

ВЗРЫВАЮТСЯ ЛИ ПЛАНЕТЫ?

УДК 523.12

В. Ф. Анисичкин

**Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева,
630090 Новосибирск**

Высказано предположение, что в недрах планет ядерная энергия выделяется не только при естественном радиоактивном распаде, но и в цепных ядерных реакциях. Критический слой делящегося вещества может образоваться в процессе оседания частиц диоксида урана в жидком слое ядра планеты. Квазистационарные процессы выделения энергии в активном слое могут быть причиной глобальных тектонических явлений. К быстрому и глубокому переходу активного слоя в сверхкритическое состояние и взрыву может привести ударная волна от столкновения планеты с большим метеоритом. Взрывами в небесных телах объясняется ряд особенностей строения Солнечной системы.

Пояс астероидов между планетами Марс и Юпитер, согласно существующим теориям, мог образоваться в результате высокоскоростного столкновения небесных тел или разрушения сформировавшейся планеты. Противоположная точка зрения заключается в том, что пояс астероидов, движущихся по гелиоцентрическим орбитам, еще не сформировавшееся небесное тело. Факты, как подтверждающие изложенные теории, так и не согласующиеся с ними, приведены, например, в [1, 2]. Основная слабость первой теории — недостаточное обоснование причины и вероятности разрушения планеты. Рассмотрим возможный физический механизм такого разрушения на примере планеты Земля.

В земной коре массовое содержание урана составляет $\sim 2,5 \cdot 10^{-4} \%$. Природный уран в настоящее время имеет следующий состав:

$$^{238}\text{U}(99,282 \%, \quad T_{1/2} = 4,51 \cdot 10^9 \text{ лет}),$$

$$^{235}\text{U}(0,712 \%, \quad T_{1/2} = 7,13 \cdot 10^8 \text{ лет}),$$

$$^{234}\text{U}(0,006 \%, \quad T_{1/2} = 2,48 \cdot 10^5 \text{ лет}).$$

Здесь $T_{1/2}$ — период полураспада [3]. Согласно существующим представлениям, внутреннее ядро Земли до радиуса $\sim 1\,000$ км твердое. Внешняя часть ядра толщиной $\sim 2\,000$ км состоит преимущественно из расплавленного железа. Ближе к поверхности — мантия и земная кора толщиной несколько более $3\,000$ км. Давление в центре Земли $3 \cdot 10^2$ ГПа, плотность $\sim 12,5$ г/см³, температура $4000 \div 5000$ °С [4]. В земной коре уран существует в виде UO_2 и других соединений [3]. Диоксид урана — устойчивое химическое соединение с температурой плавления 2850 °С — образует кристаллы плотностью $10,95$ г/см³. У железа соответствующие величины 1539 °С и $7,87$ г/см³ [3, 5]. Поэтому за большие времена частицы UO_2 могут осесть на внутреннее ядро Земли. Процесс оседания частиц диоксида урана, например, микронных размеров, согласно закону Стокса с коэффициентом динамической вязкости жидкого железа $2 \cdot 10^{-3}$ Па · с [6], завершится за 10^5 лет. По теории [7] плотность поверхностного слоя осевших микронных частиц в жидком железе в результа-

те броуновского движения должна уменьшаться более чем в два раза на высоте 10^{-5} м. Следовательно, в результате бародиффузии и дифференциации веществ диоксид урана может образовать плотный слой с выраженными границами. Толщина такого слоя, согласно приведенным выше данным о содержании урана в земной коре и о размере твердого ядра Земли, составит ~ 30 м. (С учетом тория ^{232}Th — потенциального «сырья» для ядерного топлива [3] — делящегося вещества может быть в несколько раз больше.)

С оседанием и повышением концентрации размер частиц диоксида урана должен увеличиваться, так как, согласно общим закономерностям роста кристаллов с повышением давления увеличение размера частиц становится термодинамически более выгодным [6]. В рассматриваемом случае время роста практически не ограничено, но, вероятно, размер частиц не превысит нескольких сантиметров — типичных критических размеров делящихся материалов [6].

Цепная ядерная реакция в природном уране на медленных нейтронах возможна при гетерогенном устройстве активной зоны, когда делящееся вещество и вещество-замедлитель нейтронов разделены, или на быстрых нейтронах при обогащении природного урана ураном ^{235}U [6]. В недрах Земли были возможны оба варианта. Возможно образование суспензии достаточно крупных частиц UO_2 в инертной, замедляющей нейтроны среде. Обогащение ураном ^{235}U и другими делящимися изотопами, например, 4,3 млрд. лет назад, согласно их периодам полураспадов, могло достигать 20 % и более. Может быть существенным также то, что у диоксида урана как ядерного топлива самый высокий коэффициент воспроизводства в реакциях размножения делящихся ядер [6].

