

СЕТЕВОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

ИНЦИДЕНТ 22 СЕНТЯБРЯ 1979 ГОДА НА СПУТНИКЕ ВЕЛА: ОБНАРУЖЕННАЯ ДВОЙНАЯ ВСПЫШКА

Кристофер Райт и Ларс-Эрик де Геер

Кристофер Райт, Университет Нового Южного Уэльса, Канберра, Школа физических, математических, и относящихся к окружающей среде наук, Исследовательская группа по Науке и Безопасности, Академия оборонительных сил Австралии, Канберра, Австралия.

Почтовый адрес для корреспонденций: Christopher Wright, PO Box 7916 Canberra BC, Australia,
Адрес электронной почты: c.wright@adfa.edu.au

Ларс-Эрик де Геер, отставной сотрудник оборонного исследовательского агентства, Стокгольм, Швеция, и отставной сотрудник Подготовительной комиссии организации договора по всеобъемлющему запрещению ядерных испытаний, Вена, Австрия.

Почтовый адрес для корреспонденций: Lars-Erik De Geer, Fladervagen 51,194 64, Upplands Vasby, Sweden.

Адрес электронной почты: ledg1945@gmail.com

ДИНАМИКА МЕЖПЛАНЕТНОЙ ПЫЛИ

Поскольку пылевые частицы в солнечной системе подвержены действию нескольких сил, их относительные вклады зависят от свойств частицы (в особенности размера и (или) массы, электрического заряда, плюс морфологии и состава), так же как и от гелиоцентрического радиуса. Окончательное распределение межпланетной пыли является поэтому очень сложной проблемой¹.

Наиболее очевидной силой является гравитационное притяжение Солнца, доминирующее для частиц с массой, превышающей 10^{-8} г, так что они движутся по кеплеровским орбитам вокруг Солнца². Гравитационное взаимодействие с планетами также влияет на их движение, и благодаря орбитальным резонансам могут возникать пылевые кольца, такие, как околосолнечное кольцо шириной 0,4 а.е., открытое на орбитальном радиусе Земли в 1 а.е.³

Для меньших пылинок могут доминировать другие силы. Одной из них является давление солнечного излучения, которое создает силу, направленную от Солнца для частиц с размерами менее 1 мкм. Сила Лоренца заставляет заряженные частицы двигаться по спирали в планетных или межпланетных магнитных полях, и она на порядки величин превосходит силу гравитации для размеров частиц около 0,01 мкм⁴. Другим очень важным процессом является торможение Пойнтинга-Робертсона (PR), в котором частицы размером более примерно микрона теряют угловой момент из-за тангенциально действующих сил солнечного ветра и радиационного давления, и движется по спирали в направлении к Солнцу.

Таким образом, наряду с аккрецией на планеты, или, по крайней мере, на планеты с атмосферой, имеются несколько механизмов, благодаря которым солнечная система теряет пыль. Поскольку такие механизмы могут действовать на сравнительно коротких временных масштабах, например, в десятки тысяч лет для торможения Пойнтинга-Робертсона, то должны существовать также другие процессы, которые должны пополнять запасы пыли и поддерживать наблюдаемую стационарную популяцию. Вероятно, это достигается благодаря процессу столкновительного равновесия, и включает взаимные столкновения между астероидами и (или) объектами пояса Койпера, столкновения метеоритов с планетами (без атмосферы)

или их спутниками, и даже вулканическую активность на некоторых спутниках⁵. Другими источниками могут быть развал комет и поток межзвездных пылинок, всегда входящих в солнечную систему⁶.

Вопросы остаются, но ожидаемый результат состоит в том, что устанавливается гелиоцентрический радиальный градиент в распределении частиц по размерам, с частицами меньших размеров, например, менее 100 мкм, предпочтительно удаляемых переносом вовнутрь под действием торможения Пойнтинга-Робертсона и (или) наружу под действием радиационного давления, и больших частиц, например, более 100 мкм, преобразуемых столкновительным истиранием до меньших размеров⁷.

ГИПЕРСКОРОСТНОЙ УДАР В КОНТЕКСТЕ СПУТНИКОВ ВЕЛА 5&6 И СИГНАЛА ТРЕВОГИ 747⁸

Скорость столкновения в гиперскоростных ударах (HVI) составляет несколько километров в секунду, или более. Во время таких ударов образуется ударная волна, сжимающая и нагревающая ударник и мишень по мере распространения через них. В зависимости от параметров столкновения (состава и кинетической энергии ударника, материала мишени, а также от угла падения), давление на фронте распространяющейся ударной волны превысит прочностные свойства материала (например, различные модули упругости) вплоть до определенной глубины, перманентно разрушив эти материалы. В большинстве случаев, относящихся к этой работе, ударник разрушается, возможно, даже испаряется, а на подвергшейся удару поверхности образуется кратер, поскольку расколотый, расплавленный, и иным образом структурно нарушенный материал выбрасывается.

Поскольку последствия удара метеорита по космическому аппарату потенциально катастрофичны, и количество орбитального мусора все возрастает, литература по гиперскоростным столкновениям весьма обширна. Эти работы относятся к лабораторным экспериментам, теоретическим соображениям, моделированию и наблюдавшимся повреждениям на многих космических аппаратах на орбите, например, солнечным батареям на космическом телескопе Хаббла (HST), и экспериментам на установке для длительной экспозиции (LDEF) и Европейском возвращаемом носителе (EuReCa)⁹. Они показали, что – как можно было ожидать – кинетическая энергия падающей частицы преобразуется в излучение (например, в яркую вспышку света), механическую работу по образованию кратера и кинетическую (и вращательную) энергию множества выбрасываемых частиц. Общая масса выброса на несколько порядков величины больше, чем первоначальная масса ударника, а количество отдельных частиц в выбросе может составлять сотни и тысячи.

Частицы в выбросе от гиперскоростного удара обычно можно в общих чертах разделить на три класса, обозначаемых как струя, конус и откол¹⁰. Они схематически показаны на рисунке 6а из статьи "Инцидент 22 сентября 1979 года на спутнике Вела: обнаруженная двойная вспышка". Для ударов с углом падения от перпендикулярного к поверхности (по нормали) до 60 градусов от нормали¹¹ поведение выброса приблизительно эквивалентно. В приблизительной временной последовательности сначала формируется струя, в основном близкая к плоскости, параллельной поверхности; этот класс всегда составляет малую компоненту выброса. Во-вторых, многие относительно мелкие и быстро движущиеся частицы – со скоростями до скорости удара, и даже больше, выбрасываются в узком диапазоне углов возвышения, и, таким образом формируют конусообразное облако выбрасываемых частиц, движущихся по похожим траекториям. Угол возвышения наблюдался в диапазоне от 35 до 70 градусов, увеличиваясь по мере увеличения глубины кратера в течение столкновения, и также возрастающего вместе со скоростью удара¹². И, наконец, намного меньшее количество крупных и медленнее движущихся (от 10 до 100 м/с) частиц выброса образуются в процессе откола. Это происходит, когда материал вблизи свободной поверхности материала с низкой прочностью на растяжение разрывается, например, когда через него проходит отраженная волна разрежения (или растяжения). Фрагменты откола выбрасываются перпендикулярно поверхности.

