

Муниципальное общеобразовательное бюджетное учреждение
«Средняя общеобразовательная школа №14»
имени А.М. Мамонова

Загадки
шаровой молнии
научно - исследовательский проект

Выполнили:
учащиеся 10 класса «Б»

Руководитель:
учитель физики
Попова Л.Л.

Старый Оскол 2011

Содержание.

Введение.....	3
1. Линейная молния.....	5
2. История исследования	7
3. Свойства шаровой молнии.....	9
4. Возникновение шаровой молнии.....	12
5. Природа шаровой молнии.....	16
5.1. Гипотеза, предполагающая внешний источник энергии молнии.....	17
5.2. Гипотеза, предполагающая, что молния состоит из воздуха, обогащенного озоном.....	18
5.3. Кластерная гипотеза.....	19
6. Загадки шаровой молнии больше не существует.....	23
Заключение.....	26
Список литературы.....	28

Введение.

«Порой в великой книге тайн природы

Мне удаётся кое – что прочесть...»

В.Шекспир

Вот шаровая молния гоняется за обезумевшим от страха человеком, играя с ним, как кошка с мышью. Вот появляется шаровая молния диаметром в пять, десять, нет, даже в двадцать метров. Вот шаровая молния, взрываясь, разрушает дом, стоявший в пятидесяти метрах от нее, другая прорывает громадный тоннель в почве, третья испаряет воду из бочки. Вот письмо, в котором человек утверждает, что после того, как около него прошла шаровая молния, у него выпали волосы, зубы и появились признаки лучевой болезни. Из другого письма выясняется, что шаровая молния регулярно появляется над могилами на кладбище. Давайте остановимся, хотя эти истории далеко не исчерпаны. Это не шаровая молния. Это - миф о ней. Сказка - ложь, да в ней намек. Тонкая материя истинных фактов, пропитанная туманом таинственности, требует осторожного обращения. И часто очевидные на первый взгляд научные объяснения оказываются здесь ложными. Поэтому, прежде всего, надо точно установить сами факты.

И.П. Стаханов «Физик, который знал о шаровой молнии больше всех», «ЗС»-online, №4/98

Шаровая молния относится к числу достаточно редких, но стабильно наблюдаемых природных явлений. До сих пор это явление оставалось одним из наиболее загадочных. Число специалистов (и энтузиастов), потративших на ее изучение годы, не поддается никакому учету. Однако в сентябре 2003 года эта загадка наконец-то была разгадана.

Оказалось, что в основе этого грозного природного явления лежит относительно малоизученный слабый процесс - так называемый - распад в связанное состояние, представляющий собой обращенную реакцию электронного захвата. Этот процесс имеет исключительно важное значение для физики и астрофизики, но на сегодняшний день недостаточно подробно описан в научной литературе, несмотря на то, что был открыт более 50 лет тому назад.

Самое странное в этой истории то, что шаровая молния (ШМ) образуется в атмосфере как следствие нескольких достаточно хорошо изученных физических процессов. Даже удивительно, как мимо очевидных вещей проскакивали многие специалисты, бравшиеся за решение проблемы.

Итак, попробуем восстановить картину явления, опираясь на надежно установленные наблюдательные и экспериментальные данные, и не отбрасывая перечисленные в эпиграфе «странные» наблюдения.

1. Линейная молния.

Разряд обычной (линейной) молнии (рис. 1) длится около 0,1 – 0,2 с и состоит из нескольких импульсов. Импульсы отделены друг от друга короткими промежутками времени (около 50 мс), в течение которых канал молнии не несет тока.

Первый импульс начинается с так называемого ступенчатого лидера – процесса образования плазменного канала между облаком и землей (или между двумя облаками). Этот процесс занимает около 10-20 мс; обычно



Рис. 1. Разряд линейной молнии.

