

КОСМИЧЕСКИЙ ФАКТОР "ИЗБЫТОЧНОГО" ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ В НЕДРАХ ЗЕМЛИ И ПЛАНЕТ

А. Н. Макаренко

Статья 5. Вероятные теплопроизводящие частицы

(Рекомендовано акад. НАН Украины В. М. Шестопаловым)

Крім радіогенної енергії, в надрах Землі діє "додаткове" джерело енергії, яке має космічне походження, модулюється положенням і напрямком руху Сонячної системи в Галактиці. Фактором, що призводить до виділення енергії, може бути темна матерія галактичного диска. Можливі кандидати, що спричиняють виділення енергії: елементарні частинки четвертої генерації, аксіони, магнітні монополи, малі чорні дірки та ін.

Ключові слова: космічне джерело внутрішньої енергії Землі та планет, галактичний теплогенеруючий фактор, виділення тепла в надрах Землі та планет за допомогою темної матерії.

Помимо энергии радиогенного происхождения, в недрах Земли действует "дополнительный" источник энергии, имеющий космическое происхождение, модулируемый положением и направлением движения Солнечной системы в Галактике. Фактором, приводящим к выделению энергии, может быть темная материя галактического диска. Возможные кандидаты, приводящие к выделению энергии: частицы четвертого поколения, аксионы, магнитные монополи, малые черные дыры и др.

Ключевые слова: космический источник внутренней энергии Земли и планет, галактический теплопроизводящий фактор, выделение тепла в недрах Земли и планет посредством темной материи.

Besides radiogenic energy, the "extra" energy source occurs in the Earth interior. This source is of cosmic origin and modulated by position and direction of the solar system motion in the Galaxy. Dark matter from the galactic disk might be a factor leading to the energy release. Candidate heat producing particles are: particles of the forth generation, axions, magnetic monopoles, small black holes, and some others.

Key words: cosmic source or internal energy of the Earth and Planets, galactic heat-generating factor, heat generation in the Earth and Planetary interiors through the dark matter.

Введение

В предыдущих статьях 1–3 [2–4] нами были рассмотрены астрономические и геологические признаки действия в недрах Земли и планет источника энергии неизвестной природы (космической печки), управляемого внешними по отношению к Солнечной системе космическими силами. В статье 4 [5] были описаны многочисленные параллели

между свойствами космического источника энергии планетных недр и особенностями поступления частиц темной материи в пределы Солнечной системы, в недра Земли и планет, а также вероятными свойствами частиц темной материи.

Однако конкретные механизмы тепловыделения и соответствующие им гипотетические теплопроизводящие частицы обсуждены не были. В то же время в физической литературе накопился достаточно большой массив гипотез относитель-

но возможного тепловыделения в недрах Земли и планет с помощью некоторых из предполагаемых частиц темной материи. Отметим, что среди авторов этих работ весьма известные физики, а опубликованы они в большинстве случаев в авторитетных рецензируемых научных изданиях. Также нам не известна какая-либо критика данных публикаций на предмет их ненаучности или противоречия каким-либо физическим законам. Изложенные в этих работах идеи, несмотря на то, что они касаются основ геологии (природы тепла планетных недр), геологам остаются не известными, и, следовательно, не было произведено и каких-либо изысканий, направленных на проверку всех этих идей и гипотез.

В связи со сказанным представляется полезным сделать некоторый экскурс по физическим работам, посвященным вопросам тепловыделения в недрах планет посредством приходящих из космоса частиц темной материи. Это является задачей данной статьи. Также, по возможности, будем сопоставлять конкретные механизмы и частицы с известными нам свойствами космической печки с тем, чтобы установить наиболее вероятные частицы-кандидаты, которые могли бы быть ее "топливом". Среди особых свойств космической печки следует отметить одно наиболее интригующее, наиболее удивительное – зависимость ее работы от состава планетных недр (содержания в них водорода и железа – "гидрогенофильность" и "сидерофильность") [4, 5]. Это очень характерная, "тонкая" особенность. Такая странная привязка к химическому составу может оказаться ключом к разгадке интересующего нас вопроса.

Механизмы тепловыделения и тепловыделяющие частицы

Гипотеза индуцированного внешними причинами ядерного синтеза в земных недрах. Внеземная материя может способствовать превращению в тепловую энергию вещества земных недр путем катализа ядерных реакций синтеза (слияния ядер водорода).

Предположения о вероятном протекании в недрах Земли и планет реакций ядерного синтеза высказывались неоднократно

[7, 41–44, 63 и др.]. Обычно считается, что в природе такие реакции идут только в недрах звезд. Современной науке известен лишь один реально наблюдаемый способ вызвать эти реакции в низкотемпературных планетных условиях – мюонный катализ ядерных реакций синтеза. Мюон (отрицательно заряженная тяжелая частица), замещая электрон в атоме дейтерия (^2H – тяжелого водорода), образует с ним структуру, похожую на атом. Размеры такого мезоатома примерно в 200 раз меньше обычного – во столько же, во сколько мюон тяжелее электрона. Будучи в составе мезомолекулы дейтерия и экранируя заряд дейтона (ядра дейтерия, состоящего из одного протона и одного нейтрона), он *приводит к сближению дейтронов на расстояние, достаточное для их слияния*, что не возможно в "нормальной" молекуле. Далее мюон либо остается на орбите вокруг новообразованного ядра ^3He (тем самым происходит "отравление катализатора", так как в дальнейших реакциях он не участвует), либо освобождается и может участвовать в дальнейшем катализе новых реакций. Вся реакция происходит за время $10^{-11} \dots 10^{-12}$ с с выделением $\sim 3,3$ МэВ энергии. Время жизни мюона – $2 \cdot 10^{-6}$ с.

Теоретически один мюон за свою жизнь может успеть принять участие в сотнях тысяч таких реакций, но по ряду причин (в частности, и из-за захвата ядром гелия-3) успеваает принять участие в лучшем случае лишь в нескольких и то в особо благоприятных искусственно созданных условиях. В природе же каталитические реакции синтеза с участием мюонов весьма редки. Как известно, мюоны на Земле возникают при бомбардировке космическими лучами атмосферы и верхних слоев земного шара и далеко в глубь Земли не распространяются (на глубине 1 км поток их примерно на шесть порядков меньше, чем у земной поверхности). Несмотря на их довольно большой поток у земной поверхности и наличие водородонасыщенной среды, реакции ядерного синтеза происходят лишь в редких случаях. Однако для катализа ядерных реакций синтеза подошла бы и любая другая частица с массой не менее, чем у мюона, отрицательным электрическим зарядом и достаточно большим временем жизни.

В литературе предложено несколько вариантов гипотетических частиц темной материи, составляющей значительную часть вещества Галактики, которые могли бы производить катализ ядерных реакций синтеза: "странжелеты" – агрегаты "странной кварковой материи" [60]; чампы (CHarged Matter Particles, CHAMPs) [29]; X⁻-частица [45] (предложена в качестве катализатора ядерного синтеза для объяснения природы избыточного теплового излучения Юпитера); отрицательно электрически заряженные элементарные черные дыры [33]; магнитный монополю [50]. Также роль катализатора реакций ядерного синтеза могут выполнять связанные состояния электрически заряженных частиц гипотетического четвертого поколения элементарных частиц (поколение – часть классификации элементарных частиц). Эти заряженные частицы могут играть роль темной материи, образуя связанные нейтральные атомоподобные системы. Существуют определенные предположения считать, что эти нейтральные "атомы" при некоторых обстоятельствах могут производить катализ ядерных реакций синтеза, как утверждают, значительно более эффективный, чем мюонный [47].

Во многих из названных случаев предполагается отравление катализатора – захват частиц ядрами тяжелых элементов, т. е. должно существовать равновесие между поступлением частиц из космического пространства и выделением с их помощью энергии и их деактивацией ("отравлением").

Имеются геохимические данные, которые можно интерпретировать как возможное указание на протекание ядерных реакций синтеза в земных недрах.

В эманациях некоторых вулканов, расположенных в горячих точках, обнаружены значительные концентрации трития (³H, до 15,4 тритиевых единиц, 1 Т. Е. = 3,2 пКи/кг H₂O), который авторы работ [43, 44] считают продуктом реакции ядерного синтеза ${}^2\text{H} + {}^2\text{H} \rightarrow {}^1\text{H} + {}^3\text{H}$, происходящей, по их мнению, в земных недрах в водородсодержащих минералах. Эти данные невозможно объяснить присутствием бомбного или космогенного трития, поступающего с метеорными водами с земной поверхности. Также подчеркивается, что в продуктах извержений в вулканических горячих точках (Гавайи

и др.) соотношения изотопов ³He/⁴He в десятки и сотни раз выше фоновых, предполагая это результатом распада трития с образованием легкого изотопа гелия, а также реакций: ${}^2\text{H} + {}^2\text{H} \rightarrow \text{n} + {}^3\text{He}$, ${}^1\text{H} + {}^2\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$. К тому же известно, что мантийный водород в сравнении с коровым обеднен дейтерием (²H), который как раз и расходуется в этих реакциях.