Для удара где-то на шести панелях, прилегающих к плоскости бангметра, допустимые траектории падающего метеороида охватывают угол примерно в 240 градусов, в основном возникая "ниже" космического аппарата (где "ниже" соответствует направлению на Землю, измеряемому от плоскости, определяемой шестиугольной "талией" космического аппарата). Но, как показывает исследование рисунка 6, даже среди таких траекторий имеются некоторые запрещенные траектории, которые в ином случае могли бы ударить по одной из шести панелей. Например, для второй площадки столкновения (ii) на рисунке 6а траектория приходящего метеороида будет такой же, как для площадки (i), но она ударяет по противоположной панели, пересекая поля зрения датчиков под большим углом к оптической оси вблизи от спутника. Это позволяет предположить, что частица может сама запустить бангметры, если она будет достаточно яркой, и высокая скорость изменения сигнала будет гарантирована для любой разумной скорости¹³. Такое сколь-

зрящее столкновение вряд ли отправит большую часть своего выброса в поля зрения, вместо этого направив их по расходящимся траекториям. Аналогично, на рисунке 6b можно представить себе область входящих траекторий, для которых будет трудно увидеть, как частицы выброса смогут либо запустить оба бангметра, либо привести к почти аналогичным первым импульсам.

В конкретном столкновении, показанном на рисунке 6a, угол возвышения конуса нарисован как 45 ± 10 градусов, и в этом случае выброс будет направлен в поля зрения. Но это все еще не гарантирует запуск, поскольку значительная компонента скорости выброса направлена параллельно оптической оси бангметра, и скорость изменения сигнала может оказаться недостаточной для запуска одного, или обоих датчиков. По мере увеличения углов возвышения конуса ситуация ухудшается, и в этом случае абсолютный уровень освещенности также может стать проблемой, поскольку облако выброса может оказаться слишком удаленным и слишком рассредоточенным – и поэтому слишком тусклым – для того, чтобы удовлетворить второму критерию срабатывания. Кроме того, даже если датчики будут запущены, то можно ожидать, что появится более длительный начальный импульс, или, по крайней мере, импульс с большей длительностью спада, поскольку облако выброса будет находиться в поле зрения значительно дольше, чем для в основном поперечного пути прохода.

С другой стороны, при уменьшении углов возвышения возникают другие проблемы. Это может случиться со скользящими столкновениями, скажем, для тех, у которых угол падения превышает 60 градусов от нормали к поверхности, и где конус становится сплюснутым из-за выброса большинства осколков в направлении траектории подлета. Снова предположив, что геометрия на рисунке 6a приблизительно правильна, можно видеть, что перпендикулярная (к оптической оси бангметра) компонента вектора скорости будет доминировать только при углах возвышения конуса менее 15 градусов. Это предоставляет хорошие шансы для срабатывания бангметров, но затем будет очень трудно увидеть, как осколки выброса смогут пересечь поле зрения на высоте более, чем примерно 1,5 м, необходимой для достижения таких похожих первых импульсов¹⁴. Фактически такой критический угол возвышения для обеспечения идентичности первых импульсов изменяется при перемещении точки удара по шести солнечным панелям. Грубые оценки расстояния между возможными точками удара и входными апертурами бангметра показывают, что угол возвышения должен быть больше, чем примерно 30, 40 и 50 градусов соответственно для столкновений в нижней, средней и верхней частях шести панелей для того, чтобы конус выброса прошел в 1,5 м над бангметрами. После этого следует перейти к рассмотрению тех же самых критериев запуска и формы сигнала, намеченных в предыдущем абзаце.

Аналогичные соображения также аргументируют против скользящих (или наклонных) столкновений, иначе называемых рикошетом¹⁵. В этих случаях могут образоваться всего несколько частиц, поскольку метеороид может разломиться на куски, как это показано на рисунке 6b. Но после этого не останется замыкающего облака выброса для формирования второго импульса. Кроме того, поскольку первый импульс может быть инициирован одиночной частицей ("первой или первыми несколькими", как это отмечалось группой Руины), к нему предположительно могут быть применены некоторые из тех же серьезных ограничений на его свойства и траекторию, которые были оговорены в основной статье для случаев одиночной или двойной частицы¹⁶.

И, наконец, хотя "предполагался" угол в 30 градусов между плоскостью бангметра и плоскостями прилегающих шести солнечных панелей, он не может быть намного меньше, чем это следует из фотографий, в то время как более высокое значение только усилит свойство "геометрического экрана".

ДАННЫЕ О СОБЫТИЯХ СПУТНИКА ВЕЛА И ДЕТЕКТОРА АСТЕРОИДОВ И МЕТЕОРОИДОВ НА СТАНЦИЯХ ПИОНЕР-10 И -11

Во время обсуждений в группе Руины единственными данными с космических аппаратов, возможно, релевантными к событиям Вела, были данные с космических аппаратов Пионер-10 и Пионер-11, оборудованных оптическими и ударными детекторами, а именно Детектором астероидов и метеороидов (AMD) и Экспериментом по обнаружению метеороидов (MDE). Неожиданное превышение скорости счета на детекторе AMD по сравнению с детектором MDE на два порядка величины было использовано группой Руины для поддержки их аргумента о том, что Сигнал тревоги 747 был просто событием из зоопарка Вела. Но в использовании данных AMD для поддержки их вывода о том, что событие столкновения на спутнике Вела, вероятно, было ответственно за Сигнал тревоги 747 посредством отражения солнечного излучения от частиц выброса, группа Руины могла впасть в заблуждение.

Поскольку спутники Вела обращаются вокруг Земли на постоянном расстоянии от Солнца, в то время как станции Пионер движутся с 1 а.е. наружу, ожидается, что спутники Вела будут видеть постоянную скорость событий метеороидов, а на станциях Пионер – нет.

Детектор MDE на станциях Пионер обнаружил в интервале от 1 до 5 а.е. непрерывно уменьшающуюся (примерно на один порядок величины) скорость счета событий (в единицах $\text{м}^2\text{с}^{-1}$), согласующуюся с моделями межпланетной пыли¹⁷. Если повышенная скорость счета срабатываний детектора AMD действительно была бы вызвана наблюдением осколков от столкновения, то логично было бы ожидать аналогичное уменьшение скорости счета событий с гелиоцентрическим расстоянием. Это не должно зависеть от диапазона размеров частиц, на которые реагируют соответствующие инструменты, поскольку независимо от размера плотность количества частиц (в м^{-3}) является уменьшающейся функцией увеличивающегося расстояния от Солнца. Более того, уменьшение интенсивности солнечного излучения согласно закону обратного квадрата расстояния будет означать, что отраженный свет от предполагаемых осколков от столкновения будет слабеть с увеличением расстояния.