он начинается из облака и распространяется к земле. После того как канал сформировался, по нему начинает течь ток (возвратный удар), сила тока достигает 10-20 тысяч ампер. Длительность возвратного удара очень невелика (менее 0,1 мс), после чего ток прекращается, и образовавшийся канал начинает распадаться. Температура его убывает с 20-30 тысяч до нескольких тысяч градусов, соответственно уменьшается и степень ионизации.

Второй импульс начинается с восстановлением канала. Этот процесс, называемый стреловидным лидером, занимает значительно меньше времени, чем первый (ступенчатый) лидерный процесс (около 1-2 мс). Затем следует новый возвратный удар и снова период покоя. Это повторяется несколько раз (в среднем 3-4 раза), после чего разряд прекращается.

Разность потенциалов между облаком и землей может достигать сотен миллионов вольт, а длина канала линейной молнии – нескольких километров. В каждом импульсе переносится заряд 3-4 Кл, так что общий заряд, переносимый в одном заряде, составляет в среднем 10-20 Кл. Энергия, рассеиваемая разрядом молнии, равна нескольким миллиардам джоулей, а в

каждом импульсе рассеивается около $5 \cdot 10$ Дж. Поскольку длительность возвратного удара мала, то выделяемая в нем мощность достигает гигантских значений 10-10 кВт.

Напряженность электрического поля у поверхности земли в обычном состоянии равна приблизительно 100В/м , а во время грозы может достигать до 10В/м . Напряженность электрических полей в облаках может быть и больше, но она не превышает $3 \cdot 10\text{В/м}$, так как при этом значении происходит пробой (эта цифра относится к сухому воздуху при атмосферном давлении). Пробой обычно начинается со стороны облака и распространяется к земле. Видимый диаметр канала лидера примерно 1 м, но основная часть тока в период возвратного удара протекает по более узкому каналу диаметром около 1 см.

2. История исследования

О шаровой молнии мало что известно. Многие сомневаются даже в самом существовании этого явления. Была выдвинута гипотеза, согласно которой шаровая молния представляет собой пятно в нашем поле зрения, возникающее от поражения сетчатки глаза световой вспышкой разряда обычной молнии. Правда, шаровую молнию видели и без близкого разряда линейной молнии, и, кроме того, нередко ее одновременно наблюдали и описывали несколько человек. К сожалению, имеется очень мало фотографий шаровой молнии, подлинность которых нельзя считать твердо установленной.

Главной и пока единственным источником сведений о шаровой молнии являются наблюдения очевидцев. За последние несколько столетий были письменно зарегистрировано свыше 1000 случаев наблюдения шаровой молнии. Однако достоверность большей части этих свидетельств очень трудно оценить. В частности, описания шаровой молнии, дошедшие до нас из пошлых столетий, очень легко спутать с метеорами, не говоря уже об огнях святого Эльма или коронном разряде. В результате немецкий ученый Бранд, составивший в 1923г. Наиболее полный в то время обзор сведений о шаровой молнии, отобрал из имевшихся в его распоряжении 60 сообщений всего 200, полученных главным образом за последний 100 лет.

Однако ещё в первой половине прошлого века французский физик Араго при исследовании данного вопроса использовал то, что сейчас мы назвали бы методом статистического опроса. Он собрал сведения о 30 случаях наблюдения шаровой молнии его современниками. Впоследствии ученые не раз обращались к подобному методу, но особенно широкое применение он получил за последние 20 лет. Так в начале 60-х годов среди сотрудников одной из лаборатории ядерных исследований (США) была распространена анкета, включавшая в себя 14 вопросов о шаровой молнии. В результате были получены описания около 500 случаев наблюдения этого явления. Позднее, в 1962г. В одном из космических исследовательских центров

(США) также был произведен опрос, который дал весьма полное описание еще около 100 случаев.