Сюда же можно добавить данные по изотопии гелия в алмазах кимберлитовых трубок, корни которых располагаются глубоко в мантии. Мелкодисперсная фракция этих минералов обогащена изотопом ³He, что, как полагают некоторые исследователи, может быть результатом внедрения в поверхностный слой кристаллов алмаза при радиационном облучении ядрами ³He или ³H [10].

Доводом в пользу глубинного, в ряде случаев, происхождения трития могут служить профили его концентрации по глубине в некоторых вулканических озерах Европы, Турции, Тихого океана [41, 42, 55]. Тритий в силу своего атмосферного происхождения (образуется в ходе бомбардировки атмосферы космическими лучами) удобен для изучения водообмена. В тех озерах, где происходит активное перемешивание, концентрация трития не изменяется с глубиной, а там, где такого перемешивания не происходит, она быстро падает. Однако, по утверждению авторов, в ряде случаев в озерах вулканического происхождения наблюдается необъяснимый рост концентрации трития с глубиной; причем этот рост коррелирует с ростом концентрации изотопа ³He, что служит указанием на его глубинное происхождение. Поскольку период полураспада трития составляет всего 12,4 года, его источник не может быть расположен слишком глубоко.

Если в недрах Земли и планет действительно происходит ядерная реакция синтеза ${}^2\text{H} + {}^2\text{H} \rightarrow \text{n} + {}^3\text{He}$, то неизбежным следствием этого процесса будут изотопные аномалии водорода и гелия. Преимущественное выгорание дейтерия должно отражаться на изменении соотношения ¹H/²H на Земле и других крупных планетах с течением времени в сторону его увеличения, т. е. земное соотношение ¹H/²H при прочих равных обстоятельствах в целом должно быть

выше, чем, например, метеоритное, поскольку маловероятно, чтобы родительские тела метеоритов в силу своих размеров способны были удерживать частицы темной материи (существует пропорциональная зависимость способности удержания от массы космического тела [5]). Глубинный, мантийный, материал должен быть обеднен дейтерием по сравнению с породами земной коры, где эти реакции практически не протекают. Точно так же ${}^3\text{He}$, образующийся в земных глубинах, должен смещать соотношение ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ в мантийных, например, породах в сторону увеличения. Отметим, что воды Мирового океана действительно на 200% беднее дейтерием, чем углистые хондриты, из вещества которых, как зачастую предполагают, сформировалась Земля, а воды верхней мантии на 80% беднее вод Мирового океана [11]. Также в мантии обнаружено большое количество "первичного", или "реликтового", как ныне принято считать, изотопа ${}^3\text{He}$, – при отношении ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ в породах земной коры $\sim n \cdot 10^{-8}$, в мантийных экзгальциях оно составляет $\sim n \cdot 10^{-4}$ [8].

Касательно земных недр странно также, почему "первичные" водород и гелий не перемешались до однородного состояния за несколько десятков циклов общемантийной конвекции, произошедших в течение земной истории, как это следует из известных скоростей дрейфа литосферных плит. Может быть изотопный состав этих элементов подвергается постоянному изменению под воздействием ядерных реакций?

Избыточное выгорание ${}^{235}\text{U}$ под воздействием потока образующихся в ходе реакций ядерного синтеза нейтронов должно было бы сказываться на соотношении изотопов ${}^{238}\text{U} / {}^{235}\text{U}$. В природе величина этого соотношения колеблется в пределах 137,30...138,51. Связано ли это с какими-либо избыточными нейтронными потоками, не ясно. Однако такие следы с большой долей вероятности присутствуют в изотопном составе ксенона в породах земных недр. В глубинных породах срединноокеанических хребтов были найдены избытки относительно атмосферных их концентраций ксенона-129, а также ксенона-136 и других нейтроноизбыточных изотопов ксенона [59]. Было высказано предположение о том, что в глубинах мантии содержится ксенон от

распада короткоживущих изотопов ${}^{129}\text{I}$ и ${}^{244}\text{Pu}$, захваченных на самых ранних стадиях аккреции Земли из протопланетного облака. Однако сопоставление этого аномально-го ксенона с ксеноном, образующимся в ядерных реакторах, как искусственных, так и в природных реакторных зонах в Окло, показало, что это не так [11]. Аномальный мантийный ксенон очень близок по соотношениям изотопов к реакторному ксенону, который является продуктом нейтроноиндуцированного деления ${}^{235}\text{U}$. Заметим, что этот аномальный ксенон образовался не в богатой ураном континентальной коре, а в резко обедненной ураном глубинах мантии – там, где, казалось бы, никаких интенсивных источников нейтронов быть не может.

Высказывались также предположения, что некоторое обогащение тяжелым изотопом азота алмазов, происходящих из 200–650 км глубин мантии, также вызвано облучением нейтронами. Выше нами уже упоминалось, что алмазам также свойственно и аномальное распределение изотопов гелия, причиной которого, как считают, может быть облучение зерен гелием-3 или тритием.

Индикатором высоких нейтронных потоков могут, в принципе, являться и вероятные аномалии в концентрациях трития, обсуждавшиеся нами выше. Тритий может образовываться при облучении нейтронами изотопов азота и лития. Помимо этого, примерно одно из 10 тыс. индуцированных нейтронами делений ${}^{235}\text{U}$ происходит с образованием изотопа ${}^3\text{H}$, который после β -распада превращается в ${}^3\text{He}$.

Тритиевые аномалии, закономерности изменения соотношений ${}^1\text{H}/{}^2\text{H}$, ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$, изотопов ряда других элементов в недрах Земли – все это можно рассматривать как вероятные свидетельства в пользу того, что в земных недрах может происходить индуцируемый космическим окружением (частицами темной материи) каталитический ядерный синтез. Водород в данном случае может быть топливом космических печек в недрах планет. Чем его больше, тем интенсивнее протекают реакции. Этим может быть объяснено, почему избыточное тепловыделение пропорционально содержанию водорода в планетных недрах (одно из ключевых свойств космических печек).

Тепловыделение посредством аннигиляции частиц темной материи. Это наиболее часто встречающееся в физической литературе предположение о возможном "космическом" тепловыделении в недрах планет. Аннигиляция (лат. *annihilatio* – уничтожение, превращение в ничто) – давно предсказанная и давно наблюдаемая реакция превращения какой-нибудь частицы и соответствующей ей античастицы при их столкновении в какие-либо иные частицы, отличные от исходных. В процессе аннигиляции происходит преобразование массы исходных частиц в кинетическую энергию продуктов реакции. В частности, при вступлении во взаимодействие 1 кг антиматерии и 1 кг материи выделяется $1,8 \cdot 10^{17}$ Дж, что является поистине огромной энергией (уже при аннигиляции 1 г вещества и 1 г антивещества выделяется энергия, эквивалентная взрыву небольшой атомной бомбы).

Считается, что темная материя, в отличие от обычной, состоит из примерно равного (не обязательно в точности) количества частиц и античастиц (в отличие от обычной материи, которая в нашу эпоху состоит практически полностью из частиц, но в первые мгновения после Большого Взрыва тоже состояла из почти равного числа частиц и античастиц). В достаточно большом количестве работ сделано допущение, что аннигиляция проникающих из космического пространства в планетные недра и накапливающихся там частиц и античастиц темной материи может быть одним из вероятных механизмов производства внутренней энергии Земли и планет [12–16, 30, 46, 51–53, 64 и др.]. Полагают, что недра звезд и планет могут быть эффективными ловушками для частиц темной материи, которые, изредка сталкиваясь с частицами обычного вещества, из которого состоят массивные тела, теряют кинетическую энергию и скапливаются в недрах звезд или планет и постепенно аннигилируют там.

Ожидаемый поток тепла из недр планет в случае, если будет аннигилировать вся темная материя, которая туда попадает, при допустимых плотностях и скоростях ее в околосолнечном пространстве, может примерно на два порядка превышать измеряемые ныне тепловые потоки из недр планет [51, 53]. Получаемые значения максималь-

но возможного тепловыделения в случае Земли составляют $3260 \dots 3330 \cdot 10^{12}$ Вт, в то время как мощность нерадиогенной части внутренних земных источников тепловыделения составляет лишь около $20 \cdot 10^{12}$ Вт. Таким образом, аннигиляция даже малой доли темной материи, попадающей в недра Земли, по допустимым масштабам процесса вполне может объяснить весь избыток тепловыделения, который там наблюдается, но только в том случае (необходимом и *достаточном*), если недра Земли в действительности окажутся способными удержать хотя бы малую часть того, что туда попадает.

