации горизонтальных производных гравитационного потенциала ($+\Delta W_{xx}, -\Delta W_{xx}$), 3) быстрая смена (в пределах нескольких минут) различного рода вариаций производных гравитационного потенциала ($+\Delta g, +\Delta W_{zz}; -\Delta W_{xx}; -\Delta g, -\Delta W_{zz}; +\Delta W_{xx}; +\Delta g, +\Delta W_{zz}$), 4) синхронные с гравимпульсами появления микропульсаций магнитного и других геофизических полей²⁹⁾, 5) строгая периодичность (период — звездные сутки) появления гравимпульсов от кратных отонов. По-видимому, этот список особенностей отонных гравимпульсов не является завершенным, но пока ограничимся сделанными замечаниями. Не все эти особенности могут проявляться одновременно, но для всех отонных гравимпульсов характерны такие быстротечные изменения гравитационного потенциала, которые соответствуют перемещениям с громадными скоростями тел, с массами не менее миллиона тонн.

Таким образом, для регистрации отонов желательно проведение комплексного геофизического эксперимента, в котором с высоким временным разрешением должна проводиться регистрация геофизических полей не только гравиметрами, но и вариометрами, магнитометрами и другой геофизической аппаратурой.

Допустимое число отонов вблизи поверхности Земли⁷⁾ говорит о том, что каждые сутки в область регистрации наблюдателя, находящегося в произвольной точке земной поверхности, может появляться несколько отонов. Это значит, что для эксперимента можно выбрать любую геофизическую обсерваторию и в течение суток зарегистрировать отонные гравимпульсы. Если плотность отонов на три-четыре порядка меньше, то потребуются годы, чтобы зарегистрировать отонные гравимпульсы. При еще меньшей плотности отонов регистрация отонных гравимпульсов в произвольной области Земли может оказаться безнадежным делом. В этом случае придется перенести эксперимент в области, предполагаемого появления кратных отонов (вулканы, сейсмически активные зоны, месторождения углеводородов, разломы, астроблемы и пр.). В этих областях условия для проведения экспериментов далеки от идеальных, но можно каждые сутки ожидать появления отонного гравимпульса. В любом эксперименте по регистрации отонов необходимо оценить хотя бы порядок величины их массы, чему посвящен последний раздел.

7. Определение массы отона по регистрируемым физическим величинам

Имеется несколько независимых способов определения массы отона через наблюдаемые физические величины (энергия нейтрино, величина магнитных пульсаций и пр.). Но можно определить M_0 и через непосредственные гравиметрические измерения производных гравитационного потенциала, продуцируемых отонами.

Если регистрируются в основном вариации вертикальных производных гравитационного потенциала ($\Delta W_{xx} \ll \Delta W_{zz}$), то используя выражения (13)—(16) и (35)—(38), можно получить значения M_0 через наблюдаемые значения величин производных гравитационного потенциала и времени их регистрации (t_k):

$$M_0 = (g^2/4G) k \Delta g(0) (1 - k^{1/2})^{-2} t_k^4, \quad (41)$$

$$M_0 = (g^3/16G) k \Delta W_{zz}(0) (1 - k^{1/3})^{-3} t_k^6. \quad (42)$$

Максимальные значения величин первой и второй производных гравитационного потенциала равны соответственно: $\Delta g(0)$, $\Delta W_{zz}(0)$. При регистрации горизонтальных отонных гравимпульсов ($\Delta W_{xx} \gg \Delta W_{zz}$), используя (15)—(16) и (39)—(40), массу отона можно определить через выражение:

$$M_0 = (V_{\varphi}^3/2G) k \Delta W_{xx}(0) (1 - k^{1/3})^{-3} t_k^3. \quad (43)$$

$\Delta W_{xx}(0)$ — максимальная величина горизонтальной производной гравитационного потенциала. Возможно определение массы отона через выражения, не содержащие в явном виде времени. Для этого необходимо одновременные измерения различных производных гравитационного потенциала и из (13)—(16) для массы отона имеем:

$$M_0 = 4G^{-1} (\Delta W_{xx}^2 + \Delta W_{zz}^2)^{1/2} \Delta W_{zz}^{-3} \Delta g^3. \quad (44)$$

При $\Delta W_{xx} \ll \Delta W_{zz}$,

$$M_0 = 4G^{-1} \Delta g^3 \Delta W_{zz}^{-2}. \quad (45)$$

Так как современные вариометры не регистрируют непосредственно значения вертикального градиента силы тяжести (ΔW_{zz}), то для его опреде-