Однако, этого не наблюдалось. Детектор AMD наблюдал постоянную скорость счета событий при увеличении гелиоцентрического расстояния, по крайней мере до примерно 3,5 а.е. После этого на обеих станциях Пионер не было обнаружено ни одного события, хотя приборы оставались работоспособными до прохода через радиационные пояса Юпитера примерно на 5 а.е.¹⁸. Как постоянная скорость счета событий, так и внезапное прекращение срабатываний, было, и до сих пор остается загадкой, вызывающей подозрение в ненадежности данных.

Детектор AMD не способен предоставлять временные истории, т.е. силу сигнала в зависимости от времени. Он определяет только времена входа и выхода (с микросекундной точностью), пиковую интенсивность, и полную продолжительность события. Поэтому прямое сравнение с любым сигналом Вела, ядерным или иным, очевидно невозможно. Но, несмотря на поле зрения, сравнимое с прибором Вела, детектор AMD не зарегистрировал событий длительностью более 38 мс на Пионере-10 и 63 мс на Пионере-11 (смотрите также рисунок 4). Это очевидно много меньше, примерно на порядок величины, чем для Сигнала тревоги 747, или ядерного взрыва в 1 кт, или больше, но совпадает с по крайней мере некоторыми событиями зоопарка Вела. В самом деле, сравнение гистограмм событий детектора AMD и событий зоопарка Вела как функций интенсивности и длительности на рисунках 12 и 13 отчета OJ80 (Oetzel and Johnson, Vela Meteoroid Evaluation, 1980), воспроизведенных на рисунке 4, показывает, что они в общем имеют похожие формы, что предполагает, но не доказывает, их физическую связь.

Это различие в длительности является существенным аргументом в оценке происхождения Сигнала тревоги 747. Если этот сигнал принадлежит к одной и той же популяции событий – всего 283 для детектора AMD и около сотни в зоопарке Вела – и (или) возникает в одном и том же физическом процессе, то как может его длительность быть настолько больше? В отчете OJ80 подмножество гистограммы событий AMD по длительности, а именно самых ярких событий на протяжении примерно 4-месячного полета от 1 а.е. до 2 а.е. в интервале длительностей от 1 до 38 мс, было экстраполировано в область больших длительностей. Используя зависимость от длительности в форме t^{-1} или $t^{-1.5}$, соответственно предполагаемой самими данными AMD и теоретическими предположениями, авторы отчета предположили, что детектор AMD смог бы видеть сигнал, подобный Сигналу тревоги 747, с длительностью 380 мс каждые 3-10 лет. Но экстраполяция, базирующаяся при отсутствии существующих данных на такие большие промежутки времени даже на полный набор событий с детектора AMD, а само распределение с детектора AMD сглаживается ниже 1 мс и резко падающее перед 100 мс, очевидно, не подгоняется ни к форме t^{-1} , ни к форме $t^{-1.5}$.

Интересно, что интервал в 3-10 лет из отчета OJ80 между событиями типа Сигнала тревоги 747 отражает заявление из отчета группы Руины, что "Оценки показывают, такое столкновение может обоснованно привести к наблюдаемому сигналу в течение 10 лет, или около того, когда система Вела находилась в эксплуатации". Если в самом деле группа Руины опиралась в своем заявлении на отчет OJ80, то это вводило в заблуждение в нескольких отношениях. Наиболее критично то, что оно опиралось только на полную длительность сигнала, а не на действительную форму сигнала. И, во вторых, оно предполагало сомнительную экстраполяцию для предположения эквивалентности между распределениями событий AMD и Вела.

РЕАЛЬНОСТЬ И (ИЛИ) НАДЕЖНОСТЬ СИГНАЛОВ ОДИНОЧНЫХ СОБЫТИЙ ДЕТЕКТОРА AMD НА СТАНЦИИ ПИОНЕР-10/11

На самой ранней стадии миссии стало ясно, что данные прибора AMD противоречат всем другим результатам наблюдений, которые были получены по популяции метеороидов (микрометеороидов) во внут-

ренной солнечной системе. Группа Руины не указала, что такие серьезные вопросы возникают по отношению ко всему набору данных по одиночным событиям детектора AMD, что отмечалось в нескольких статьях²⁰. Возражения, выдвинутые авторами этих статей, включали вопросы по надежности данных (и даже их реальности) и по интерпретации, опубликованной участниками эксперимента AMD. Их можно подытожить заявлениями одного из оппонентов "никакой значительной доли событий, объявленных как реальные события метеороидов между 1,0 и 3,3 а.е., фактически не связано с "космическими метеороидами", и что "возможно, между 90 и более, чем 90 процентами их объявленных 123 [на этой стадии] астероидных событий не являются реальными"²¹.

Несколько авторов задавали вопрос, обнаружил ли прибор AMD вообще что-нибудь. Хотя в конце концов придя к выводу, что детектор AMD откликнулся на реальное оптическое окружение, отчет OJ80 по событию Сигнал тревоги 747 отмечал, что лабораторные испытания показали, что электронные перекрестные помехи могут быть ответственными за частые появления почти идентичных времен запуска для всех датчиков. Аналогичное заявление было сделано в лекции по премии Койпера 2002 года, где был отмечен "высокий уровень шума в индивидуальных каналах"²². Участники эксперимента отмечали, что они применяли очень строгие испытания для исключения шума как источника их событий, но также указывали, что большинство зарегистрированных событий имели низкое отношение сигнала к шуму²³.

Исключительно трудно достичь любой определенности в отношении того, зарегистрировал ли прибор AMD реальные оптические сигналы, или только измерял шум и (или) фиктивные (созданные электроникой) события. Прибор хорошо работал в режиме зодиакального света (ZL), с чем согласны и его критики²⁴. Далее, в режиме одиночных частиц, он регистрировал сигналы от прохождения звезд через поле зрения, так же как и частицы, выброшенные самой станцией Пионер-10, например, после импульсных разворотов космического аппарата и сброса защитной крышки с другого прибора²⁵. Предположительно, эти события имели гораздо большее отношение сигнала к шуму, чем не объясненные срабатывания.

Прибор AMD был предназначен для получения орбитальной информации по прохождению траектории частицы через несколько полей зрения телескопов. Но для всех 283 событий между 1,0 и 3,5 а.е. – 232 для Пионера-10 и 51 для Пионера-11 – ни в одном случае не было возможно определить орбиту. Более того, при интегрировании для предсказания того, что наблюдалось бы как зодиакальный свет, результат был более, чем в десять раз большим, чем наблюдавшийся в режиме зодиакального света (ZL), так же как и в наблюдениях на фотополариметре с построением изображения (IPP) на борту Пионера-10 и наземных телескопах. Это было эквивалентно превышению концентрации частиц в 50-140 раз с наилучшей оценкой около 100²⁶. Примечательно, что эта величина совпадает по порядку величины с расхождением между частотой событий, наблюдавшейся на приборах MDE и AMD, упомянутой в отчете группы Руины.