Предполагаемая разновидность темной материи, способная накапливаться в недрах планет и приводить к значительному тепловыделению в них посредством аннигиляции, в работах [12–14] получила наименование *вулканогенной темной материи*.

Следует отметить, что, вообще говоря, в физическом сообществе преобладающей является все же точка зрения, что частицы темной материи имеют слишком низкие сечения взаимодействия с частицами обычного вещества, слишком слабо с ним взаимодействуют, чтобы они могли быть "вулканогенными", т. е. что они проходят сквозь Землю и почти не удерживаются нею. (Сечение взаимодействия – характеристика, показывающая, насколько интенсивно одна частица способна взаимодействовать с другой. Эта физическая величина представляет собой размер площадки вокруг частицы-мишени, попав в которую частица-ударник провзаимодействует с нею.) Однако и противоположная точка зрения все же, как видим, представлена. С точки зрения современной "ортодоксальной" физики разогрев недр планет посредством аннигиляции проникающих туда частиц вполне возможен, хотя и маловероятен.

Оценки [51, 52] показывают, что темная материя может быть вулканогенной только в определенных диапазонах параметров масс частиц и их сечений взаимодействия с частицами обычного вещества. На рис. 1 показана расчетная область параметров, в которой должна находиться интересующая нас частица (речь идет только о тепловыделении посредством аннигиляционного механизма), чтобы выделять в недрах Земли

достаточное количество дополнительного (не радиогенного) тепла.

Там же нами нанесена достаточно узкая область параметров, в которой предположительно должна находиться теплопроизводящая частица, исходя из установленных нами ранее свойств источника энергии космической природы. Было найдено [5], что среди наиболее вероятных следует рассматривать частицу, свойства которой таковы: масса частицы может быть близкой к атомной массе железа; сечение взаимодействия с земным веществом составляет $10^{-32} \dots 10^{-34} \text{ см}^2$.

Интервал сечений был выделен, исходя из особенностей экранирования частиц веществом недр планет на основании работ [15, 37, 53] (подробнее см. в [5]).

Вероятная близость массы частицы к атомной массе железа обусловлена следующими соображениями. Шансы для частицы темной материи быть захваченной планетными недрами резко (резонансно) на порядки возрастают в случае близости их масс к массам ядер химических элементов планетного вещества. Особенно это характерно для диапазона масс, близкого к массам ядер железа [17, 37–39]. Это явление получило в физической литературе название "железного резонанса". Наблюдаемая нами связь тепловыделения с обилием железа в недрах планет [4] может являться указанием на близость массы гипотетической теплопроизводящей частицы темной материи к массе ядер железа (рис. 2). В таком случае, чем больше железа содержится в недрах планеты, тем активнее она поглощает теплопроизводящие частицы из окружающего космического пространства и тем интенсивнее в ней происходит выделение тепла.

Как можно видеть на рис. 1, расчетная область параметров, в которой должна находиться интересующая нас частица, включает в себя и ту наблюдательную, построенную на основании геологических данных, область параметров, которая следует из свойств космических печек земных и планетных недр. На этом же рисунке показаны области параметров, исключаемые отрицательными результатами, полученными в ходе различных физических экспериментов по регистрации частиц темной материи. Видим, что и в этом

случае физические эксперименты не опровергают возможность существования предполагаемой нами частицы, но, может быть, сужают диапазон возможных характеризующих ее параметров.

Ранее было найдено [5], что предполагаемая частица, по-видимому, взаимодействует спинзависимо с планетным веществом (либо предпочтительно с протонами). Взаимодействие между частицами может быть двух видов – "спинзависимое" и "спиннезависимое". Частицы, равно как и состоящие из них связанные системы – ядра атомов и сами атомы, имеют некоторую вращательную характеристику (собственный момент импульса), которая называется спином (от англ. spin – вращение). Если взаимодействие между частицами темной материи и частицами вещества планет спиннезависимое, то оно не зависит от того, обладают или нет отличным от нуля спином ядра атомов планетного вещества. Если же взаимодействие спинзависимое, то оно как раз зависит от того, обладают ли спином ядра-мишени атомов планетного вещества. Взаимодействие в таком случае происходит только с теми ядрами, которые спином обладают.

Считается, что спинзависимое взаимодействие может на порядки превышать своей интенсивностью взаимодействие, не зависящее от спина. Так вот как раз наличием или отсутствием спина у ядер атомов планетного вещества планеты земной группы и планеты-гиганты (а также и Солнце) радикальным образом отличаются. Солнце, Юпитер и Сатурн большей частью состоят из водорода. Нептун, Уран и ледяные спутники также содержат значительные его количества. Ядра водорода (протоны и дейтроны) спином обладают и участвовать в спинзависимых взаимодействиях могут. В то же время на планетах земной группы распространенность изотопов, имеющих ненулевой спин, невелика, т. е. они состоят большей частью из вещества, которое в спинзависимых взаимодействиях участия не принимает. Естественно, что в случае спинзависимого характера взаимодействия с темной материей водородсодержащие планеты будут захватывать ее более активно, соразмерно содержанию в них водорода, и этим может быть объяснена гидроге-

нофильность космической печи и стоящих за ней частиц.

Посмотрим, что нам дает эта новая черта к "портрету" частицы. Рассмотрим результаты некоторых экспериментов по регистрации частиц темной материи.

Эксперимент *DAMA* (от англ. *D*ARk *M*ATter – темная материя) по поиску частиц темной материи проводится в итальянской подземной лаборатории Гран-Сассо. До недавнего

времени это был единственный эксперимент по прямой регистрации, в котором был зарегистрирован *предположительно* положительный сигнал.

Как и во многих подобных экспериментах, здесь был использован принцип регистрации ядра отдачи, выбиваемого из кристаллической решетки вещества-детектора при соударении с налетевшей на него частицей темной материи. Поскольку выбива-

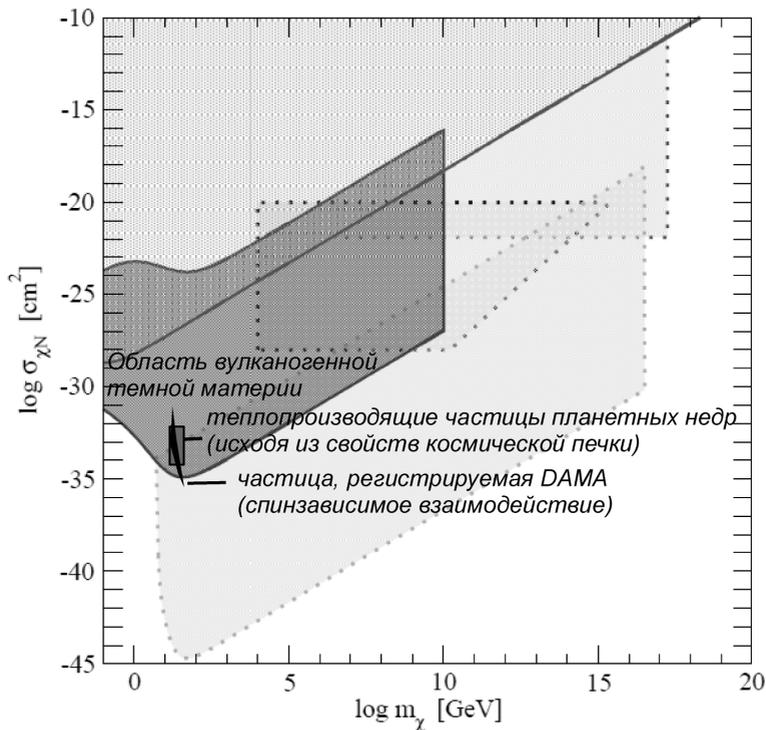


Рис. 1. Возможные параметры масс и сечений взаимодействия с нуклонами гипотетических частиц, ответственных за выделение избыточной энергии в земных недрах [52]. Горизонтальная ось – десятичные логарифмы масс частиц. Вертикальная ось – десятичные логарифмы сечений взаимодействия этих частиц с веществом земных недр. Светлой заливкой показаны области, исключаемые (с разной степенью надежности) различными экспериментальными и наблюдательными данными. Темная заливка – область параметров (сечений и масс), при которых взаимная аннигиляция частиц может обеспечить в недрах Земли энерговыделение мощностью 20 ТВт и более. Также показаны наиболее вероятные области параметров теплопроизводящей частицы темной материи согласно данным нашего исследования, а также параметры частицы, регистрируемой экспериментом DAMA (для случая спинзависимого [48] неупругого взаимодействия)

Fig. 1. The possible parameters of the masses and interaction cross sections with nucleons for hypothetical particles responsible for the release of excess energy in the bowels of the earth [52]. The horizontal axis – decimal logarithms of the particles' masses. The vertical axis – decimal logarithms of interaction cross sections of these particles with the substance of earth's interiors. Light fill shows the excluded areas (with varying degree of reliability) according various experimental and observational data. The dark fill shows the range of parameters (cross sections and masses) for which the mutual annihilation of particles can provide the energy release in the bowels of the earth with capacity of 20 TWt and more. Also shown are the most probable ranges of parameters of a heat-producing particle of dark matter, according to our research data, as well as the parameters of the particle detected by the DAMA experiment (for the case of spin-dependent [48] inelastic interaction)

ние ядра может произойти и под воздействием обычных частиц, образующихся при распаде радиоактивных изотопов или частиц космических лучей, существует значительный фон. Для борьбы с ним установку делают из радиационно чистых материалов, окружают поглощающим обычными частицами экраном и размещают глубоко под землей (в данном случае под горой Гран-Сассо в

Италии). Тем не менее даже и после таких мер защиты фон остается весьма высоким. Поэтому дополнительно стараются отделить сигнал от фона по особым характеристикам, которые должны быть ему присущи.

