ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ, 2022, том 86, № 9, с. 1226–1229

УДК 524.3-16

ЧТО ВЕК ГРЯДУЩИЙ НАМ ГОТОВИТ?

© 2022 г. Ф. Н. Шакирзянов[1, *], П. А. Бутырин[1], С. А. Абдулкеримов[1], Д. В. Михеев[1]

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
"Национальный исследовательский университет "МЭИ", Москва, Россия

*E-mail: 3728049@mail.ru

Поступила в редакцию 18.04.2022 г.
После доработки 13.05.2022 г.
Принята к публикации 23.05.2022 г.

Название этой статьи на стыке XX и XXI вв. оказалось весьма популярным и в научной, и в общественно-политической, и в художественной литературе. Но в нашей работе речь идет не о следующем веке, а о вспышках и супервспышках Солнца непосредственно в следующей сотне годов. Способны ли мы своевременно предсказать время мощной супервспышки? Умеем ли мы рассчитать губительные для жизни на Земле последствия электромагнитной атаки Солнца, что можно предпринять для сохранения нашей цивилизации?

DOI: 10.31857/S0367676522090265

Астрофизики хорошо изучили мощные вспышки на Солнце – периодически происходящие взрывоподобные выделения энергии в широком диапазоне частот и возникновение мощных потоков вещества, выбрасываемого в околосолнечное пространство. Происходят такие вспышки и на других звездах класса G2, к которому относится и Солнце. Астрофизики обсерватории на Гавайских островах (East Asian Observatory: Hilo, Hawaii), определили мощность вспышки, которая в 2016 г. произошла на звезде JW 566, расположенной в 1500 световых годах от Солнца в созвездии Ориона. Мощность оказалась гигантской: она была в 10 миллиардов раз мощнее типичных солнечных вспышек. Если бы такая вспышка произошла на Солнце, то выброшенное им вещество мгновенно спалило бы все вокруг, Земле пришел бы неминуемый конец. Совсем недавно, 15 февраля 2022 г., супервспышка произошла и на Солнце. Однако человечеству на этот раз повезло: выброс излучения и вещества был направлен не в сторону Земли. Если бы огненный выдох нашего светила затронул нашу планету, то магнитосфера Земли не смогла бы обеспечить необходимый уровень защиты. Даже после относительно слабых вспышек повсеместно на Земле нарушается работа энергосистем и систем связи, нарушается работа электро- и радиооборудования космических аппаратов в околоземном пространстве. Во время супервспышки энергия, излучаемая звездой, увеличивается в десятки тысяч раз. Если это случится на Солнце сейчас, то человечество исчезнет, и на Земле сохранятся лишь простейшие формы жизни.

Супервспышки Солнца происходили неоднократно. Археологические исследования свидетельствуют о супервспышках Солнца в глубокой древности, наблюдались они и в новейшей истории. Подвергалась ли Земля воздействию супервспышек-убийц, неизвестно, но Марс, видимо, подвергался. Считается, что именно супервспышка "сорвала" атмосферу с этой прекрасной планеты и уничтожила жизнь на ней. Случившееся с Марсом показывает, что смертельная угроза жизни на Земле реальна. Перед этой угрозой меркнут все проблемы, решением которых заняты земляне. Все ничтожно перед этой угрозой и борьба отдельных личностей за свое благополучие, и конфликт национальных, социальных групп, стран и союзных образований за лидерство, и даже эпидемии, пандемии, геофизические катастрофы. Если Земля подвергнется воздействию гигантской супервспышки Солнца, исчезнет ее содержащая кислород атмосфера, а жизнь на ней исчезнет совсем или сохранится лишь в простейших формах.

Однако уровень развития нашей цивилизации позволяет подготовиться к этой угрозе не обреченно. Объединенные усилия всех наций безусловно могут сохранить жизнь на Земле и нашу цивилизацию на ней. Уже сегодня надо приступить к математическому моделированию и решению следующих задач:

– расчет времени, продолжительности, энергии и построение диаграммы направленности излучения и солнечного ветра от супервспышки Солнца;

– определение продолжительности, энергетического уровня и последствий воздействия супервспышки на Землю;

– создание искусственной среды обитания, запасов жизнеобеспечения (энергия, пища, кислород и т.д.);

– создание и закладка на хранение банков биологического фонда, информационных банков знаний и т.п.;

– разработка способов кондиционирования климата планеты и восстановления форм жизни.