Эти результаты заставили участников эксперимента AMD сначала предположить, что механизмом, вызывающим срабатывания, были зеркальные отражения от специфических структурных особенностей на межпланетных частицах, а не обычное отражение солнечного света от всей поверхности²⁷. После преобразования в размер (или массу) был сделан вывод, что прибор AMD регистрировал частицы размером от нескольких десятков микрон до примерно 10 см²⁸. Зеркальные отражения могут объяснить близкую одновременность срабатываний по крайней мере трех телескопов во многих случаях, а иногда и всех четырех, так же как и неспособность определить орбиту. Для своих сторонников они могли также объяснить другие аномалии в режиме одиночных частиц прибора AMD, такие, как несоизмеримые считывания на различных телескопах во многих событиях, и сигналов, которые пропадали под порогом обнаружения и потом снова появлялись.

Тем не менее, этому объяснению зеркальными отражениями сильно противостояла научная общественность²⁹. Существование таких частиц сталкивалось с несколькими проблемами, но основное противодействие было довольно простым и существенно основанным на том факте, что до сих пор никаких характеристик "зеркального отображения" не было найдено ни в собранных метеоритах, ни в наблюдаемых астероидах. Они должны были быть совершенно новым – и распространенным – типом метеороидных и астероидных тел. С технической точки зрения требуется, чтобы отношение максимального альбедо к среднему (наоборот, среднего к максимальному – прим. перев.) – доля отраженного излучения – равнялась примерно 0,01. Поскольку максимальное альбедо можно взять примерно равным 0,2, то это означает, что среднее альбедо должно быть примерно равно 0,002. Измерения альбедо для многих собранных метеоритов различных классов, также как и наблюдаемых астероидов, не дали результатов, меньших примерно 0,02 в диапазоне длин волн от 0,31 до 1 мкм, и обычно лежали в диапазоне от 0,05 до 0,4. С того времени снимки ядер комет с малого расстояния, например, с космического аппарата Джотто для кометы Галлея, показали, что эти объекты являются достаточно темными, хотя альбедо их поверхности все еще лежит в

диапазоне между 0,02 и 0,05³⁰. При нагреве ядер комет во время их подлета к Солнцу пыль, выбрасываемая из них в кометных струях, очевидно, характеризуется намного более высоким альбедо, что делает их комы столь яркими в видимом свете.

Другая потенциальная проблема с набором данных с прибора AMD и интерпретацией яркого блеска заключается в том, что если в самом деле была обнаружена существенная популяция таких больших частиц с размером до 10 см, то это приведет к существенной вероятности того, что они будут сталкиваться с самим космическим аппаратом. Если не Пионер-10 или 11, то один из прочих аппаратов из флота станций – например, Вояджер-1 и 2, Галилей, Улисс, Новые горизонты и многие другие – пересекали космическое пространство в области от 1 до 3,5 а.е. При относительной скорости около 15 км/с такое столкновение почти определенно было бы катастрофическим.

После Сигнала тревоги 747 с участниками эксперимента AMD вероятно обсуждали их данные, поскольку они упоминаются в отчете OJ80. На этой стадии они, похоже, они отказались от модели "яркой вспышки" и вместо этого предложили другую модель, в которой электростатические силы между космическим аппаратом и проходящими частицами заставляют последнюю разрушаться, что приводит к многократному увеличению площади рассеивающей поверхности. Однако, в течение десятилетия участники эксперимента AMD, по-видимому, отказались от модели электростатического разрушения и вместо нее предложили взрывное разрушение популяции так называемых "космоидов"³¹.

Предполагалось, что космоиды в основном состоят из летучих молекул, точнее говоря, из воды (льда), и по существу являются мелкомасштабными вариантами комет, проявляя свою похожесть как по составу, так и по предполагаемым долгопериодическим орбитальным характеристикам. Их альбедо мало, от 0,02 до 0,04, что согласуется с ядрами комет, и их нельзя будет видеть до тех пор, пока не начнутся выбросы пыли при подлете к Солнцу. Согласно авторам гипотезы, космоиды позволяют достичь согласованности данных со всех трех пылевых детекторах на станциях Пионер, а именно, приборов AMD, MDE и IPP, и, таким образом, они доминируют в популяции межпланетной пыли. Было бы преуменьшением сказать, что гипотеза космоидов была отвергнута сообществом исследователей межпланетной пыли, и потребовалось бы слишком много времени, чтобы углубляться в соответствующие аргументы за и против. Достаточно привести цитату из обзорной статьи по измерениям космической пыли по месту нахождения, в которой заявлялось: "Однако, поскольку гипотеза космоидов находится в прямом противоречии с измерениями зодиакального света и измерениями метеороидов на месте, она не будет здесь больше рассматриваться"³². Последующие заявления авторов гипотезы космоидов о том, что они могут решить ряд нерешенных проблем фундаментальной физики, таких, как форма скрытой массы (темной материи) во Вселенной, реакций синтеза в звездах и проблемы солнечных нейтрино, также встретили скептическое отношение³³.

В то время как ни одно из предлагавшихся объяснений данных AMD не было подтверждено, примечательно, что ни на каком этапе те, кто разрабатывал, строил и эксплуатировал прибор AMD, не привлекали сценарий выброса при столкновении. Это могло быть связано с тем, что во многих событиях по крайней мере два, а нередко и все четыре детектора срабатывало одновременно, что весьма маловероятно с физической точки зрения. Фактически, авторы гипотезы космоидов отмечали: "Одновременный вход во все четыре поля зрения наблюдался в 40 случаях; это невозможно, если только интенсивность объекта не превышала порог после того, как он уже находился в поле зрения"³⁴. Здесь определение "одновременности" означает в пределах 1,6 мкс. Для других 160 событий три датчика запускались в течение 3,2 мкс, что также означает нереалистичную скорость частицы на протяжении базовой линии прибора AMD примерно в 25 см.

К сожалению, любая информация по разности времени между срабатываниями бангметров на спутнике Вела 6911 для Сигнала тревоги 747 была изъята при рассекречивании отчетов. Тем не менее, можно извлечь некоторый намек из описания модели одной частицы для Сигнала тревоги 747 в отчете SSM80³⁵, в котором говорится, что перед срабатыванием бангметров частица должна достичь "точки, близкой к полю зрения обеих инструментов, не будучи обнаруженной". Это ограничение будет независимым от того, откуда произошел обнаруженный сигнал: от выброса при столкновении или от первоначальной частицы, поскольку он налагается формой, амплитудой и общей согласованностью частей первого импульса временных историй бангметров YCA и YVA (двух датчиков на борту спутника Вела 6911). Поэтому выведенное требование того, что рассеивающая частица (частицы) уже должны быть в поле зрения датчиков, прежде, чем они запускаются, является общим для данных по одиночным событиям прибора AMD и Сигнала тревоги 747. Это является важным соображением при оценке их первоначального физического происхо-

дения, которое не обязательно должно быть одинаковым (например, очевидно, что данные прибора AMD не имеют отношения к ядерным взрывам).