В эксперименте DAMA используется сезонная модуляция интенсивности потока (ветра) частиц темной материи околосолнечным движением Земли. То есть если со

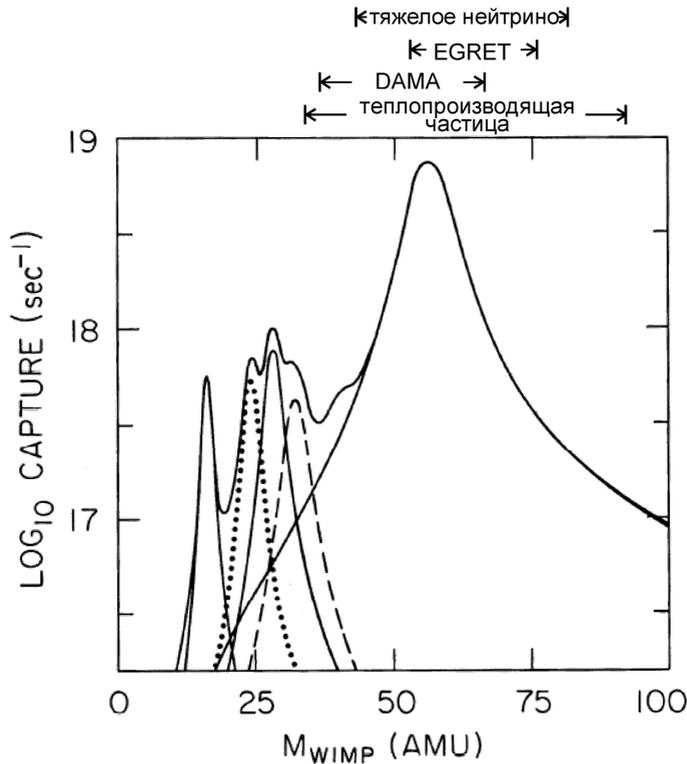


Рис. 2. Резонансное усиление скорости захвата частиц темной материи земными недрами на примере тяжелых нейтрино [39]. По оси абсцисс – вероятные массы нейтрино в а. е. м. (1 а. е. м. (AMU) = = 0,9315 ГэВ/c², атомная масса железа равна 56 а. е. м.), по ординатам – логарифмы скорости захвата частиц Землей (обратные секунды), т. е. сколько частиц в 1 с будет захвачено земными недрами при определенной массе частицы. Показан вклад в захват отдельных изотопов: ¹⁶O, ²⁸Si, ⁵⁶Fe–⁵⁸Ni (сплошные линии), ²⁴Mg (точки), ³²S (пунктир). Огибающая – суммарный вклад всех изотопов, входящих в состав земных недр, включая и те, которые не показаны в отдельности. Сверху приведен вероятный диапазон масс частиц, производящих тепло в недрах планет, а также вероятные массы частиц, регистрируемых экспериментами DAMA [48], EGRET [27], и вероятная масса тяжелого нейтрино по работе [21]

Fig. 2. Resonant enhancement of the capture rate of dark matter particles by the Earth's interiors, for the example of heavy neutrinos [39]. The horizontal axis – probable mass of the neutrino in AMU (1 AMU = = 0,9315 GeV/c², the atomic weight of iron is 56 AMU), the vertical axis – logarithm of the rate of particles capturing by the Earth (inverse seconds), i.e. how many particles per a second to be captured by earth's interiors at a certain mass of the particle. The contribution to the capture is shown for individual isotopes: ¹⁶O, ²⁸Si, ⁵⁶Fe–⁵⁸Ni (solid lines), ²⁴Mg (points), ³²S (dotted line). The envelope line – the total contribution of all the isotopes of the Earth's interiors, including those which are not shown separately. On top is a probable range of particle masses, producing heat in the interior of planets, and the probable masses of the particles detected by DAMA experiments [48], EGRET [27], and the probable mass of the heavy neutrino [21]

стороны апекса Солнечной системы (направления, в котором она движется в Галактике) к нам поступают частицы темной материи, как это следует из теории, то регулярные движения Земли по ходу и против хода этого потока будут модулировать его интенсивность (и скорость счета событий в детекторе). В 2000 г. коллаборация DAMA объявила об обнаружении годичных вариаций в регистрируемых в эксперименте событиях (вспышках света, которыми сопровождается выбивание ядер атомов из кристаллической решетки кристаллов сцинтиллятора NaI(Tl), которые используются в качестве детектора). Амплитуда, периодичность, фаза (максимум достигается в первых числах июня, когда движение Земли вокруг Солнца направлено по ходу движения Солнечной системы в Галактике) и ряд других важных характеристик совпадают с предсказываемыми теорией [22]. К настоящему времени имеется многолетний ряд наблюдений. Вроде бы темная материя наконец зарегистрирована в прямом эксперименте.

Тем не менее результаты эксперимента были встречены научным сообществом с долей скептицизма. Это связано с тем, что в других (конкурирующих) не менее чувствительных экспериментах эти результаты не были подтверждены. Был проведен самый тщательный поиск каких-либо методических изъянов (как, например, неучтенные сезонные натекания из окружающих пород радиоактивного газа радона и т. п.), однако никаких погрешностей не обнаружилось. Естественно было бы предположить, что частица по-разному взаимодействует с веществом детекторов, поскольку в различных экспериментах используется вещество разного химического состава. В частности, это обстоятельство имело бы решающее значение, если бы взаимодействие оказалось спинзависимым.

В работе [48] были исследованы вероятные варианты: спиннезависимое упругое (т. е. процесс столкновения частиц, в результате которого меняются только их импульсы, а внутренние состояния остаются неизменными) и неупругое (т. е. сопровождающееся изменением их внутреннего состояния, превращением в другие частицы или дополнительным рождением новых час-

тиц) рассеяние, а также спинзависимое упругое и неупругое рассеяние на частицах вещества детекторов. Было найдено, что лишь в случае спинзависимого неупругого рассеяния на протонах (не нейтронах!) выполняется условие, когда эксперимент DAMA оказывается достаточно чувствительным для регистрации частицы, в то время как другие эксперименты зарегистрировать ее не в состоянии. Расчетные значения массы частицы и ее сечения взаимодействия для этого случая показаны на рис. 1. Видим *разительное совпадение* с предполагаемыми нами параметрами тепловыделяющей частицы. Получается так, что эксперимент DAMA "видит" именно эту частицу?

Еще один эксперимент. На космическом гамма-телескопе EGRET регистрировалось пространственное распределение потока и энергетического спектра рассеянного (диффузного) γ -излучения Галактики. Был обнаружен избыток γ -лучей в сравнении с теоретически вычисленным фоном от известных источников, что может быть указанием на наличие некоего дополнительного источника. Этот избыток, имеющий одинаковый спектр, исходит из всех направлений небесной сферы, что, как считают, проще всего может быть объяснено аннигиляцией темной материи в галактическом пространстве (аннигиляция сопровождается испусканием γ -квантов). Определяемая по распределению энергий γ -лучей масса аннигилирующей частицы составляет 50–70 ГэВ/ c^2 [27] (рис. 2). Неравномерное пространственное распределение потока γ -квантов позволяет предполагать избыток темной материи в галактической плоскости, сконцентрированный в ней в виде плотных кольцеобразных структур, предположительно являющихся следами приливного разрушения бывших карликовых галактик-спутников, упавших на плоскость нашей Галактики [28].