ления нужно использовать два синхронно работающих гравиметра, разнесенных по высоте на $h = \Delta Z$. В этом случае $\Delta W_{zz} = [\Delta g(2) - \Delta g(1)] h^{-1}$. Но имея два ряда синхронно определяемых значений первой вертикальной производной гравитационного потенциала отонного гравимпульса ($\Delta g(1)$, $\Delta g(2)$) можно непосредственно через них определить массу отона:

$$M_0 = G^{-1} h^2 \Delta g(1) \{[\Delta g(1)/\Delta g(2)]^{1/2} - 1\}^{-2}. \quad (46)$$

При одновременной регистрации вторых горизонтальных производных гравитационного потенциала ($\Delta W_{xx}(1)$, $\Delta W_{xx}(2)$) вариометрами, находящимися на расстоянии l друг от друга, величина массы отона определится через выражение:

$$M_0 = G^{-1} l^3 \Delta W_{xx}(1) \{[\Delta W_{xx}(1)/\Delta W_{xx}(2)]^{1/3} - 1\}^{-3}. \quad (47)$$

Наконец, при регистрации нейтрино с энергией E , от черных дыр их масса определится через выражение:

$$M_0 = (E_0/E_s) M'_0, \quad (48)$$

где $M'_0 = 10^{12}$ кг, $E_0 = 2,1 \cdot 10^{-12}$ Дж.

8. Выводы

Анализ поведения отонов малых масс в Земле и их геофизических проявлений привел к следующим выводам:

1) Энергия катастрофических взрывов вулканов по порядку величины совпадает с энергией взрывающихся черных дыр.

2) Глубоководные детекторы нейтрино способны регистрировать всплески нейтрино высоких энергий от взрывающихся черных дыр, находящихся внутри Земли.

3) Отоны продуцируют кратковременные вариации производных гравитационного потенциала (отонные гравимпульсы), которые, возможно, могут регистрироваться современной гравиметрической аппаратурой, если ее определенным образом модифицировать.

4) Массы отонов могут быть определены через наблюдаемые физические величины.

Автором в июне месяце текущего года был проведен эксперимент на вариометре Е-60 по регистрации отонных гравимпульсов, результаты которого обрабатываются.

В заключение автор выражает свою глубокую благодарность проф. Хьюшу Э. (Hewish A.), проф. Саламу А. (Salam A.), доктору Гриббину Дж. (Gribbin J.) за интерес, проявленный к проблеме существования черных дыр в космических телах; доктору Фоггу М. (Fogg M. J.) за присылку отписок; доктору Гурину В. С. за его любезное согласие провести детальные расчеты нейтринного излучения от черных дыр для готовящейся в печать совместной статьи.

Литература

- 1) S. Chandrasekhar, *The Mathematical Theory of Black Holes*, Oxford University Press, New York, 1983; S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology*, John Wiley and Sons, New York, 1972; Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков, *Теория тяготения и эволюция звезд*, Москва, 1971;
- 2) *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; И. Д. Новиков, В. П. Фролов, *Физика черных дыр*, Наука, Москва, 1986;
- 3) А. П. Трофименко, *Astrophys. and Space Sci.* 159 No 2 (1989) 301; *White and Black Holes in the Universe*, University Press, Minsk, 1991;