Сообщество исследователей межпланетной пыли рассматривает данные с прибора AMD в режиме индивидуальных частиц как ненадежные, или, возможно, более великодушно, не понятые даже до нынешних дней. Это прямо противоположно ситуации с данными ударного детектора MDE, которые составляют важную часть моделирования популяции межпланетной пыли (например, распределения по размерам, зависимости от гелиоцентрического расстояния, динамики). Попытка разрешить загадку данных прибора AMD выходит за пределы задачи данной статьи. Но окончательный вопрос состоит в том, видел ли прибор AMD то, для чего он был предназначен, а именно отражение солнечного излучения от вещества в виде частиц.

Весьма маловероятно, чтобы группа Руины не была знакома с полемикой по данным с прибора AMD. На членов группы мог повлиять отчет OJ80, который, хотя и ссылался на расхождение результатов прибора со всеми другими данными по метеороидам в солнечной системе, указывал, что возможно, что данные с прибора AMD могут быть надежными. Но в отчете OJ80 также указывалось, что "Спутники Вела наблюдали исключительно яркие события, слишком часто приписываемые тому же самому механизму, что и данные с Пионера 10" и что "мы сомневаемся в том, что все события зоопарка Вела могут быть приписаны той же самой причине, что и данные Пионера 10". Таким образом, группа Руины должна была бы по крайней мере указать в своем отчете разногласия по данным с прибора AMD, и не использовать их как свидетельство в поддержку аргументации против объяснения Сигнала тревоги 747 ядерным испытанием без соответствующего предостережения.

После станций Пионер межпланетное пространство в 1990-х годах и позже пересекали многие станции с приборами для обнаружения пыли на борту, включая миссии Улисс, Галилей, Кассини, и Новые горизонты. Было также несколько полетов к кометам, включая пролет около кометы Галлея космического аппарата Джотто в 1986 году (*а также советских космических аппаратов Вега-1 и 2 – прим. перев.*). К сожалению, ни на одном из этих аппаратов не было установлено ни одного специализированного оптического инструмента. На станциях, пролетавших рядом с кометой Галлея, были установлены приборы, способные регистрировать вспышку при гиперскоростном ударе, но ее роль заключалась только в запуске первичного масс-спектрометра прибора, и никаких данных, показывающих оптические сигнатуры, опубликовано не было (насколько это известно автору). Даже в таком случае данные с этих миссий все еще крайне важны для оценки результатов прибора AMD на Пионере и их отношения к данным со спутников Вела.

Кроме того, на околоземной орбите находится несколько платформ со специализированными детекторами для обнаружения пыли (например, GORID)³⁶, так же как и других приборов с такой возможностью. Некоторые из последних включают оптические инструменты, которые по крайней мере внешне похожи на бангметры спутников Вела. Многие из них направлены на исследование молний; они включают детектор оптических кратковременных явлений (OTD)³⁷, спутник для быстрой орбитальной записи кратковременных событий (FORTE)³⁸, и устройство для формирования изображений спрайтов и молний в верхней атмосфере (ISUAL)³⁹. В цитированных работах рассматриваются только данные по молниям, но эти приборы почти наверняка регистрировали сигналы (не объясненные) от других источников. Конечно, вслед за приборами на спутниках Вела было выведено на орбиту намного больше реальных бангметров, в особенности на спутников созвездия GPS (системы глобального позиционирования), и, может быть, на других, например на спутниках программы оборонных метеорологических спутников (DMSP)⁴⁰.

НОВЫЕ И ИМЕЮЩИЕ ОТНОШЕНИЕ НАБОРЫ ДАННЫХ С БАНГМЕТРОВ СИСТЕМЫ GPS И ДРУГИХ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТЕКТОРОВ

Вполне возможно, что сейчас существуют данные, которые можно было бы дополнительно сравнивать с записью Сигнала тревоги 747 на бангметре, и (или) с событиями зоопарка Вела. В отчетах OJ80 и SSM80 отмечалось, что наилучшим набором данных для сравнения с Сигналом тревоги 747 является сам зоопарк Вела, и высказывались сожаления о том, что количество событий недостаточно для того, чтобы выполнить строгую статистическую обработку. В отчете OJ80 был сделан вывод о том, что "единственной действительно соответствующей базой данных является та, которая была построена на данных со спутников Вела, и что какой бы ни была физическая причина каждого события, это существенное количество наблюдений содержит описание окружающей среды космического аппарата, как она наблюдалась оптическими датчиками". В отчете SSM80 предполагалось, что для подтверждения модели с одиночным объек-

том может потребоваться от 10^2 до 10^6 событий с несколькими импульсами очевидно неядерного происхождения. Можно ли увеличить размер выборки?

Зоопарк Вела, состоящий примерно из 100 событий, на середину 1980 года, когда различные организации представляли свои отчеты по Сигналу тревоги 747, был довольно редко населенной выборкой. Более того, как видно из рисунка 3, представляется, что его световые кривые формировались под действием по крайней мере двух физических механизмов, одним из которых было отражение от проходящих метеороидов, а второй, до сих пор не объясненный, возможно, был связан с результатом столкновения метеороида со спутником. После Сигнала тревоги 747 система спутников Вела функционировала еще в течение 5 лет, когда 27 сентября 1984 года был преднамеренно отключен последний все еще работающий спутник (6909)⁴¹. Так что выборка событий зоопарка Вела могла увеличиться еще на несколько десятков событий.

С тех пор, однако, на орбиту были помещены многие другие бангметры в составе различных спутниковых систем. Наиболее известной из них является флот системы глобального позиционирования (GPS)⁴². Первый спутник системы GPS был выведен на орбиту в феврале 1978 года, и с тех пор на орбите появилось около 50 таких спутников, а в ноябре 2014 года работал 31 спутник. Насколько можно судить по фотографиям, по крайней мере на одной версии системы на спутнике установлен одиночный бангметр. Это может иметь смысл, поскольку система разрабатывалась так, чтобы обладать встроенной избыточностью, такой, чтобы поля зрения от 4 до 8 спутников перекрывались. Другая система – это спутники программы поддержки обороны (DSP), в которой с 1970 года было запущено 23 спутника, 5 из которых функционировали в июле 2014 года. Оптические данные с этих спутников регулярно публикуются как световые кривые болидов, входящих в земную атмосферу⁴³.