Журнал «Наука и жизнь» (1975, №12) обратился к своим читателям, видевшим шаровую молнию, ответить на вопросы анкеты, опубликованной в этом журнале. В течение 1976г. Журнал получил свыше тысячи описаний наблюдений шаровой молнии на территории Советского Союза, а к 1979г. это число выросло до 1500. В результате этих опросов объем сведений о шаровой молнии за последние два десятилетия увеличился во много раз. Значительно возросла также и достоверность сведений.

3. Свойства шаровой молнии.

Шаровая молния представляет собой светящееся шаровидное образование, диаметр которого заключается в пределах от нескольких сантиметров до метров. На рисунке 2 приведено распределение размеров шаровой молнии, составленное по письмам в журнал «Наука и жизнь». Наиболее часто встречаются молнии диаметром от 10 до 30 см. Среднее время жизни молнии, вычисленное из длительности ее наблюдения, составляет около 10с. При этом заметный процент молнии (около 10-20%) существуют в течение минуты и более, однако подавляющая часть их исчезает за первые несколько секунд.

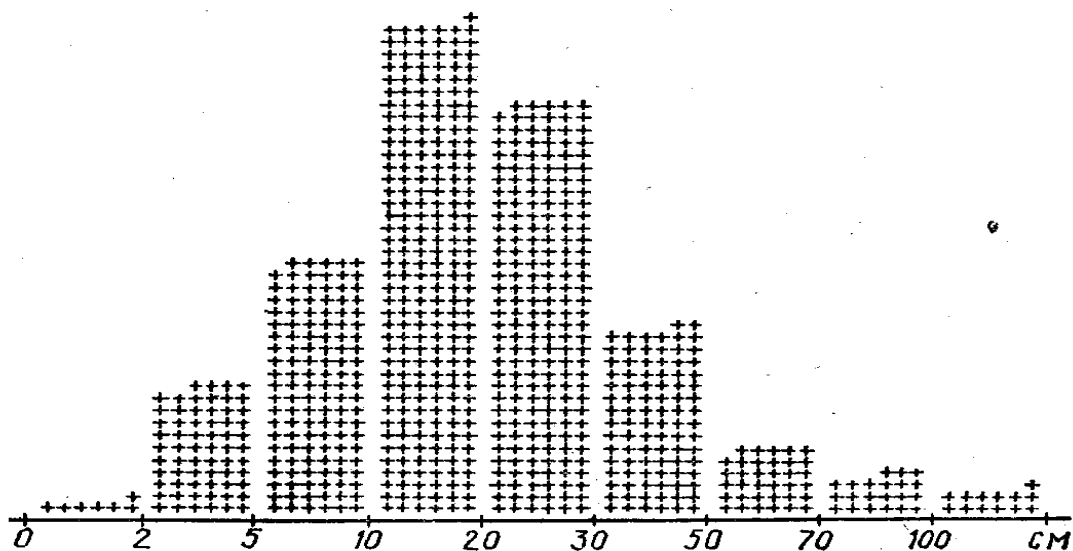


Рис. 2. Наблюдаемые размеры шаровой молнии.

Приблизительно в 50% случаев шаровая молния взрывается, причиняя иногда ущерб. В остальных случаях она либо распадается, выбрасывая куски вещества, похожие на искры, либо тихо гаснет. На месте исчезновения обычно не остается никакого следа кроме, может быть, легкого тумана.

По последствиям взрыва можно составить представление об энергии, запасенной в молнии. В некоторых случаях она может расщепить деревянный столб, развалить отверстие в фанерной перегородке. Чаще дело ограничивается повреждениями мелких предметов. Исходя из этих данных, можно заключить, что значение энергии шаровой молнии должно составлять от нескольких тысяч до десятков тысяч джоулей, т.е. в каждом кубическом

сантиметре объема молнии должна заключаться энергия в нескольких джоулей.