Безусловно, этот список можно многократно увеличить, уточнить, конкретизировать.

На наш взгляд наиболее актуальным является первый пункт этого перечня. К сожалению, общепризнанная модель Солнца [1] не содержит даже намека на механизм возникновения супервспышек. Ранее в [2, 3] нами была предложена новая модель, в которой Солнце представлялось импульсным термоядерным котлом пузырькового кипения. В результате импульсно протекающей термоядерной реакции в ядре Солнца образуется скопление фотонных доменов- вакуумных пузырьков с гигантской концентрацией электромагнитной энергии в них.

Термоядерная реакция в центре ядра Солнца завершается образованием вакуумного пузыря с гигантской концентрацией электромагнитной энергии – фотонного домена (рис. 1*а*). Выталкивающая сила по всем направлениям одинакова, поэтому фотонный домен остается в центре Солнца.

Последующие взрывы также образуют пузыри, которые слипаются с первым пузырем. В результате в центре образуется сгусток пузырей, на который действуют по всем радиальным направлениям одинаковые выталкивающие силы (рис. 1*б*).

Эти силы растягивают пузырьковый сгусток и превращают его в сферу с пузырьковыми стенками (рис. 1*в*), в центре которого образуется новый сгусток. Растягивание сферы продолжается до тех пор, пока его стенка не станет однослойной (рис. 1*г*). Затем стенка разрушается, и ее пузыри стягиваются в один или несколько периферийных сгустков (рис. 1*д*). Возможно отделение и одиночных пузырей. Процессы формирования сгустков в центре ядра, их растягивание в сферы, распад сфер, образование периферийных сгустков и пузырей идут непрерывно (рис. 2). То есть из центра ядра Солнца изливаются сферические волны, сгустки пузырей, одиночные пузыри, которые осуществляют транспортировку электромагнитной энергии из ядра в зоны радиации, конвекции, фотосферу, хромосферу, образуют солнечные пятна (корональные дыры), хромосферные вспышки. Так как условия в центре ядра Солнца меняются крайне медленно, то там будут возникать практически одинаковые сгустки пузырей. Одинаковыми будут и процессы возникновения и разрушения сфер с пузырьковыми стенками. Кстати, одинаковыми будут и расстояния по радиусу между зонами разрушения. Поэтому в эпоху всплытия на поверхность таких зон на поверхность активность нашего светила будет максимальной. Вполне возможно, что именно этим объясняется одиннадцатилетний период повторения повышенной активности Солнца.