Еще о вероятных свойствах гипотетической частицы. Обычно предполагают, что сечения аннигиляции частиц темной материи крайне низки, т. е. что они так же слабо взаимодействуют друг с другом, как и с обычным веществом. Считается, что они очень длительное время накапливаются в недрах планеты и постепенно под действием гравитации оседают к ее центру, где,

сконцентрировавшись в небольшом объеме, аннигилируют. Предполагается, что этот процесс занимает многие миллионы лет и равновесие между захватом и аннигиляцией устанавливается за время, сопоставимое с возрастом Солнечной системы. Претерпев за столь длительное время бесчисленное множество столкновений с частицами планетного вещества, такие частицы "забудут" свое изначальное направление прилета.

Между тем в распределении тепловыделяющих зон в недрах планеты мы видим [3–4] совершенно иную картину. Анизотропия в направленности воздействия четко прослеживается (оно максимально со стороны апекса галактического движения Солнечной системы), а резкой концентрации избыточного тепловыделения к центру планеты не наблюдается. Так могло бы быть, только если большинство частиц аннигилируют практически сразу при попадании в планетные недра. Об относительно быстро устанавливаемом равновесии свидетельствуют и многочисленные ритмы космической природы, наблюдаемые в тепловыделении. То есть частицы темной материи каким-то образом должны "чувствовать" на расстоянии присутствие друг друга и "стремиться" друг к другу с тем, чтобы проаннигилировать.

Высокая скорость, с которой частицы и античастицы "находят" и взаимоуничтожают одна другую, позволяет предполагать существование между ними какого-то дополнительного взаимодействия (помимо обычно приписываемых им двух фундаментальных – "слабого" и "гравитационного" взаимодействий).

Есть и определенные астрономические свидетельства того, что частицы темной материи активно взаимодействуют между собой каким-то особым образом. Наблюдаемое астрономическими методами распределение темной материи в космическом пространстве дает возможность предположить, что темная материя является самовзаимодействующей [58]. Полагают, что для объяснения наблюдаемых особенностей пространственного распределения сечение взаимодействия между частицами темной материи должно быть на 13 порядков больше, чем обычно предполагается для фунда-

ментального слабого взаимодействия, что требует наличия какого-то еще дополнительного взаимодействия. Естественно ожидать, что наличие дополнительного взаимодействия между частицами темной материи будет вызывать их взаимное притяжение и ускоренную аннигиляцию [20].

Итак, вырисовывается вполне определенный "портрет": *частица взаимодействует спинзависимо с планетным веществом (а также преимущественно с протонами); ее масса с высокой вероятностью близка к массе ядер железа; ее сечение взаимодействия с планетным веществом составляет $10^{-32} \dots 10^{-34} \text{ см}^2$; частицы хорошо взаимодействуют между собой, может быть посредством какого-то особого фундаментального взаимодействия.*

Если придерживаться той точки зрения, что механизм тепловыделения является аннигиляция, то, по-видимому, лишь одна частица из всего предлагаемого физиками "зоопарка" частиц может обладать описываемыми свойствами. Это гипотетическое тяжелое нейтрино четвертого поколения элементарных частиц (поколение – часть классификации элементарных частиц).

Эта частица имеет нужную массу (в диапазоне 45–80 ГэВ/ c^2), близкую к массе ядер железа (рис. 2), взаимодействует достаточно хорошо с обычным веществом, а также имеет особое взаимодействие [21], присущее только четвертому поколению элементарных частиц, позволяющее этим частицам активно взаимодействовать друг с другом. Помимо этого, данная частица-кандидат хорошо мотивирована теоретически (ее существование с высокой степенью вероятности следует из существующих физических теорий), и есть некоторые предпосылки считать, что именно ее наблюдают, может быть, экспериментально (эксперименты EGRET, DAMA) [19].

Можно видеть, что свойства частиц, регистрируемых предположительно экспериментами EGRET и DAMA, тяжелого нейтрино, получаемые теоретически, и гипотетической теплопроизводящей частицы планетных недр (генерирующей тепло путем аннигиляции) на удивление хорошо совпадают (рис. 1 и 2). Поэтому, скорее всего, именно тяжелое нейтрино четвертого поколения элементарных частиц и есть та

искомая частица, которая нагревает нашу и другие планеты. Или же – одна из них.

Помимо аннигиляции и катализа ядерных реакций синтеза были предложены еще несколько механизмов, таких как катализ распада протонов, деления ядер химических элементов, β -распада, аккреция на малые черные дыры и их квантовое испарение и др. Некоторым из наиболее перспективных частиц-кандидатов присуще сочетание сразу нескольких таких механизмов. Поэтому удобнее будет рассматривать их на примере отдельных частиц.

Магнитный монополю. Идея магнитного монополя – частицы, несущей магнитный заряд, – была высказана еще в 1931 г. Полем Дираком. Однако продолжительные поиски этих частиц в окружающей среде и на ускорителях не увенчались успехом – пока не было обнаружено ни одного отдельного магнитного заряда. В последние десятилетия интерес к магнитному монополю возродился, поскольку было установлено, что существование магнитных монополей независимо вытекает также из некоторых других теорий.

На земную поверхность должно попадать примерно равное количество северных и южных полюсов. Взаимодействуя друг с другом, они аннигилируют с выделением эквивалентной их массе энергии. Высказывалось предположение, что этот процесс может быть ответственен за большую часть внутреннего тепла Земли [23, 24]: "Магнитные монополи должны были бы опускаться к центру под влиянием гравитационного и магнитного полей планеты. Северные монополи собрались бы около южного геомагнитного полюса, и наоборот. Из геологической истории известно, что магнитное поле Земли много раз изменяло направление на обратное. Такое обращение поля вызывало бы миграцию двух отдельных скоплений монополей в направлении друг друга, а затем и друг сквозь друга. Во время этого путешествия некоторые монополи и антимONOполи аннигилировали бы, освобождая огромную энергию, заключенную в их массе". Произведенные оценки показали, что магнитные монополи должны были бы собираться преимущественно на расстоянии около 1600 км от центра Земли, что соответствует расстоянию 170 км в глубину от поверхности внутреннего ядра Земли.

Считается, что магнитный монополю, захватывая ядро или протон, может быть катализатором распада протонов [6], результатом чего является выделение энергии; причем сечение взаимодействия этого процесса может быть относительно большим, сопоставимым с сечением обычных сильных (ядерных) взаимодействий (около 10^{-24} см²). Сечение взаимодействия в случае катализа распада протонов обратно пропорционально квадрату скорости монополя, т. е. чем медленнее движется монополю, тем с большей вероятностью идут реакции. Заметим, что речь идет о распаде протонов, а не нейтронов. Протонами обогащены водородонасыщенные планеты. Если Земля состоит из протонов наполовину, то Юпитер – почти полностью. Это – одно из возможных объяснений гидрогенофильности космических печек в планетных недрах.

Высказывались предположения о возможном нагреве планетных недр в процессе монополюного катализа распада протонов [18, 57, 62].

В работе [57] были произведены оценки потока магнитных монополей в предположении, что значительная часть тепла планетных недр могла бы быть обусловлена монополюным катализом распада протонов. Получено ограничение на поток монополей около 10^{-19} см⁻²с⁻¹ср⁻¹. По данным публикации [18], требуемый для этого поток монополей составляет примерно 10^{-23} см⁻²с⁻¹ср⁻¹, что несколько меньше ограничений на распространенность магнитных монополей, накладываемых наблюдательными данными. Согласно другим источникам, для объяснения наблюдаемого теплового потока из недр Земли с помощью каталитического распада протонов необходим поток монополей 10^{-21} см⁻²с⁻¹ср⁻¹ [62].

Помимо аннигиляции и катализа распада протонов, магнитный монополю может выделять энергию путем катализа ядерных реакций синтеза, ядерных реакций деления, ускоряя процессы β -распада [35, 50].

Малые черные дыры. В 60-е годы возникли предположения (И. Д. Новиков, Я. Б. Зельдович, С. Хокинг и др. [1, 40]) о возможном массовом производстве в ходе образования Вселенной при Большом Взрыве сколлапсированных сгустков сверхплотной материи – реликтовых черных дыр микрос-

копических размеров. Гравитационное взаимодействие черной дыры с окружающим веществом сопровождается его аккрецией (выпадением) на черную дыру и выделением энергии. Произведенные рядом ученых (Р. Пенроуз, Дж. Бекенштейн, Дж. Шелтон) подсчеты показали, что в ходе аккреции выделяется до 100% энергии, заключенной в падающей на черную дыру массе. Поэтому черные дыры стали привлекать для объяснения неувязок с производством энергии в недрах объектов Солнечной системы. В 1971 г. С. Хокинг для решения проблемы солнечных нейтрино предложил идею о черной дыре в центре Солнца. В дальнейшем эту идею развивали D. D. Clayton, M. J. Newman, R. J. Talbot [25] и др. Эти же ученые высказали предположение, что избыточное выделение энергии Юпитером и другими планетами также может быть объяснено существованием в их недрах реликтовых черных дыр.