Движения шаровой молнии разнообразны и мало проходят на падение предмета под действием силы тяжести. Шаровая молния обычно либо парит в воздухе, либо движется горизонтально. Скорость движения шаровой молнии невелика, обычно она порядка 1 м/с. Таким образом, следует ожидать, что плотность шаровой молнии примерно равна плотности окружающего воздуха или несколько превосходит её. Вследствие этого в движении шаровой молнии значительную роль должны играть слабые перемещения воздуха у поверхности земли и в помещениях. Кроме того, шаровая молния явно реагирует на окружающие предметы, либо обходя их, либо притягиваясь к ним. Это указывает на то, что молния, по-видимому, несет, электрический заряд и, следовательно, движется также под действием электрического поля.

Движение в горизонтальном направлении обусловлено, видимо, равновесием силы тяжести, архимедовой силы и электростатических сил электрического поля у поверхности земли. Электростатические силы должны играть существенную роль и в проникновении молнии в помещения через узкие отверстия, о чем довольно часто сообщают очевидцы.

Одно из самых удивительных свойств шаровой молнии – её свечение. Интенсивность света, испускаемого шаровой молнией обычно не велика. Современные наблюдатели сравнивают её со светом 50-100-ваттной лампы. Её цвета охватывают весь спектр, но особенно часто встречается красный, оранжевый и желтый. Часто называют и белый цвет.

Средняя температура шаровой молнии, по-видимому, невелика. Это предположение подтверждается прямыми наблюдениями за тепловым эффектом молнии. В опросе, проведенном журналом «Наука и жизнь», зарегистрирован 141 случай, в которых шаровая молнии наблюдалась с расстояния меньше 1 метр. Из них только в 11 случаях наблюдавшие ощущали тепло. С другой стороны, при непосредственном контакте с

предметом молния может произвести ожог, испарить воду, поджечь горючие вещества. Это означает, что температура её все же превосходит температуру окружающей среды, вероятно, на величину порядка нескольких сотен градусов (около 200-300 градусов).

При прямом контакте с человеческим телом или одеждой шаровая молния причиняет ожоги, которые, вероятно, вызываются либо химическим действием её вещества, либо ультрафиолетовым излучением.

4. Возникновение шаровой молнии.

Вопрос о происхождении шаровой молнии остается одним из самых неясных. В настоящее время нельзя даже с уверенностью сказать, является ли шаровая молния редким или обычным явлением, возникающим практически при каждом разряде линейной молнии. Широкое распространенное мнение, что шаровая молния – редкое явление, которое на первый взгляд убедительно подтверждается малой частотой её наблюдения, критикуется Рейлом – автором отчета об одном из опросов, проведенных в США. Дело в том что, из-за малой яркости шаровую молнию можно заметить лишь на сравнительно небольших расстояниях. Вероятно, мы редко наблюдаем шаровую молнию только потому, что чаще оказываемся на таком расстоянии от неё, на котором её нельзя заметить. На этом основании Райл высказывает гипотезу о том, что частота появления шаровой молнии может быть сравнима с частотой ударов обычной шаровой молнии. В частности, возможно, что шаровая молния возникает при каждом ударе линейной молнии. В настоящее время ученые не могут подтвердить или опровергнуть эту гипотезу.

Бесспорно, что шаровая молния как-то связана с грозовой активностью. Более 90% случаев наблюдения шаровой молнии приходится на периоды гроз (рис. 3). В 70% случаев шаровая молния появляется во время грозы или вслед за ней. Правда, около 10% случаев наблюдения шаровой молнии приходится на ясную погоду и приблизительно столько же на не грозовое время год. Однако известно, что и обычная линейная молния наблюдается зимой или при безоблачном небе.

Очень часто появление шаровой молнии происходит вслед за разрядом обычной молнии. Конечно, нельзя с уверенностью заключить, что она возникает из канала этой молнии.