Спутники GPS и DSP находятся на относительно высоких орбитах, около 20000 км для GPS и 36000 км (геосинхронная для) DSP. На более низких орбитах (т.е. менее 1000 км) находятся упомянутые ранее системы OTD, FORTE и ISUAL, также оборудованные оптическими детекторами, и, возможно, другие. Таким образом, за последние почти 40 лет на орбитах появились около 80 спутников, оборудованных либо бангметрами, или схожими оптическими датчиками для обнаружения переменных очень быстрых сигналов. Один источник утверждал, что частота появления необъясненных сигналов составляет около 6,76 в год на спутник⁴⁴. Предполагая время жизни платформы порядка 10 лет, общее число событий может достигать нескольких тысяч. Сейчас популяция необъясненных сигналов могла существенно вырасти до тысяч, предлагая гораздо большую выборку для надежного статистического исследования частоты таких обнаружений, их амплитуд, форм (например, количества импульсов и относительных времен) и полных длительностей.

Такое исследование могло бы сильно помочь в оценке уникальности или иных свойств Сигнала тревоги 747. Очевидный возникающий вопрос состоял в том, обладал ли любой другой сигнал после 22 сентября 1979 года характеристиками ядерного взрыва, включая время нарастания, двойной импульс, внутренне согласующиеся времена максимумов и минимумов (т.е. дающих одинаковую предполагаемую мощность), полную длительность и амплитуду. На основании опыта спутников Вела, и предполагая, что Сигнал тревоги 747 был неядерным событием и принадлежал к зоопарку Вела, можно было бы ожидать следующих 10, или более, таких сигналов (как событие 747 считалось в отчете Ru80 одним из сотни, или около того, событий из зоопарка). Насколько известно автору, никаких сообщений о подобных сигналах не поступало.

Но, как всегда, существуют предостережения. Например, учитывая различия орбит спутников Вела и всех других систем, они будут находиться в различном микрометеороидном окружении, очевидно в отношении потоков, но, возможно, и других параметров, таких, как скорость и (или) размер. Кроме того, все системы будут различаться в своей геометрической конструкции и (или) размещения оптических датчиков в отношении других структур космического аппарата. Этот также может повлиять на форму сигналов, генерируемых при столкновениях микрометеороидов.

МОГ ЛИ ВОЗДУШНЫЙ ВЗРЫВ БОЛИДА СТАТЬ ИСТОЧНИКОМ СИГНАЛА ТРЕВОГИ 747?

Качественно поначалу болид можно было бы посчитать возможным объяснением Сигнала тревоги 747, поскольку эффект его входа в атмосферу в некоторых аспектах походит на воздушный ядерный взрыв. В самом деле, его энерговыделение часто выражается в килотоннах, и, наряду с видимым и инфракрасным излучением он часто генерирует сильный инфразвуковой сигнал. Если он достаточно энергичен, и (или) один, или более, фрагментов ударит по поверхности океана, то может быть генерирован даже гидроакустический сигнал.

В феврале 1981 года в международных СМИ появились сообщения о том, что другой спутник 16 декабря 1980 года обнаружил сигнал приблизительно из той же области, которая была обозначена для Сигнала тревоги 747⁴⁵. Сигнал был обнаружен не на спутниках Вела, но сообщалось, что инфракрасная сигнатура наблюдалась на другой системе спутников. Однако, споры о том, было ли это возможным атмосферным ядерным взрывом длилось недолго, и различными агентствами был быстро достигнут консенсус о том, что причиной этой сигнатуры был метеорит, вошедший в земную атмосферу и сгоревший в ней.

Имеется несколько причин, по которым болид не может быть источником Сигнала тревоги 747. Главным возражением является форма сигнала. По наблюдениям с космических платформ, ни у одного входа болида атмосферу нет световой кривой – не говоря уже о коротком начальном импульсе – сколько-нибудь похожей на воздушный ядерный взрыв⁴⁶. Обычно они имеют длительность, превышающую одну секунду, и (или) многократные (более двух) яркие пики приблизительно одной продолжительности, и (или) существенную субструктуру внутри пика (пиков). Также, учитывая, что высвобождение энергии происходит на высоте в несколько десятков километров, так что крайне маловероятно, что его оптическая и инфракрасная сигнатуры будут искажены облаками. Возможно, что другие спутники могли наблюдать это событие, поскольку такое облачное покрытие предполагалось для объяснения отсутствия обнаружения Сигнала тревоги 747 на других платформах (в предположении, что их поле зрения перекрывалось с местоположением события).

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Burns, Joseph A., Philippe L. Lamy, and Steven Soter. "Radiation forces on small particles in the Solar System: A re-consideration." *Icarus* 232 (2014): 263-265; Dikarev, Valery, Eberhard Grun, J. Baggaley, D. Galligan, M. Landgraf, and R. Jehn. "The new ESA meteoroid model." *Advances in Space Research* 35 (2005): 1282-1289; Liou, Jer-Chyi, and Herbert A. Zook. "Evolution of interplanetary dust particles in mean motion resonances with planets." *Icarus* 128 (1997): 354-367; Jackson, A. A., and H. A. Zook. "Orbital evolution of dust particles from comets and asteroids." *Icarus* 97, (1992): 70-84; Burns, Joseph A., Philippe L. Lamy, and Steven Soter. "Radiation forces on small particles in the solar system." *Icarus* 40 (1979): 1-48.
2. Grun, Eberhard, Michael Baguhl, Hakan Svedhem, and Herbert A. Zook. "In situ measurements of cosmic dust." In *Interplanetary Dust*, eds. Grun, Eberhard, Bo AS Gustafson, Stan Dermott, and Hugo Fechtig, (Berlin: Springer-Verlag, 2001), 295-346
3. Reach, W. T., B. A. Franz, J. L. Weiland, M. G. Hauser, T. N. Kelsall, E. L. Wright, G. Rawley, S. W. Stemwedel, and W. J. Spiesman. "Observational confirmation of a circumsolar dust ring by the COBE satellite." (1995): 521-523; Dermott, Stanley F., Sumita Jayaraman, Y. L. Xu, B. A. S. Gustafson, and J. C. Liou. "A circumsolar ring of asteroidal dust in resonant lock with the Earth." *Nature* 369, (1994): 719-723; A.A. Jackson, H.A. Zook, "A solar system dust ring with the Earth as its shepherd," *Nature*, 337 (1989): 629-631.
4. Grun, Eberhard, et al., "In situ measurements of cosmic dust." (ссылка 2)
5. Grun, Eberhard, et al., "In situ measurements of cosmic dust." (ссылка 2)
6. Grun, Eberhard, et al., "In situ measurements of cosmic dust." (ссылка 2)
7. Dermott, S. F., K. Grogan, E. Holmes, and S. Kortenkamp. "Dynamical structure of the zodiacal cloud," *Formation and Evolution of Solids in Space*, (Springer Netherlands, 1999) 565-582.
8. На орбиту было выведено 6 пар спутников Вела, получивших название Vela 1A, 1B, ..., 6A, 6B, или Vela 1, 2, ..., 11, 12, иногда идентифицируемых по их номеру в каталоге Space Track. Vela 6911 поэтому может называться также как Vela 5B или Vela 10. Для оптимизации общего поля зрения спутники каждой пары выводятся в позиции антиподов. Бангметры, направленные на Землю, были установлены только на спутниках Vela 7-12, которые попарно выводились на орбиту 28 апреля 1968 года, 23 мая 1969 года и 8 апреля 1970 года.
9. Moussi, A., G. Drolshagen, J. A. M. McDonnell, J-C. Mandeville, A. T. Kearsley, and H. Ludwig. "Hypervelocity impacts on HST solar arrays and the debris and meteoroids population." *Advances in Space Research* 35 (2005): 1243-1253; McBride, Neil, Simon F. Green, and J. A. M. McDonnell. "Meteoroids and small sized debris in Low Earth Orbit and at 1 au: Results of recent modelling." *Advances in Space Research* 23 (1999): 73-82; Foschini, L., "Meteoroid impacts on spacecraft." *Meteors in the Earth's Atmosphere*. Cambridge University Press, Cambridge (2002): 249-263.
10. Rival, M., and J. C. Mandeville. "Modeling of ejecta produced upon hypervelocity impacts." *Space debris* 1 (1999): 45-57.