Допускают существование черных дыр и в недрах Земли [9, 61]. Реликтовые черные дыры – одна из возможных составляющих темной материи. Сталкиваясь на некоторой скорости с Землей, они либо пролетают сквозь нее без остановки, либо вследствие "гравитационного динамического трения" тормозятся и оседают к центру Земли. В таком случае выделяющаяся за счет "выедания" земного вещества энергия может быть дополнительным источником нагрева земных недр. Если гравитационный радиус порядка размеров атома, то черная дыра не поглощает большого количества материи.

Даemonная гипотеза Э. М. Дробышевского. Даемоны (DARk Electric Matter Objects – daemons, также англ. daemon – демон) – гипотетические электрически заряженные элементарные реликтовые черные дыры (электрический заряд до $-10e$, масса $2...3 \cdot 10^{-5}$ г, радиус $1,8...3 \cdot 10^{-33}$ см). По гипотезе Э. М. Дробышевского [31–34], предположительно являются одной из составляющих темной материи галактического диска.

Согласно исследованиям Э. М. Дробышевского, процесс взаимодействия дамонов с обычным веществом ввиду их заряженности может сопровождаться значительным энерговыделением в недрах космических тел.

Отрицательный даемон взаимодействует с материей на атомном и ядерном уровнях:

1. При захвате или перезахвате ним ядра даемон захватывает прежде ион атома, при этом электроны, удерживаемые ранее ионом, эмитируются.

2. Энергетические уровни даемона лежат внутри ядра уже для ядер с $A \geq 2$, а для тяжелых ядер – даже внутри одного из его нуклонов (протонов или нейтронов). Присутствие даемона в протоне вызывает его распад, в ходе чего выделяется ~ 938 МэВ энергии.

3. Экранируя заряд ядра, даемон производит катализ слияния легких ядер (вплоть до O и F). Энергия синтеза конвертируется в кинетическую энергию ядра-остатка.

4. Захват даемоном тяжелых ядер (Fe, Si) сопровождается временным отравлением каталитических свойств даемона. Даемон освобождает себя через $10^{-5}...10^{-7}$ с в результате последовательного распада даемонсодержащих протонов ядра.

5. Если "отравленный" даемон сталкивается с более тяжелым ядром, то он захватывает его, теряя при этом остаток предыдущего (явление, похожее на обмен зарядом ионов, движущихся через нейтральный газ). Дезинтеграция продолжается пока комплекс даемон/ядро не приобретет отрицательный заряд. После этого захватывается новое ядро, а остаток старого теряется. Цикл повторяется.

6. Захват ядра сопровождается его разогревом и эмиссией из него нуклонов (протонов или нейтронов), их кластеров (^3He , ^4He , и др.), γ -квантов. Например, в случае захвата ядра железа происходит испарение 7...8 нуклонов (или 5...6 α -частиц). После этого даемон дезинтегрирует 5...15 протонов. Таким образом в каждом цикле освобождается около 10 ГэВ энергии.

В силу своей огромной массы, превышающей на 17...19 порядков массу ядер химических элементов, эти "частицы", сталкиваясь с Землей, теряют свою скорость и постепенно опускаются к ее центру, формируя во внутреннем ядре Земли даемонную сердцевину, состоящую из практически бесстолкновительного даемонного газа. По Э. М. Дробышевскому, в даемонной сердцевине Земли за 4,5 млрд лет земной истории накопилось около $3 \cdot 10^{23}...10^{24}$ даемо-

нов общей массой примерно $2 \cdot 10^{16}$ кг. Радиус даемонной сердцевины составляет 0,16...1 м. Несмотря на огромную плотность даемонного газа, примерно равную плотности ядерной материи, даемоны в нем практически не сталкиваются, поскольку имеют крайне малое сечение взаимодействия (около 10^{-68} м²) и низкие тепловые скорости – 0,05...0,1 м/с при температуре (1,4...2,4)·10⁶ К.

Даемонная сердцевина окружена очень тонкой (около $2 \cdot 10^{-9}$... $3 \cdot 10^{-8}$ м) и горячей ($T > 10^4$ К) плазменной оболочкой из ядер железа, пребывающих в сверхкритическом состоянии. В этом пограничном слое в результате взаимодействия даемонов с ядрами железа происходит выделение около 10 ... $20 \cdot 10^9$ Вт энергии. Большой частью энергии выделяется в ходе дезинтеграции даемон-содержащих протонов (938 МэВ или $1,5 \cdot 10^{-10}$ Дж на одно событие). Освобождающаяся энергия транспортируется вне ядра с продуктами распада протона (пионами и т. п.). В ходе этого процесса из возбужденного ядра может испариться 8...10 нуклонов или 5...6 их кластеров (²H, ³H, ³He, ⁴He, ¹⁰Be и т. п.). Когда заряд "поеданного" ядра снижается до $Z = 5$...6, даемон захватывает следующее ядро и освобождает остаток. Весь цикл занимает около $(10$... $11) \cdot 10^{-6}$ с. В процессе разрушения ядер железа одним даемоном создается в течение 1 с примерно 10^6 нуклонов и их кластеров, около 10^5 ядер кислорода, фтора и неона, производится $1,5 \cdot 10^{-4}$ Дж энергии.

Даемонная гипотеза может объяснить особенности изотопного состава мантийного гелия. Гелий из мантийных пород обогащен изотопом ³He. Согласно даемонной гипотезе, достаточно образования хотя бы одного ядра ³He или ³H в ходе стимулированного даемонами распада $\sim 10^2$... 10^3 ядер железа, чтобы в конечном счете получить наблюдаемые соотношения ³He/⁴He (для аналогичного наблюдаемого случая ядер железа, перегретых столкновениями с высокоскоростными частицами галактических космических лучей, изотопное соотношение образующихся ядер гелия примерно равно 0,3).

Помимо Земли, согласно Э. М. Дробышевскому, даемоны образуют аналогичные

сердцевин в центрах других небесных объектов.

Концентрация даемонов в галактическом диске, по Э. М. Дробышевскому, может испытывать значительные флуктуации, в частности они могут концентрироваться в спиральных волнах плотности (галактических рукавах).

Аксион – гипотетическая частица с высокой степенью мотивированности, существование которой необходимо для решения важной физической проблемы. Рассматривается как один из наиболее перспективных кандидатов, составляющих темную материю. Также предполагается рождение аксионов в недрах звезд, в частности Солнца. Возможное выделение тепла этими частицами в недрах планет было рассмотрено сразу двумя независимыми группами украинских ученых [26, 56]. Слабо взаимодействующие с обычным веществом частицы свободно проникают в планетные недра и в ходе ряда процессов преобразуются там в фотоны, нагревая тем самым окружающее вещество.

Интересной для нас особенностью аксионов является вероятная зависимость тепловыделения от содержания железа в окружающей среде. Один из наиболее эффективных механизмов производства аксионов в недрах звезд и Солнца – это возбуждение ядер химических элементов столкновениями их друг с другом в ходе теплового движения. Условия в солнечных недрах таковы, что переходить в возбужденное состояние могут ядра лишь очень небольшого числа изотопов, у которых энергия перехода от основного состояния к ближайшему к основному состоянию энергетическому уровню ядра не слишком велика (⁷Li, ²³Na, ⁵⁵Mn, ⁵⁷Fe, ⁸³Kr). Обратный переход из возбужденного состояния в основное сопровождается испусканием гамма-кванта, но, согласно теории, могут испускаться и аксионы. Наиболее интенсивный поток аксионов должны производить ядра ⁵⁷Fe. Такие моноэнергетические частицы, проникая в недра Земли, с наибольшей интенсивностью (резонансно) взаимодействуют с такими же ядрами ⁵⁷Fe (их содержание в земном железе составляет 2,1%). Эти ядра переходят таким образом в возбужденное состояние, а затем обратно в ос-

новное, испуская гамма-кванты и нагревая окружающую среду. Мощность такого источника тепла может составлять около 3 ТВт [56]. Также высказывались предположения об особой роли внешнего жидкого ядра Земли и его магнитного поля на тепловыделение, производимое предположительно в земных недрах аксионами.

Попытки экспериментального обнаружения аксионов пока также не увенчались успехом, однако высказывалось предположение, что известный эксперимент DAMA регистрирует именно эту частицу.

Также предполагается, что солнечные аксионы могут быть агентом, передающим воздействие со стороны Солнца на геомагнитное поле и климат.

Считается, что, помимо солнечных аксионов, могут быть и галактические, "первичные" аксионы.