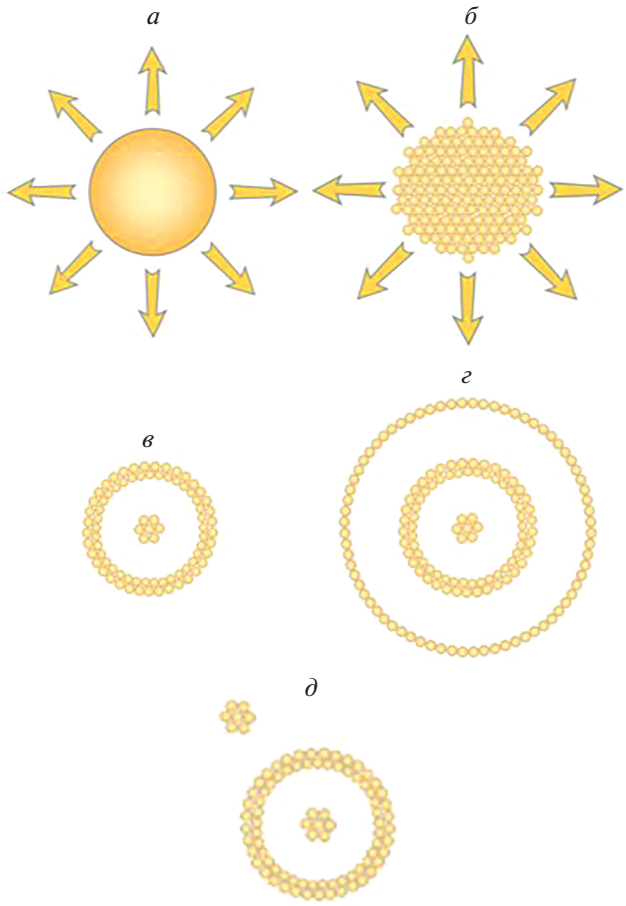

Рис. 1. Пузырьковые образования в ядре Солнца: возникновение фотонного домена пузыря в центре Солнца (*а*); образование шаровидного сгустка пузырей в центре Солнца (*б*); растяжение шаровидного сгустка и превращение его в сферу с пузырьковой стенкой (*в*); растяжение сферы с пузырьковой стенкой в сферу с однослойной пузырьковой стенкой (*г*); разрушение сферы с однослойной пузырьковой стенкой, образование периферийного сгустка пузырьков (*д*).

Массовое всплытие большого числа фотонных доменов на поверхность Солнца и дает при их лопании супервспышку. Необходимо всесторонне исследовать эту модель с целью получения ответов на первую задачу приведенного выше перечня. Конечно, необходимо иметь в виду, что размеры пузырей не одинаковы. Развернутая про-

Рис. 2. Последующие циклы возникновения и разрушения сфер и шаровидных сгустков в ядре Солнца.

грамма этого исследования приведена нами в [4]. Она содержит десять задач. Все они поставлены впервые и весьма сложны. Для примера обсудим одну из них.

Пятая задача – задача о всплытии пузырей к поверхности Солнца. Как всплывают одиночные пузыри, пары и группы пузырей, ламинарно или турбулентно? Как долго длится процесс всплытия? Как решение этих проблем зависит от размера пузырей?

Конечно, такая задача никем, никогда не ставилась и не решалась. Задача о движении фотонных доменов в плазме имеет самостоятельное значение для газодинамики и физики плазмы. Но одновременно она является и задачей о переносе гигантских порций электромагнитной энергии в плазменной среде на огромные расстояния, от центра Солнца до ее поверхности, практически без потерь при транспортировке. Наиболее близка к этой задаче по алгоритму решения задача о двухфазных течениях паро- и газожидкостных смесей, в частности, задача о всплытии воздушно газовых пузырей в поле силы тяжести. На протяжении последних десятилетий над этой задачей трудятся многочисленные коллективы исследователей, занятых проведением сложных экспериментов [5–7] и разработкой новых вычислительных методов и алгоритмов [8–11]. В связи со сложностью экспериментов для многочисленных технических приложений конкретные задачи решаются цифровым моделированием и численными методами. Несмотря на определенные успехи в этой области, до сих пор универсальных методов цифрового моделирования даже двухфазного течения паро- и газожидкостных смесей, не существует. Созданы неплохие модели для описания движения пузырьков воздуха в жидкости в поле силы тяжести. Движение пузырьков является определяющим для описания многих процессов (флотация руд, барботаж, кавитация и т.д.). Расчет основан на решении системы уравнений Навье–Стокса, в общем случае представленной в виде [11]:

$$\operatorname{div}(\vec{\upsilon}) = 0;\quad \frac{\partial(\rho\vec{\upsilon})}{\partial t} + \operatorname{div}[\rho\vec{\upsilon}\times\vec{\upsilon}] =$$

$$= -\nabla p + \operatorname{div}T + \rho\vec{g} + \int_s \sigma_i' n' \delta(t-t')\,ds;$$

$$\frac{\partial\alpha_i'}{\partial t} + \vec{\upsilon}\nabla\alpha_i = 0,$$

где $\rho, \vec{\upsilon}, p$ – плотность, скорость, давление и время, соответственно, T – тензор вязких напряжений, $\vec{g}$ – объемные силы, включающие в себя силы тяжести, α_i – концентрация i-го вещества, σ – коэффициент поверхностного натяжения, которые появляются в случае рассмотрения всплытия газообразных пузырьков.

Обычно искомой величиной является скорость пузырька. Интересуются также траекторией движения, изменением формы пузырька и т.п. Для расчета очень важны безразмерные числа, характеризующие всплытие газообразных пузырьков – это числа Рейнольдса, Этвеша и Мортона. Число Рейнольдса $\mathrm{Re} = \frac{\upsilon d}{w}$ (d – эквивалентный диаметр пузырька, w – кинематическая вязкость жидкости) характеризует влияние обтекания жидкости вокруг пузырька на характер всплытия; число Этвеша $\varepsilon_0 = \frac{g_{эф}|\rho_г - \rho_ж|d}{\sigma}$, характеризующее соотношение сил плавучести и поверхностного натяжения и число Мортона $M_0 = \frac{g_{эф}w^2|\rho_г - \rho_ж|}{\sigma^3}$, характеризующее совокупное соотношение вязкости. Здесь $g_{эф} = g - \frac{D\upsilon}{Dt}$ – величина эффективного ускорения, D/Dt – субстанциональная производная.