Следует заметить, что размеры шаровой молнии определенно указывают на то, что она едва ли может возникнуть непосредственно в самом

токонесущем канале линейной молнии. По современным представлениям, последний имеет диаметр около 1 см или даже меньше, в то время как

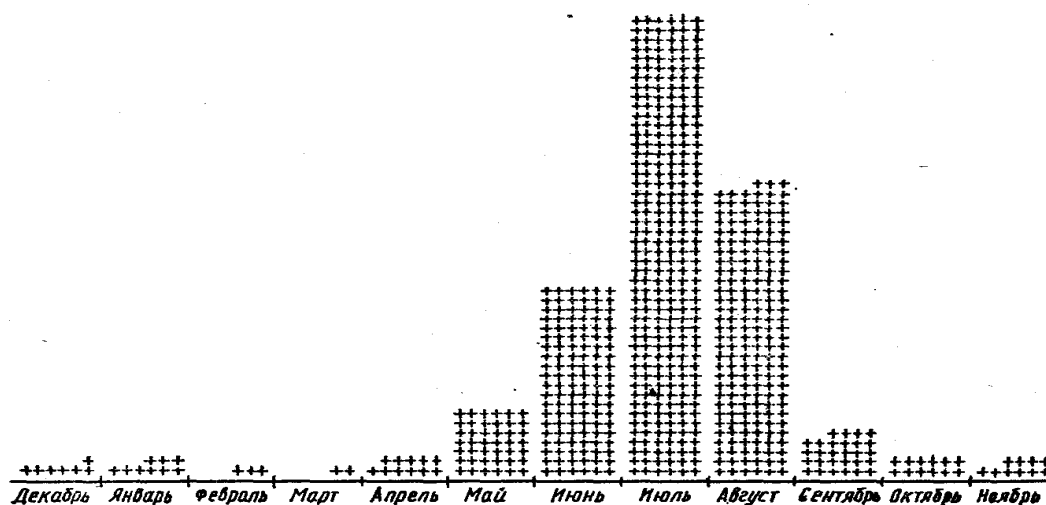


Рис. 3. Наблюдения шаровой молнии в различные месяцы года.

средний диаметр шаровой молнии около 20 см. Если бы шаровая молния образовалась бы в канале линейной молнии, то следовало бы ожидать появления значительно большего числа шаровых молний малого диаметра (около 1 см), чем их в действительности имеется. На самом деле, молнии такого диаметра почти не встречаются. Имеются и другие соображения, свидетельствующие против этого мнения. По-видимому, шаровая молния возникает в короне разряда линейной молнии. Как известно, вокруг проводника, заряженного до высокого потенциала, образуется так называемый коронный разряд, приводящий к утечке зарядов с проводника. Такой разряд можно иногда наблюдать около линий высоко напряжения. Токонесущий канал обычной молнии также окружен короной, диаметр которого оказывается около 1 м. Именно в этой короне и образуется, вероятно, шаровая молния.

К числу особенно удивительных свойств шаровой молнии следует отнести ее устойчивость и упорное стремление принять сферическую форму. Действительно, имеется много наблюдений, подтверждающих, что шаровая молния может проникать в помещения через небольшие отверстия, даже

через щели, после чего она вновь восстанавливает свой обычный вид. Кроме того, шаровая молния иногда распадается на несколько частей, и каждая принимает форму шара. Если шаровая молния представляет собой газообразную среду, то она должна быть при движении в окружающем



Рис. 4. Шаровая молния в помещении.

воздухе быстро деформироваться и распасться. Между тем молния может двигаться со скоростью несколько метров в секунду в течение длительного времени и проходить большие расстояния, не теряя своей формы.

Поверхность молнии часто бывает похожа на поверхность кипящей жидкости. Она волнуется, с нее срываются маленькие движущиеся капли вещества молнии. При распаде шаровой молнии такие капли могут пролетать значительное расстояние (до 1 м и более); они подобно каплям жидкости принимают сферическую форму.