Активация / деактивация. Если дополнительно выделить энергию в земных недрах производится с помощью частиц, входящих в состав темной материи, мы вынуждены будем как-то объяснять следующее интересное явление. Ни в космическом пространстве, ни в лабораторных условиях частицы не дают возможности себя обнаружить, но где-то глубоко в земных недрах производят вполне ощутимое энерговыделение.

Создается впечатление, что как раз достаточно длительное взаимодействие с веществом на пути в земные глубины приводит к их переводу в "активное" состояние, при котором выделение энергии становится возможным, т. е. прежде чем начать выделять энергию, частица должна пройти достаточный путь в окружении плотной конденсированной материи. Частицы никак себя не проявляют при пролете через детекторы, находящиеся на глубине ~1 км. По-видимому, длина пути, затрачиваемого на активацию, измеряется десятками или первыми сотнями километров.

Что при этом может произойти? 1) энерговыделяющая частица могла бы рождаться в недрах в ходе взаимодействия каких-нибудь других частиц; 2) частица, более активно взаимодействуя с веществом, чем это происходило в открытом пространстве, может изменить свои свойства; 3) может измениться состояние окружающего веще-

ства (элементный состав, термодинамические условия).

Среди важных свойств частиц, которые могли бы влиять на интенсивность взаимодействия с окружающим веществом, можно назвать прежде всего их скорость и возможность приобретения электрического заряда. К примеру, в случае магнитных монополей известно, что при скоростях, которые должны быть им присущи, когда они являются одной из составляющих населения диска Галактики, интенсивность взаимодействия невелика и магнитный монополь вряд ли может быть обнаружен. В то же время магнитный монополь все-таки взаимодействует с окружающим веществом, что неизбежно приводит к падению его скорости и значительному повышению интенсивности взаимодействия.

Ряд предполагаемых кандидатов, таких как монополь, взаимодействуя с веществом, могут поглощать частицы этого вещества. Поглощая электроны, они приобретают отрицательный электрический заряд и, подобно мюонам, каталитические свойства, производя ядерные реакции синтеза. По аналогии с мюонным каталитическим синтезом, интенсивность протекания реакций каталитического синтеза могла бы зависеть от температуры окружающего вещества, а также от содержания в нем необходимых изотопов для синтеза. И тогда активизация могла бы заключаться в попадании частиц в области земных недр с соответствующими благоприятными условиями.

С течением геологического времени не наблюдается какого-либо значительного тренда в сторону большей интенсивности работы космической печки. Таким образом, должен быть какой-нибудь механизм, приводящий со временем к деактивации частиц. Среди возможных механизмов деактивации можно назвать взаимную аннигиляцию частиц, "отравление" их каталитических свойств, выход из зоны активного протекания реакций, полный выход за пределы Земли.

Выводы и заключительные замечания

Свойства дополнительного к радиогенной энергии космического источника внутренней энергии Земли и планет (космической

печки) имеют соответствие в свойствах окружающей Солнечную систему темной материи Галактики, что позволяет заключить, что именно темная материя является тем внешним по отношению к Солнечной системе фактором, который производит нагрев планетных недр, как это ранее и предполагалось некоторыми исследователями. Однако конкретный механизм энерговыделения, как и собственно энерговыделяющая частица, остаются неизвестными. Среди наиболее вероятных кандидатов: частицы четвертого поколения, аксионы, магнитные монополи, малые черные дыры. Не исключено, что задействованы сразу несколько механизмов и частиц, причем даже не обязательно именно те, которые здесь были рассмотрены.

Установлению механизма работы космической печки могла бы способствовать постановка экспериментов по регистрации "избыточного" тепловыделения космической природы, а также прямая регистрация тепловыделяющей частицы. В числе наиболее вероятных следует рассматривать частицу, свойства которой таковы: частица взаимодействует спинзависимо с планетным веществом (и предпочтительно с протонами); ее масса близка к атомной массе железа; сечение взаимодействия с земным веществом составляет $10^{-32} \dots 10^{-34}$ см²; частицы хорошо взаимодействуют между собой, возможно, посредством особого фундаментального взаимодействия. Процесс может сопровождаться формированием значительных аномалий в изотопном составе вещества, что также может быть ценным источником информации.

Также следует отметить, что пространственно-временные неоднородности тепловыделения в планетных недрах накладывают свой отпечаток на процессы конвекции, перемещение литосферных плит, поведение магнитного поля.

Проблема может быть решена в рамках программы с участием специалистов различного профиля.

Автор выражает признательность акад. НАН Украины В. М. Шестопалову за полезные замечания и детальный анализ рукописи этой статьи.

Список литературы

1. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Гипотеза задержавшихся в расширении ядер и горячая космологическая модель // Астрон. журн. – 1966. – Т. 43, № 4. – С. 758–760.
2. Макаренко А. Н. Космический фактор "избыточного" тепловыделения в недрах Земли и планет. Ст. 1. Космические ритмы в геологической летописи // Геол. журн. – 2011. – № 3. – С. 116–130.
3. Макаренко А. Н. Космический фактор "избыточного" тепловыделения в недрах Земли и планет. Ст. 2. Пространственно-временные закономерности распределения тепловыделяющих зон в недрах Земли // Там же. – № 4. – С. 83–96.
4. Макаренко А. Н. Космический фактор "избыточного" тепловыделения в недрах Земли и планет. Ст. 3. Общие для планет космические причины "избыточного" выделения тепла // Там же. – 2012. – № 2. – С. 104–115.
5. Макаренко А. Н. Космический фактор "избыточного" тепловыделения в недрах Земли и планет. Ст. 4. Предполагаемая природа теплопроизводящего фактора // Там же. – № 3. – С. 117–126.
6. Рубаков В. А. Сверхтяжелые магнитные монополи и распад протона // Письма в ЖЭТФ. – 1981. – Т. 33, вып. 12. – С. 141–153.
7. Терез Э. И., Терез И. Э. Термоядерные процессы в ядре – главный источник энергии геодинамической эволюции и дегазации Земли // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. – 2011. – Т. 107, № 1. – С. 152–164.
8. Толстихин И. Н. Изотопная геохимия гелия, аргона и редких газов. – М.: Наука, 1986. – 200 с.
9. Трофименко А. П. Черные дыры в физике Земли. – Минск: АРТИ-ФЭКС, 1997. – 112 с.
10. Узкий Ф. А., Молчанов Р. В., Челноков В. В. Проект поиска новых данных об условиях возможного протекания реакций низкотемпературного ядерного синтеза в недрах планет // Науч. сес. МИФИ. – 2002. – Т. 11. – С. 68–71.
11. Шуколюков Ю.А. Изотопная неоднородность Солнечной системы: причины и следствия // Геохимия. – 1988. – № 2. – С. 200–211.
12. Abbas S., Abbas A. Volcanogenic dark matter and mass extinctions // Astroparticle Physics. – 1998. – Vol. 8, Issue 4. – P. 317–320.
13. Abbas S., Abbas A., Mohanty S. A New Signature of Dark Matter // <http://arxiv.org/pdf/hep-ph/9709269v2>.