Очевидно, что несмотря на продолжающееся оседание частиц образование плотного слоя обогащенного урана толщиной в десятки метров невозможно. Цепная реакция должна начаться при меньших плотности и количестве делящегося вещества в слое. Поэтому можно предположить следующее. В процессе оседания и уплотнения делящегося вещества будут вытесняться инертные поглотители нейтронов между частицами и будет уменьшаться удельная поверхность на единицу массы активного слоя, через которую происходит утечка нейтронов. (Общая поверхность практически бесконечного плоского слоя осевших частиц остается постоянной, но растут толщина и масса делящегося вещества в слое.) Следовательно, коэффициент размножения нейтронов K будет расти. Но при начале цепной реакции ($K = 1$) и тепловыделения возникнут восходящие конвективные потоки, скорость которых в равновесной ситуации будет близка к скорости оседания частиц. Они будут препятствовать дальнейшему оседанию частиц диоксида урана. Так может установиться квазистационарный процесс ядерного энерговыделения реакторного типа.

К быстрому и глубокому переходу образовавшегося активного слоя в сверхкритическое состояние может привести ударная волна (УВ), например, от сильного землетрясения или столкновения с большим метеоритом. Поведение системы тяжелых частиц размером $0,5 \div 1,0$ мм, расположенных в порошке из менее плотных твердых частиц в УВ мощностью от 1 до 10 ГПа, экспериментально исследовано в [8]. Обнаружено, что в слабых УВ, идущих сверху, происходило «оседание» на твердое дно более плотных и прочных частиц на всю глубину экспериментальной сборки — 20 мм. Эффект объясняется скоростной неравновесностью смеси разнородных частиц.

Оценим мощность УВ от большого метеорита, распространяющейся в недрах планеты на глубине активного слоя, чтобы сравнить условия экспериментов [8] и рассматриваемого случая. В [9] рассчитан процесс затухания УВ при столкновении метеорита размером 50 км и со скоростью 15 км/с с Луной. (Предполагается, что такие метеориты образова-

ли наиболее крупные кратеры на Луне). Получено, что давление в УВ в зависимости от глубины падает медленнее, чем $p \sim r^{-2}$, но быстрее, чем $p \sim r^{-1}$, где r — расстояние от поверхности. Экстраполируя приведенные в [9] данные, давление в УВ, распространяющейся в недрах планеты, близкой по составу к Луне, на глубине ~ 5000 км можно оценить как минимальное $0,07$ ГПа ($p \sim r^{-2}$) и как максимальное $0,3$ ГПа ($p \sim r^{-3/2}$). Это несколько меньше, чем в экспериментах [8], но в [8] отмечается также, что в зависимости от физико-механических свойств среды скоростная неравновесность частиц может быть «очень большой». В рассматриваемом активном слое более сильному принудительному осаждению частиц диоксида урана, очевидно, будет способствовать больший размер частиц и относительно низкая динамическая вязкость среды — жидкого железа. Возможно также и падение небесных тел с большей кинетической энергией.

Учитывая, что критический размер делящихся материалов составляет несколько сантиметров [6], уплотнение активного слоя со смещением частиц на несколько сантиметров и более может быть существенным. Следовательно, в УВ может произойти быстрый переход слоя частиц диоксида урана с $K = 1$ в сверхкритическое состояние, что приведет к началу цепной ядерной реакции. При этом реагирующий плоский слой начнет расширяться, но, в отличие от ограниченных ядерных зарядов, его удельная поверхность увеличиваться не будет, обратного поступления в слой инертной, поглощающей нейтроны среды также не будет. Поэтому срыва цепной реакции не произойдет. В результате вверх, в слой взвешенных активных частиц, пойдет мощная УВ. В [8] экспериментально показано, что в сильной УВ, в отличие от слабой, процесс обратный: тяжелые частицы будут отставать и накапливаться на «поршне», т. е. так может прореагировать и расположенный выше слой не полностью осевших активных частиц.

Волнообразные возмущения и, следовательно, скачкообразное увеличение толщины активного слоя, возможно, достаточное для начала цепной реакции, произойдут и при косом падении УВ на слой при огибании ею твердого ядра планеты.

Если в цепной реакции прореагирует большая часть делящегося материала, то событие будет эквивалентно взрыву тринитротолуола в количестве, сравнимом с массой Земли. Однако такое развитие событий, возможно, необязательно в истории планеты. Более вероятно установление квазистационарного процесса локального энерговыделения с возможными пульсациями и с течениями во внутреннем проводящем ядре Земли, определяющими ее магнитное поле. Восходящие течения над относительно устойчиво реагирующими областями также могут определять геотектонику, движение литосферных плит, материков.