11. "Нормаль" – это направление под прямым углом, или, эквивалентно, перпендикулярно плоскости поверхности. Траектория под углом в 60 градусов к нормали эквивалентна траектории с углом возвышения в 30 градусов к плоскости поверхности.
12. Inter-Agency Space Debris Coordination Committee, "Characterization of Ejecta from HVI on Spacecraft Outer Surfaces," (2013): IADC-11-05, available at http://www.iadc-online.org/index.cgi?item=docs_pub; McDonnell, J. A. M., A. D. Griffiths, J. C. Zarnecki, D. J. Catling, M. A. Fowler, S. F. Green, N. McBride, E. A. Taylor, C. Lemcke, and L. Abell. "Meteoroid and debris flux and ejecta models." Contractor Report-European Space Agency (1998): available at http://space-env.esa.int/R_and_D/eureca/Sum_Rpt.pdf
13. Такой сценарий может объяснить световые кривые событий зоопарка на рисунках 3а и 3б, как предполагалось в отчете OJ80.
14. Dale S. Sappenfield, David H. Sowle, and Trella H. McCartor, "Possible Origins of Event 747 Optical Data," MRC-80-373, MRC-R-579, Mission Research Corporation, August 1980, available at nsarchive.gwu.edu/NSAEBB/NSAEBB190.
15. IADC, "Characterization of Ejecta from HVI on Spacecraft Outer Surfaces"; Schonberg, William P. "Characterizing secondary debris impact ejecta." *International journal of impact engineering* 26, (2001): 713-724; Schonberg, William P. "Characterizing the damage potential of ricochet debris due to an oblique hypervelocity impact." In *Proc. Thirtieth AIAA/ASME/ASCE/AHS/ACS Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Mobile, Alabama*. 1989.
16. Как это описано в Dale S. Sappenfield, David H. Sowle, and Trella H. McCartor, Possible Origins of Event 747 Optical Data, MRC-80-373, MRC-R-579, Mission Research Corporation, August 1980, available at nsarchive.gwu.edu/NSAEBB/NSAEBB190.
17. Landgraf, M., J-C. Liou, H. A. Zook, and E. Grun. "Origins of solar system dust beyond Jupiter." *The Astronomical Journal* 123 (2002): 2857; Humes, "Results of Pioneer 10 and 11 meteoroid experiments"; Humes, D. H., J. M. Alvarez, W. H. Kinard, and R. L. O'neal. "Pioneer 11 meteoroid detection experiment: preliminary results." *Science* 188 (1975): 473-474; Humes et al., "The interplanetary and near- Jupiter meteoroid environments."; Kinard, W. H., R. L. O'neal, J. M. Alvarez, and D. H. Humes. "Interplanetary and near-Jupiter meteoroid environments-Preliminary results from the meteoroid detection experiment." (1974): *Science* 183 (1974): 321-322; Soberman, R. K., S. L. Neste, and K. Lichtenfeld. "Particle Concentration in the Asteroid Belt from Pioneer 10," *Science* 183 (1974): 320-321; R. K. Soberman, S. L. Neste, and K. Lichtenfeld, "Optical measurement of interplanetary particulates from Pioneer 10," *Journal of Geophysical Research*, 79 (1974): 3685-3694
18. Dubin, Maurice, and R. K. Soberman. "Cosmoids: Solution to the Pioneer 10 and 11 meteoroid measurement enigma." *Planetary and space science* 39 (1991): 1573-1590; Soberman et al., "Optical measurement of interplanetary particulates from Pioneer 10." (ссылка 17)
19. Dubin & Soberman, "Cosmoids: Solution to the Pioneer 10 and 11 meteoroid measurement enigma." (ссылка 18)
20. Auer, Siegfried. "Comment on the composition of Soberman particulates in the asteroid belt." *Journal of Geophysical Research* 81 (1976): 3477-3478; Auer, Siegfried., "The asteroid Belt: Doubts about the Particle Concentration Measured with the Asteroid/Meteoroid Detector on Pioneer 10," *Science* 186 (1974): 650-652; Auer, S., and TG Northrop. "Critique of Pioneer-10 Sisyphus Asteroid/Meteoroid Results." In *Transactions of the American Geophysical Union*, (1973): 54, 1194-1194.
21. Auer, "The asteroid Belt: Doubts about the Particle Concentration Measured with the Asteroid/Meteoroid Detector on Pioneer 10" (ссылка 20)
22. Grun, Eberhard, Ralf Srama, Harald Kruger, Sascha Kempf, Valeri Dikarev, Stefan Helfert, and Georg Moragas-Klostermeyer. "2002 Kuiper prize lecture: dust astronomy." *Icarus* 174 (2005): 1-14.
23. Soberman et al., "Optical measurement of interplanetary particulates from Pioneer 10." (ссылка 17)
24. Auer, "The asteroid Belt: Doubts about the Particle Concentration Measured with the Asteroid/Meteoroid Detector on Pioneer 10" (ссылка 20)
25. Dubin & Soberman. "Cosmoids: Solution to the Pioneer 10 and 11 meteoroid measurement enigma." (ссылка 18); Soberman et al., "Optical measurement of interplanetary particulates from Pioneer 10." (ссылка 17)
26. Auer, "Comment on the composition of Soberman particulates in the asteroid belt." (ссылка 20)
27. Soberman, R.K., "Reply" to 'Comment on the composition of Soberman particulates in the asteroid belt' by Auer, *Journal of Geophysical Research* 81, (1976): 3479-3480; Soberman, R. K., S. L. Neste, and K. Lichtenfeld, *Science* 186 (1974): 652, in reply to Auer, "The asteroid Belt: Doubts about the Particle Concentration Measured with the Asteroid/Meteoroid Detector on Pioneer 10" (ссылка 20)