Задача о движении вакуумного пузыря – фотонного домена много сложнее, чем задача о всплытии воздушного пузырька, так как все параметры солнечного вещества и самого пузыря

сложным образом меняются при движении пузыря от центра Солнца до его поверхности. Для воздушного пузырька обычно ограничиваются расчетом его скорости, а для фотонного домена важно рассчитать его координаты внутри Солнца в произвольный момент времени от его рождения до гибели. На основании приведенной модели можно в нулевом решении определить время жизни движущегося фотонного домена внутри Солнца. Расчет дает результат – примерно 80 миллионов лет.

Безусловно, исчерпывающе корректное решение, включающее и ламинарное, и турбулентное всплытие пузыря, групп пузырей – сложная, интересная и красивая задача, часть исследований по обоснованию адекватности модели Солнца с горячим ядром [4].

Результатом исследований должно стать создание цифрового двойника Солнца. Эта задача ставится нами впервые. В Швейцарии объявлена десятилетняя программа создания цифрового двойника Земли. Мы же ставим задачу создания цифрового двойника Солнца. При этом необходимо максимально использовать данные и информацию о Солнце за всю историю его научных наблюдений. Совпадение картины жизни Солнца и его цифрового двойника за последние сто лет даст возможность искать, находить, а следовательно, заглянуть в будущее, то есть предсказывать будущее реального Солнца с помощью его цифрового двойника и, в частности, предсказать время, мощность его вспышек, супервспышек в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bethe H.A., Salpeter E.E.* Quantum mechanics of one- and two-electron atoms. Berlin: Springer, 1957. 368 p.
2. *Бутырин П.А., Шакирзянов Ф.Н.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2017. Т. 8. № 8. С. 1127; *Butyrin P.A., Shakirzianov F.N.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2017. V. 81. No. 8. P. 1016.
3. *Шакирзянов Ф.Н.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2020. Т. 84. №5. С. 704; *Shakirzianov F.N.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2020. V. 81. No. 5. P. 580.
4. *Шакирзянов Ф.Н., Бутырин П.А., Абдулкеримов С.А., Михеев Д.В.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2021. Т. 85. № 11. С. 1527; *Shakirzianov F.N., Butyrin P.A., Abdulkerimov S.A., Mikheev D.V.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2020. V. 85. No. 11. P. 1198.
5. *Ellingsen K., Risso F.* // J. Fluid. Mech. 2001. V. 440. P. 235.
6. *Veldhuis C., Biesheuvel A., Wijngaarden L.* // Phys. Fluids. 2008. V. 20. P. 1.
7. *Duineveld P.C.* // J. Fluid. Mech. 1995. V. 292. P. 325.
8. *Boisson N., Malin M.R.* // Int. J. Num. Meth. Fluids. 1996. V. 23. No. 12. P. 1289.
9. *Hua J., Stene J., Lin P.* // J. Comp. Phys. 2008. V. 227. No. 6. P. 3358.
10. *Chen L., Garimella S.V., Reizes J.A. et al.* // J. Fluid Mech. 1999. V. 387. P. 61.
11. *Козелков А.С., Ефремов В.Р., Дмитриев С.М. и др.* // Фунд. и прикл. гидрофиз. 2018. Т. 11. № 4. С. 73.

What is the coming century preparing for us?

F. N. Shakirzianov[a], *, P. A. Butyrin[a], S. A. Abdulkerimov[a], D. V. Mikheev[a]

[a]*National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, 111250 Russia*

**e-mail: 3728049@mail.ru*

The title of this article at the turn of the 20th and 21st centuries turned out to be very popular in scientific, socio-political and fiction. But in our work we are not talking about the next century, but about solar flares and superflares directly in the next hundred years. Are we able to timely predict the timing of a powerful superflare? Are we able to calculate the consequences of the electromagnetic attack of the Sun that are detrimental to life on Earth, what can be done to preserve our civilization?