В случае взрыва ударная волна приведет к отрыву поверхностного слоя планеты. В результате такой слой может приобрести скорость до нескольких десятков километров в секунду. Суммируясь с орбитальной скоростью планеты вокруг Солнца, наибольшую скорость приобретут, возможно, находящиеся на поверхности планеты мелкие частицы, льды (H_2O , CO , CO_2 и др.). Такие массы вещества могут выходить за пределы Солнечной системы, периодически возвращаясь в виде комет. Из-за возможных неоднородностей и выделенности точки инициирования реакции выброс вещества планеты будет несимметричным. Выброшенные в разных направлениях массы взаимодействуют между собой, отклоняются притяжением Солнца и других планет. Поэтому массы вещества, имеющие скорости, меньшие второй космической, могут образовать кольца и спутники как с прямым, так и с обратным вращением, как, в частности, у планеты Юпитер. Выпадающие обратно, по касательной к поверхности планеты отклоненные массы вещества могут при-

дать ей вращение в общем случае и не в плоскости ее орбиты. Такой наклон оси вращения к плоскости орбиты есть у Земли и особенно выражен у Урана [1, 2].

В результате взрыва Протоземли могла образоваться и Луна. Характеристики Луны трудно объяснить в рамках общих схем образования планетных систем [1, 2]. Существующие теории захвата Луны с гелиоцентрической орбиты, аккреции протопланетного вещества на два тела, «мегаимпакта», отрыва Луны от быстровращающейся Земли не бесспорны [1, 2]. Взрывной же выброс вещества на орбиту возможен и при меньшей скорости вращения Земли. Возможными результатами такого катастрофического процесса являются, в частности, легкая, обновленная атмосфера Земли, строение земной коры, особенности некоторых месторождений, характеристики и строение Луны. Не взрывавшаяся в процессе эволюции планета может не иметь спутников. У нее должна быть более массивная, относительно соседних планет, каменная оболочка, мощная, также не сброшенная первичная атмосфера. Именно таковы особенности планеты Венера [10].

Рассмотренный механизм возникновения цепной ядерной реакции из-за неоднородностей в слое активного вещества, слабости начального импульса может реализоваться не полностью. В этом случае высокотемпературный, частично прореагировавший делящийся материал может образовать достаточно большой плазменный «пузырь». Возникнув и поднимаясь, такая масса создаст неоднородности, изменит течения в металлическом ядре, что вызовет определенные изменения в магнитном и гравитационном полях Земли, аномалии в ионосфере, а через некоторое время — возмущения земной коры.

Восходящие потоки со временем будут прекращаться над выгоревшими или провалившимися во внутреннее ядро горячими массами делящегося вещества, но будут возникать в других местах, меняя величину и направление магнитного поля Земли.

Предполагаемый механизм выделения ядерной энергии может не реализоваться из-за сильных течений во внутренних областях планеты, низкой плотности образовавшегося слоя делящегося материала, недостаточного обогащения урана, отсутствия выраженной границы между жидкой и твердой частями ядра планеты. Очевидно, важны и многие другие факторы. Однако, они не могут быть рассмотрены элементарно и заслуживают дальнейшего исследования.

Таким образом, можно предположить, что в недрах планет ядерная энергия выделяется не только при радиоактивном распаде делящихся веществ, но и в саморегулируемых квазистационарных процессах цепных ядерных реакций.

Взрывное выделение ядерной энергии в недрах планеты возможно при быстром и глубоко переводе делящегося вещества в сверхкритическое состояние ударной волной от столкновения планеты с большим метеоритом.

Автор признателен В. В. Митрофанову и В. М. Титову за полезные замечания и советы по доработке статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альвен Х., Аррениус Г. Эволюция Солнечной системы. М.: Мир, 1979.
2. Спутники планет / Под ред. Дж. Бернса. М.: Мир, 1980.
3. Химический энциклопедический словарь. М.: Сов. энцикл., 1983.
4. Советский энциклопедический словарь. М.: Сов. энцикл., 1983.
5. Краткий справочник физико-химических величин. Л.: Химия, 1974.
6. Физический энциклопедический словарь. М.: Сов. энцикл., 1984.

7. Эйнштейн А., Смолуховский М. Брауновское движение. М.: Главная редакция общетехн. лит., 1936.
8. Костюков Н. А. Структура течения бинарных смесей твердых частиц в условиях двумерного ударно-волнового нагружения // ПМТФ. 1988. № 3. С. 54–59.
9. О'Киф Дж. Д., Аренс Т. Дж. Ударные эффекты при столкновении больших метеоритов с Луной // Механика образования воронок при ударе и взрыве. М.: Мир, 1977. С. 62–79.
10. Войткевич Г. В. Химическая эволюция Солнечной системы. М.: Наука, 1979.

*Поступила в редакцию 26/III 1996 г.,
в окончательном варианте — 30/X 1996 г.*