В настоящее время имеется три пути для объяснения этой странной устойчивости. Один из них связан с предложением о том, что шаровая молния представляет собой сгусток плазмы, помещенной в сильное магнитное поле, которое удерживает её в ограниченном объеме. Как известно, магнитное поле может оказывать давление на плазму и удерживать её. На этом основаны различные методы удержания плазмы, применяемые при попытках осуществить управляемую термоядерную реакцию. Однако известная нам плазма может существовать только при очень высоких температурах – десятки или сотни тысяч градусов. При более низких температурах отрицательные и положительные частицы соединяются друг с другом и плазма превращается в обычный нагретый газ, состоящий из нейтральных молекул. Кроме высоких температур, необходимых для того, чтобы плазма не рекомбинировала, эта гипотеза требует ещё, чтобы сила тока, создающего магнитные поля, давления которых сравнимы с

атмосферным давлением, была очень большой. Такие токи должны были бы быстро исчезнуть вследствие сопротивления среды и поглощения энергии, заключенной в молнии.

Другой значительно более естественный путь состоит в использовании закона сохранения вихревого движения, открытого Гельмгольцем во второй половине прошлого столетия. Широко известным примером действия этого закона является устойчивость вихревых колец дыма, которые могут сохраняться, походя в воздухе значительные расстояния. С этой точки зрения шаровая молния должна представлять собой вихревое кольцо движущегося воздуха или какого-либо другого газа, которое постепенно теряет устойчивость из-за поглощения вихря вследствие вязкости. Правда, по данным опроса, только 30% наблюдателей утверждают, что они заметили вращательное движение вещества молнии, и лишь несколько наблюдателей из 1000 заявили, что молния имеет кольцеобразную форму, а шарообразную форму. Кроме того, прямые наблюдения указывают, что воздушные вихри соответствующих размеров (10-20см) исчезают за более короткое время, чем время жизни шаровой молнии. Тем не менее, эту гипотезу нельзя отбросить. Если шаровая молния состоит из нейтральных, а не электрически заряженных частиц, то трудного объяснения для устойчивости шаровой молнии найти трудно.

Последняя гипотеза состоит в том, что у вещества молнии имеется поверхностное натяжение. Проникновение молнии через малые отверстия в сплюсненном виде ли даже в виде змейки с последующим восстановлением её формы почти прямо указывают на существование поверхностного натяжения. Трудность состоит в том, что у обычных газов поверхностное натяжение отсутствует. Правда, у плазмы, которая состоит из заряженных частиц, из-за большого расстояния, на котором действуют кулоновские силы, можно ожидать возникновения поверхностного слоя, свойства которого напоминают свойства упругой пленки. Но тогда надо объяснить, почему эта плазма существует при относительно низкой температуре.

5. Природа шаровой молнии.

Прежде всего надо заметить, что общепризнанной теории шаровой молнии, одинаково хорошо объясняющей все известные факты, пока не существует. Более того, не существует даже единого мнения относительно того, в каком направлении нужно строить такую теорию.

За двести лет, прошедших с того времени, как Франклин становил природу линейной молнии, были предложены десятки теории шаровой молнии.

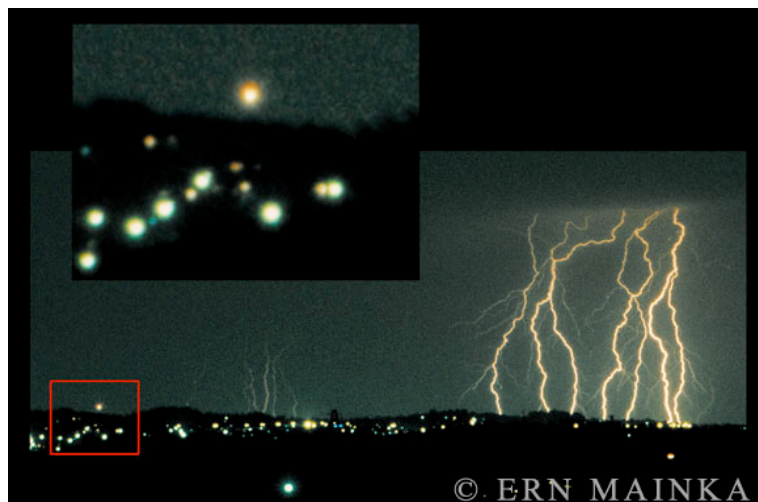


Рис. 5. Шаровая молния.