14. *Abbas S., Abbas A., Mohanty S.* Double Mass Extinctions and the Volcanogenic Dark Matter Scenario // <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/9805142v1>.
15. *Adler S.* Can the flyby anomaly be attributed to earth-bound dark matter? // *Phys. Rev. D.* – 2009 – Vol. 79, Issue 2. – P. 3505–3515.
16. *Adler S. L.* Planet-bound dark matter and the internal heat of Uranus, Neptune, and hot-Jupiter exoplanets // *Phys. Lett. B.* – 2009. – Vol. 671, Issue 2. – P. 203–206.
17. *Andreas S., Tytgat M. H. G., Swillens Q.* Neutrinos from Inert Doublet Dark Matter // *J. of Cosmology and Astroparticle Physics.* – 2009. – Issue 04, Article 004. – 26 p.
18. *Arafune J., Fukugita M., Yanagita S.* Monopole abundance in the Solar System and intrinsic heat in the Jovian planets // *Phys. Rev. D.* – 2001. – Vol. 32, Issue 10. – P. 2586–2590.
19. *Belotsky K. M., Fargion D., Khlopov M. Yu. et al.* Heavy neutrinos of 4th generation in searches for dark matter // *Gravitation & Cosmology.* – 2005. – Vol. 11. – P. 16–26.
20. *Belotsky K. M., Khlopov M. Yu., Fargion D., Konoplich R. V.* May heavy neutrinos solve underground and cosmic-ray puzzles? // *Physics of Atomic Nuclei.* – 2008. – Vol. 71, № 1. – P. 147–161.
21. *Belotsky K. M., Khlopov M. Yu., Legonkov S. V., Shibaev K. I.* Effects of new long-range interaction: Recombination of relic Heavy neutrinos and antineutrinos // *Gravitation & Cosmology.* – 2005. – Vol. 11. – P. 27–33.
22. *Bernabei R., Belli P., Cappella F. et al.* New results from DAMA/LIBRA // *European Phys. J. C.* – 2010. – Vol. 67, Issue 1-2. – P. 39–49.
23. *Carrigan R. A., Jr.* Grand unification magnetic monopoles inside the Earth // *Nature.* – 1980. – Vol. 288. – P. 348–350.
24. *Carrigan R. A., Jr., Trower W. P.* Superheavy Magnetic Monopoles // *Scientific American.* – 1982. – Vol. 246. – P. 91–99.
25. *Clayton D. D., Newman M. J., Talbot R. J.* Solar models of low neutrino-counting rate: the central black hole // *Astrophys. J.* – 1975. – Vol. 201. – P. 489–493.
26. *Danevich F. A., Ivanov A. V., Kobychiev V. V., Tretyak V. I.* Heat flow of the Earth and resonant capture of solar ^{57}Fe axions // *Kinematics & Phys. Celestial Bodies.* – 2009. – Vol. 25, № 2. – P. 102–106.
27. *De Boer W., Gebauer I., Weber M. et al.* The dark connection between the Canis Major dwarf, the Monoceros ring, the gas flaring, the rotation curve and the EGRET excess of diffuse Galactic Gamma Rays // <http://arxiv.org/pdf/0710.5106v1>.
28. *De Boer W., Herold M., Sander C. et al.* Excess of EGRET galactic gamma ray data interpreted as Dark Matter annihilation // <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0408272v2>.
29. *De Rujula A., Glashow S. L., Sarid U.* Charged dark matter // *Nuclear Physics B.* – 1990. – Vol. 333, Issue 1. – P. 173–194.
30. *Dimopoulos S., Eichler D., Esmailzadeh R., Starkman G. D.* Getting a charge out of dark matter // *Phys. Rev. D.* – 1990. – Vol. 41. – P. 2388–2397.
31. *Drobyshevski E. M.* Detection and investigation of the properties of Dark Electric Matter Objects: The first results and prospects // <http://arxiv.org/ftp/astro-ph/papers/0402/0402367.pdf>.
32. *Drobyshevski E. M.* Hypothesis of a daemon kernel of the Earth // *Astron. & Astrophys. Transactions.* – 2004. – Vol. 23, Issue 1. – P. 49–59.
33. *Drobyshevski E. M.* On interaction of black mini-holes with matter // Preprint PhT1-1663, Ioffe Phys.-Tech. Inst. – St.Petersburg, 1996. – P. 1–12.
34. *Drobyshevski E. M.* Solar neutrinos and dark matter: cosmions, CHAMPS or... DAEMONS? // *Mon. Not. RAS.* – 1996. – Vol. 282. – P. 211–217.
35. *Fiorentini G.* The coupling between magnetic charges and magnetic moments. Monopole'83. Proceedings of a NATO advanced research workshop, in Ann Arbor, MI, USA, 6-9 Oct. 1983, Michigan. Plenum Press. – New York, 1984. – P. 317–331.
36. *Gould A. Alam S.M.K.* Can heavy WIMPs be captured by the Earth? // *Astrophys. J.* – 2001. – Vol. 549. – P. 72–75.
37. *Gould A.* Big bang archeology – WIMP capture by the earth at finite optical depth // *Ibid.* – 1992. – Vol. 387. – P. 21–26.
38. *Gould A.* Direct and indirect capture of WIMPs by the Earth // *Ibid.* – 1988. – Vol. 328. – P. 919–939.
39. *Gould A.* Resonant enhancements in weakly interacting massive particle capture by the earth // *Ibid.* – 1987. – Vol. 321. – P. 571–585.
40. *Hawking S.* Gravitationally collapsed objects of very low mass // *Mon. Not. RAS.* – 1971. – Vol. 152. – P. 75–78.

41. *Jiang S., He M.* Anomalous Nuclear Reaction in Earth's Interior: a New Field in Physics Science? // *Plasma Science and Technology*. – 2012. – Vol. 14, Issue 5. – P. 438–441.
42. *Jiang S., Liu J., He M.* A possible in situ ^3H and ^3He source in Earth's interior: an alternative explanation of origin of ^3He in deep Earth // *Naturwissenschaften*. – 2010. – Vol. 97, Issue 7. – P. 655–662.
43. *Jones S. E., Ellsworth J.* Geo-fusion and Cold Nucleosynthesis // Tenth international conference on cold fusion. Cambridge, MA, 2003.
44. *Jones S. E., Palmer E. P., Czirr J. B. et al.* Observation of cold nuclear fusion in Condensed Matter // *Nature*. – 1989. – Vol. 338. – P. 737–740.
45. *Jorgensen Ch. K.* Negative exotic particles as low-temperature fusion catalysts and geochemical distribution // *Ibid.* – 1981. – Vol. 292, Issue 5818. – P. 41–43.
46. *Kawasaki M., Murayama H., Yanagida T.* Can the strongly interacting dark matter be a heating source of Jupiter? // *Prog. Theor. Phys.* – 1992. – Vol. 87. – P. 685–692.
47. *Khlopov M. Yu.* New Generations of Particles in the Universe // *Bled Workshops in Physics*. – 2007. – Vol. 8, № 2. – P. 114–131.
48. *Kopp J., Schwetz T., Zupan J.* Global interpretation of direct Dark Matter searches after CDMS-II results // *J. Cosmology & Astroparticle Phys.* – 2010. – Vol. 2, № 014.
49. *Krauss L. M., Srednicki M., Wilczek F.* Solar System Constraints and Signatures for Dark Matter Candidates // *Phys. Rev. D*. – 1986. – Vol. 33, Issue 8. – P. 2079–2083.
50. *Lipkin H. J.* Monopole nucleosynthesis – the wonderful things that monopoles can do to nuclei if they are there // *Monopole'83: Proceedings of a NATO advanced research workshop, in Ann Arbor, MI, USA, 6-9 Oct. 1983, Michigan*. Plenum Press. – New York, 1984. – P. 347–358.
51. *Mack G. D., Beacom J. F., Bertone G.* Towards Closing the Window on Strongly Interacting Dark Matter: Far-Reaching Constraints from Earth's Heat Flow // *Nature*. – 2007. – Vol. 76, Issue 8. – P. 3523–3535.
52. *Mack G. D., Manohar A.* Closing the Window on Strongly Interacting Dark Matter // <http://arxiv.org/pdf/1211.1951.pdf>.
53. *Mitra S.* Uranus's anomalously low excess heat constrains strongly interacting dark matter // *Phys. Rev. D*. – 2004. – Vol. 70, Issue 10. – P. 3517–3523.
54. *Ozima M., Podosek F. A.* Noble gas geochemistry. – New York: Cambridge University Press, 1983. – 367 p.
55. *Quick J. E., Hinkley T. K., Reimer G. M., Hodge C. E.* Tritium concentration in the active Pu'uO'o crater, Kilauea volcano, Hawaii: implications for cold fusion in the Earth's interior // *Phys. Planet. Interiors*. – 1991. – Vol. 69. – P. 132–137.
56. *Rusov V. D., Linnik E. P., Kudela K. et al.* Solar axions as an energy source and modulator of the Earth magnetic field // *Укр. антаркт. журн.* – 2010. – № 9. – С. 109–118.
57. *Sivaram C.* Planetary heat flow limits on monopole and axion fluxes // *Earth, Moon, and Planets*. – 1987. – Vol. 37. – P. 155–159.
58. *Spergel D. N., Steinhardt P. J.* Observational evidence for self-interacting cold dark matter // *Phys. Rev. Lett.* – 2000. – Vol. 84. – P. 3760–3763.
59. *Staudacher Th.* Upper mantle origin for Harding County well gases // *Nature*. – 1987. – Vol. 325. – P. 605–607.
60. *Takahashi K., Boyd R. N.* The possible consequences of strange quark matter on hydrogen burning in the sun // *Astrophysical Journal*. – 1988. – Part 1, Vol. 327. – P. 1009–1019.
61. *Trofimenko A. P.* Black holes in cosmic bodies // *Astrophys. & Space Sci.* – 1990. – Vol. 168. – P. 277–292.
62. *Turner M. S.* Monopole heat // *Nature*. – 1983. – Vol. 302. – P. 804–806.
63. *Wang H.* On the internal energy source of the large planets // *Chin. Astronom. Astrophys.* – 1990. – Vol. 14, № 4. – P. 361–370.
64. *Zaharijas G., Farrar G. R.* Window in the dark matter exclusion limits // *Phys. Rev. D*. – 2005. – Vol. 72, № 083502.

Науч.-инж. центр
радиогидрогеоэкол. полигон.
исслед. НАН Украины,
Киев
E-mail: poshuk@mail.ru

Статья поступила
02.08.13