- 4) W. B. Hubbard, *Planetary Interiors*, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1984; M. J. Fogg, J. Brit. Interplanetary Soc. 42 (1989) 587;
- 5) P. V. Sharma, *Geophysical Methods in Geology*, Elsevier Science Publ., New York, 1986;
- 6) H. Rast, *Vulkane und Vulkanismus*, BSB B. G. Reubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1980; G. A. Macdonald, *Vulcanoes*, Prentice-Hall, New Jersey, 1972; L. C. Graton, American J. of Sci. 243-A (1945);
- 7) A. P. Trofimenko, *Astrophys. and Space Sci.* 168 No 2 (1990) 277; *Bulgarian Geophysical J.* 16 No 2 (1990); *Fizika* 22 No 3 (1990) 545;
- 8) J. Gribbin, *New Scientist* 1732 (1990) 25;
- 9) И. Д. Новиков, *Астрон. ж.* 41 № 6 (1964) 1075; Y. Ne'man, *Astrophys. J.* 141 No 4 (1965) 1303;
- 10) Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков, *Релятивистская астрофизика*, Наука, М., 1967; S. Hawking, *Month. Notic. Roy. Astron. Soc.* 152, No 1 (1971) 75;
- 11) А. П. Трофименко, *Принципы развития в астрофизике*, ИНИОН АН СССР, № 2027, Москва, 1978;
- 12) A. A. Iv. Jackson and M. P. Jr. Ryan, *Nature* 245 No 5420 (1973) 88; W. H. Beasley and B. A. Tinsley, *Nature* 250 No 5647 (1974) 555; D. G. Blair et al., *Nature* 251 No 5472 (1974) 204; G. Greenstein and J. O. Burns, *Amer. J. Phys.* 52 No 5 (1984) 531;
- 13) P. Mészáros, *Astron. and Astrophys.* 38 No 1 (1975) 5; B. J. Carr, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 181 No 2 (1977) 293; J. D. Barrow and J. Silk, *Gen. Relat. and Gravit.* 10 No 7 (1979) 633; K. Freese, R. Price and D. N. Schramm, *Astrophys. J.* 275 No 2 (1983) 405;
- 14) D. D. Clayton, M. J. Newman and R. J. Jr. Talbot, *Astrophys. J.* 201 No 2 (1975) 489; M. J. Fogg, *Spec. Sci. and Tech.* 13 No 1 (1989) 20;
- 15) H. Afven and G. Arrhenius, *Evolution of the Solar System*, Scientific and Technical Information Office, Washington, 1976; H. Alfven, *Cosmic Plasma*, D. Reidel Publ. Com., 1981;
- 16) D. N. Page, *Phys. Rev. D: Particles and Fields* 13 No 2 (1976) 198; 14 No 12 (1976) 3260;
- 17) M. Gell-Mann, *Phys. Lett.* 8 (1964) 214; M. Gell-Mann and Y. Ne'man, *The Eightfold Way*, W. A. Benjamin, Inc., New York, 1964; F. Halzen, A. D. Martin, *Quarks and Leptons*, John Wiley & Sons, New York, 1984;
- 18) B. Richter, *Rev. Mod. Phys.* 49 (1977) 251; S. C. C. Ting, *Rev. Mod. Phys.* 49 (1977) 235;
- 19) A. De Rujula, S. L. Glashow, *Nature* 312 No 5996 (1984) 734;
- 20) A. P. Trofimenko, *Astrophys. and Space Sci.*, in press;
- 21) L. N. Cooper, *Phys. Rev.* 104 (1956) 1189; J. Bardeen, L. Cooper and J. Schrieffer, *Phys. Rev.* 108 (1957) 1175;
- 22) N. A. Porter and T. C. Weekes, *Astrophys. J.* 212 No 1 (1977) 224; *Nature* 267 No 5611 (1977) 500; M. J. Rees, *Nature* 266 No 5600 (1977) 333; J. Oliensis and C. T. Hill, *Phys. Lett.* B143 No 1 N3 (1984) 92;
- 23) S. Matsuno, *КЕК Progr. Rept. No 1 (1989) 178*; *Астрофизика космических лучей*, под ред. В. Л. Гинзбурга, Наука, Москва, 1984;
- 24) А. П. Трофименко and V. S. Gurin, in press;
- 25) А. Д. Сахаров, *Письма в ЖЭТФ* 44 № 6 (1986) 295;
- 26) T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.* 104 (1956) 254; J. W. Cronin, *Rev. Mod. Phys.* 53 (1981) 373; V. L. Fitch, *Rev. Mod. Phys.* 53 (1981) 367;
- 27) Н. П. Грушинский, *Основы гравиметрии*, Наука, Москва, 1983; Н. П. Грушинский и Н. Б. Сажяна, *Гравитационная разведка*, Недра, Москва, 1988; *Гравиразведка: Справочник геофизика*, под ред. Е. А. Мудрецовоой, К. Е. Веселова, Недра, Москва, 1990;
- 28) И. А. Леонтьев, в книге: *Повторные гравиметрические наблюдения*, Москва, 1982, с. 109; А. И. Волгина, в книге: *Повторные гравиметрические наблюдения*, Москва, 1988, с. 179;
- 29) В. В. Знаменский, *Общий курс полевой геофизики*, Недра, Москва, 1989; *Магниторазведка*, под ред. В. Е. Никитского и Ю. С. Глебовского, Недра, Москва, 1990.

OPĆA TEORIJA RELATIVNOSTI I FIZIKA ZEMLJE

ALEXANDER P. TROFIMENKO

*Astronomical Section of Minsk Department of Astronomical-Geodesical Society of the USSR,
Minsk-12, Abonent Box No. 7, 220012, USSR*

UDK 530.12

Originalni znanstveni rad

Diskutirane su geofizičke manifestacije otona (objekata opće teorije relativnosti). Određeni su energija i tok neutrina iz mikro-crne rupe koja može biti izvorom energije vulkana. Istaknuto je da energija katastrofalne vulkanske eksplozije je istog reda veličine kao i energija eksplodirajuće crne rupe. Postavljen je problem opažanja visokoenergetskih neutrina koji potječu od eksplozije crne rupe pomoću detektora duboko u vodi. Kratkotrajne varijacije derivacije gravitacionog potencijala (otonski gravitacioni impulsi) posljedica su gibanja brzih otona unutar Zemlje. Dobiveni su izrazi za masu otona pomoću mjerljivih fizikalnih veličina. Analiziran je problem opažanja otonskih graviimpulsa.