

## Можно ли объяснить некоторые вспышки гамма-излучения в атмосфере Земли шаровыми молниями?

Электрические явления в атмосфере Земли, несмотря на столетия исследований, во многом остаются плохо изученными. Шаровые молнии — наверное, одна из самых больших загадок, начиная с самого факта их существования. Они редко наблюдаются, еще не были воспроизведены в лаборатории, поэтому применительно к параметрам, отличным от времени существования, размера, цвета и яркости, пока можно говорить только об исследованиях по косвенным свидетельствам. Ученые предлагают модели, которые затем проверяются на согласие с наблюдательными данными. С другой стороны, какое-то явление может находить объяснение с помощью предложенной теории.

Так, в частности, **Михаил Шматов**, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник сектора теории твёрдого тела ФТИ им. А.Ф. Иоффе, разработал модель, согласно которой основная часть (ядро) шаровой молнии — это скопление почти полностью ионизованных ионов и электронов, которые колеблются относительно друг друга. Это скопление окружено слоем нагретого воздуха, который изолирует ядро шаровой молнии от окружающей среды, фактически, остального воздуха.

Важно, что в этой модели электроны могут излучать электромагнитное излучение в рентгеновском и гамма-диапазонах, а сама шаровая молния, таким образом, является источником жёсткой радиации и в некоторых случаях представляет опасность даже для тех, кто находится довольно далеко от неё, а также электронного и электрического оборудования, прежде всего — самолетов.

Проверить эту модель можно на базе исследований вспышек рентгеновского и гамма-излучения в земной атмосфере, их длительности и спектральных параметров. Такого рода исследования ведутся на Земле, в воздухе и из космоса, но из обилия экспериментальных данных (а источниками рентгеновского и гамма-излучения, могут быть и обычные молнии) надо вычленить только те, что могут иметь отношение к шаровым молниям.

Предметом статьи Михаила Шматова, опубликованной в апрельском выпуске журнала *Physical Review E*, стала вспышка, зарегистрированная в эксперименте GROWTH (Gamma-Ray Observation of Winter Thunderclouds, «Наблюдение зимних грозовых облаков в гамма-диапазоне») на атомной электростанции Кашивазаки-Карива в префектуре Ниигата, Япония, 13 января 2012 года.

«Географическая особенность Японии состоит в том, что это сравнительно узкая полоска земли в море. Здесь очень много гроз зимой, при этом грозовые облака ходят на малых высотах, например, их нижняя кромка может быть на высоте около 500 м, — рассказывает Михаил Шматов. — На атомных электростанциях Японии установлены детекторы излучения для мониторинга окружающей радиации, и эти детекторы начали регистрировать не только обычный фон, но и излучение от грозовых облаков. Малая высота облаков позволяет испущенному в них гамма-излучению дойти до размещенных на станциях детекторов».

«Технологические» детекторы, оптимизированные для анализа проблем радиационной безопасности атомных электростанций, давали и дают очень интересную информацию, но не измеряют все параметры, интересные исследователям. В отличие от них, GROWTH — научный эксперимент. 13 января 2012 года с помощью его детектора была зарегистрирована вспышка гамма-излучения длительностью менее 300 миллисекунд. Примерно в это же время на расстоянии по горизонтали около 150–450 м от детектора внутри облаков произошёл грозовой разряд. Но интересно, что за короткой вспышкой последовало продолжительное «свечение» в гамма-диапазоне длительностью около минуты. Энергия гамма-фотонов этого «свечения» достигала 6,5–10 мегаэлектронвольт. Это, по словам Михаила Шматова, и составляет проблему.

«Есть наблюдательные данные и теории, согласно которым некоторые грозовые разряды генерируют короткий импульс высокоэнергичного гамма-излучения. Оно рассеивается и поглощается, рождая, в частности, так называемые бета-плюс-активные изотопы элементов, входящих в состав воздуха и, например, бетона (ведь детекторы установлены на бетонных конструкциях). Эти изотопы, в свою очередь, испускают позитроны, которые аннигилируют с электронами и рожают излучение с энергией 0,511 МэВ. Из-за некоторых особенностей детекторов его можно принять за излучение с большей энергией, а длительность, которую определяет распад изотопов, может достигать нескольких минут. Но длительное «свечение» с энергией гораздо больше 0,6 МэВ — которое и наблюдалось 13 января 2012, формированием таких бета-плюс-активных изотопов не объясняется».

Модель шаровой молнии, которую разработал Михаил Шматов, предполагает, что и ионы, и электроны в её ядре колеблются в радиальных направлениях (плазменные облака с похожими колебаниями электронов известны, они возникали, например, при ядерных взрывах в атмосфере). Концентрация ядер и электронов внутри шаровой молнии невелика относительно окружающей среды, но зато частицы обладают большой энергией. Если в воздух быстро вбрасывается положительный заряд (это может произойти в результате обыкновенного грозового разряда), воздух ионизируется, часть электронов и ионов покидает область, которая становится ядром шаровой молнии, а оставшиеся начинают интенсивно колебаться. После формирования шаровой молнии электроны теряют энергию в основном за счет испускания фотонов при рассеивании на положительно заряженных ядрах. Это продолжается довольно долго — отсюда длительное излучение, которое могут зарегистрировать детекторы.

Впрочем, многое зависит от условий — от того, где находится детектор относительно предполагаемой шаровой молнии и какой слой воздуха их разделяет, ведь гамма-излучение рассеивается и поглощается атмосферой. Возможно, случай 13 января 2012 года был редким событием, когда гамма-излучение шаровой молнии удалось зарегистрировать напрямую.

Автор исследования подчёркивает, что эксперимент GROWTH ещё не доказал радиационной опасности шаровых молний и даже того, что зарегистрированное им гамма-излучение было испущено шаровой молнией — ни целенаправленного поиска, ни случайного обнаружения видимого света шаровой молнии при этом не было. Кроме того, существуют и другие модели длительной генерации потоков гамма-излучения с

максимальной энергией фотона свыше 0,6 МэВ. Но предложенная модель хорошо объясняет продолжительность и некоторые спектральные характеристики потока излучения вспышки 13 января 2012 г. Удалось оценить и радиус предполагаемой шаровой молнии — 10–12 см, и расстояние от детектора — приблизительно 2–2,2 км, соответствующие этим характеристикам.

«Таким образом, если зарегистрированное в эксперименте GROWTH излучение действительно рождено шаровой молнией, то подтверждается предположение о том, что они могут представлять радиационную опасность — если находиться к ним достаточно близко».

Для дальнейшей работы нужны бóльшая статистика и наблюдения в других диапазонах, прежде всего, в видимом.

*Пресс-релиз подготовила Ольга Закутняя*

M.L. Shmatov, “Possible detection of high-energy photons from ball lightning”, Phys. Rev. E 99, 043203 (2019) <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.99.043203>