28. Soberman et al., "Optical measurement of interplanetary particulates from Pioneer 10." (ссылка 17); Soberman et al., "Particle Concentration in the Asteroid Belt from Pioneer 10" (ссылка 17)
29. Auer, "Comment on the composition of Soberman particulates in the asteroid belt." (ссылка 20)
30. John C. Brandt, "Physics and Chemistry of Comets" in *Encyclopedia of the Solar System*, eds. T. Spohn, T. V. Johnson, & D. Breuer (Amsterdam, Netherlands: Elsevier 2014), 683-703.
31. Dubin & Soberman. "Cosmoids: Solution to the Pioneer 10 and 11 meteoroid measurement enigma." (ссылка 18)
32. Grun, Eberhard, et al., "In situ measurements of cosmic dust." (ссылка 2)
33. Soberman, Robert K., and Maurice Dubin. "The Universal Dark Matter." *arXiv preprint astro-ph/0609500* (2006); Soberman, Robert K., and Maurice Dubin. "Can Deuterium Formation Be Measured?." *arXiv preprint astro-ph/0206317* (2002); Soberman, Robert K., and Maurice Dubin. "Dark matter is baryons." *arXiv preprint astro-ph/0107550* (2001); Dubin, Maurice, and Robert K. Soberman. "Revised Anatomy of Stars." *arXiv preprint astro-ph/9704275* (1997); Dubin, Maurice, and Robert K. Soberman. "Resolution of the solar neutrino anomaly." *arXiv preprint astro-ph/9604074* (1996).
34. Dubin & Soberman. "Cosmoids: Solution to the Pioneer 10 and 11 meteoroid measurement enigma." (ссылка 18)
35. Sappenfield et al., "Possible Origins of Event 747 Optical Data" (ссылка 14)
36. Drolshagen, G., H. Svedhem, E. Grun, O. Grafodatsky, and U. Prokopiev. "Microparticles in the geostationary orbit (GORID experiment)." *Advances in Space Research* 23 (1999): 123-133.
37. Koshak, W. J. "Optical characteristics of OTD flashes and the implications for flash-type discrimination." *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 27 (2010): 1822-1838; Boccippio, D. J., W. Koshak, R. Blakeslee, K. Driscoll, D. Mach, D. Buechler, W. Boeck, H. J. Christian, and S. J. Goodman. "The Optical Transient Detector (OTD): Instrument characteristics and cross-sensor validation." *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 17 (2000): 441-458.
38. Davis, S. M., D. M. Suszcynsky, and T. E. L. Light. "FORTE observations of optical emissions from lightning: Optical properties and discrimination capability." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 107 (2002); Kirkland, M., D. Suszcynsky, J. Guillen, and J. Green. "Optical observations of terrestrial lightning by the FORTE satellite photodiode detector." *Journal of Geophysical Research. D. Atmospheres* 106 (2001): 33.
39. Offroy, Marc, Thomas Farges, Cheng Ling Kuo, Alfred Bing-Chih Chen, Rue-Ron Hsu, Han-Tzong Su, Yukihiro Takahashi, Stephen B. Mende, and Harald U. Frey. "Temporal and radiometric statistics on lightning flashes observed from space with the ISUAL spectrophotometer." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 120 (2015): 7586-7598.
40. Bankert, Richard L., Jeremy E. Solbrig, Thomas F. Lee, and Steven D. Miller. "Automated lightning flash detection in nighttime visible satellite data." *Weather and Forecasting* 26 (2011): 399-408.
41. London III, John R., "VELA: A space system success story," *Acta Astronautica*, 29 (1993): 723-734
42. Aaron J. Bell, "Analysis of GPS satellite allocation for the United States nuclear detonation detection system (USNDS)," Masters thesis, Air Force Institute of Technology, 2002, AFIT/GOR/ENS/02-03; Department of Energy, Los Alamos National Laboratory, Paul R. Higbie & Norman K. Blocker, "The Nuclear Detonation Detection System on the GPS Satellites," 1993, LA-UR-93-2834;
43. Ceplecha, Z., C. Jacobs, and C. Zaffery. "Correlation of Ground- and Space-based Bolides." *Annals of the New York Academy of Sciences* 822 (1997): 145-154; Nemtchinov, I. V., V. V. Svetsov, I. B. Kosarev, O. P. Popova, V. V. Shuvalov, R. E. Spalding, C. Jacobs, and E. Tagliaferri. "Assessment of kinetic energy of meteoroids detected by satellite-based light sensors." *Icarus* 130 (1997): 259-274; Nemtchinov, I. V., C. Jacobs, and E. Tagliaferri. "Analysis of satellite observations of large meteoroid impacts." *Annals of the New York Academy of Sciences* 822 (1997): 303-317; McCord, Thomas B., John Morris, David Persing, Edward Tagliaferri, Cliff Jacobs, Richard Spalding, LouAnn Grady, and Ronald Schmidt. "Detection of a meteoroid entry into the Earth's atmosphere on 1 February 1994." *Journal of Geophysical Research: Planets* 100 (1995): 3245-3249.
44. David F. Medina, Patrick J. Serna, and Firooz A. Allahdadi, "Reconstruction of a hypervelocity impact event in space," "SPIE's 1996 International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation," International Society for Optics and Photonics, 1996, 137-147.
45. Or Rabinowitz, *Bargaining on nuclear tests: Washington and its Cold War deals*. Oxford University Press, 2014; Beri, H. M. L. "South Africa and the Bomb." *Strategic Analysis* 4, no. 12 (1981): 581-587; Thomas O'Toole, "US denies detecting A-blast: Flash may have been meteorite," *Washington Post*, 19 February 1981

46. Brown, P., D. Pack, W. N. Edwards, D. O. ReVelle, B. B. Yoo, R. E. Spalding, and E. Tagliaferri. "The orbit, atmospheric dynamics, and initial mass of the Park Forest meteorite." *Meteoritics & Planetary Science* 39 (2004): 1781-1796; Brown, Peter G., Douglas O. ReVelle, Edward Tagliaferri, and Alan R. Hildebrand. "An entry model for the Tagish Lake fireball using seismic, satellite and infrasound records." *Meteoritics & Planetary Science* 37 (2002): 661-675; Pedersen, H., R. E. Spalding, E. Tagliaferri, Z. Ceplecha, T. Risbo, and H. Haack. "Greenland superbolide event of 1997 December 9." *Meteoritics & Planetary Science* 36 (2001): 549-558; Ceplecha et al., "Correlation of Ground- and Space- based Bolides"; Nemtchinov et al., "Analysis of satellite observations of large meteoroid impacts"; Brown, Peter, Alan R. Hildebrand, Daniel WE Green, Denis Page, Cliff Jacobs, Doug ReVelle, Edward Tagliaferri, John Wacker, and Bob Wetmiller. "The fall of the St-Robert meteorite." *Meteoritics & Planetary Science* 31 (1996): 502-517; McCord et al., "Detection of a meteoroid entry into the Earth's atmosphere on February 1, 1994; Tagliaferri, E., R. Spalding, C. Jacobs, and Z. Ceplecha. "Analysis of the Marshall Islands fireball of February 1, 1994." *Earth, Moon, and Planets* 68 (1995): 563-572.