В настоящее время все теории, в которых ученые пытаются найти разгадку природы шаровой молнии, можно подразделить на 3 основных направления. Прежде всего следует выделить группу теорий, которые исходят из предложения, что шаровая молния получает энергию извне. Появление таких теорий связано с тем, что практически невозможно найти источник энергии в объеме молнии, который позволил бы поддерживать ионизацию и свечение заключенного в ней газа при высокой температуре. Предполагается, что шаровая молния связана с резервуаром энергии, находящимся в облаках, каналом, по которому энергия проводится с ней. В силу каких-то причин тепловыделение в канале оказывается незначительным, и вся энергия поглощается в объеме шаровой молнии, вызывая нагревание и свечение этого объема. Если энергия подводится электрическим током, то можно говорить о токовом канале, если электромагнитными волнами – о волновом канале. Так, например, в 1955 г. П. Капица выдвинул гипотезу, согласно которой

энергия подводится узким направлением пучком высокочастотного радиоизлучения с частотой порядка несколько сотен мегагерц. М. Юман и Д. Финкельштейн в 1960 г. предположили существование несветящегося токового канала, остающегося после обычной линейной молнии. Через этот канал вследствие остаточной электрической проводимости может подводится энергия. Сходные теории выдвигались и в последние годы

5.1 Гипотеза предполагающая внешний источник энергии молнии.

Главная трудность, с которой сталкиваются гипотезы, предполагающие внешний источник энергии молнии, состоит в необходимости найти механизм, обеспечивающий очень мощный поток энергии с очень большой по нашим масштабам плотностью потока. Для поддержания ионизации плазмы требуются потоки энергии, плотность которых составляет сотни ватт на каждый квадратный сантиметр. Волновод с такой плотностью потока едва ли может остаться незамеченным. Кроме того, как уже было отмечено выше, температура шаровой молнии, по-видимому, невелика. В этом случае опадает сама необходимость во внешнем источнике энергии. Несколько десятков килоджоулей вполне можно накопить внутри самой шаровой молнии. Заметим также, что для молнии с собственным внутренним источником должен существовать естественный верхний предел энергии, которую в ней можно запасти. Если предположить, что шаровая молния образуется из канала линейной молнии, и учесть что энергия, приходящаяся на каждый метр канала, составляет около 100кДж, то, принимая во внимание размер шаровой молнии, можно ожидать, что энергия, заключающаяся в ней, не может значительно превышать 100кДж. Это примерно соответствует энергии ионизации газа в объеме шаровой молнии.

5.2. Гипотеза предполагающая, что молния состоит из воздуха, обогащенного озоном.

Если вследствие низкой температуры заряженные противоположными зарядами частицы рекомбинируют в нейтральные, то вещество, из которого состоит шаровая молния, должно быть одним из обычных химических соединений, которые получаются при электрическом разряде в газах. Это может быть, например, озон или оксиды азота. Подобные теории выдвигались уже неоднократно, в частности одним из авторов их был известный советский физик Я. И. Френкель. В 1977 г. вышла статья Б. М. Смирнова, в которой предполагалось, что шаровая молния состоит из воздуха, обогащенного озоном. Время разложения озона достаточно велико, чтобы объяснить длительность существования шаровой молнии. Если предположить, как это сделал Б. М. Смирнов, что концентрация озона в шаровой молнии достигает 3%, то энергетический запас ее, который определяется энергией разложения озона, составляет несколько сотен джоулей. При этом, однако, остается необъясненной причина свечения шаровой молнии, а также причина свечения шаровой молнии, а также причина ее устойчивости. Трудно представить, как воздушный пузырь, обогащенный озоном, может проходить расстояния в десятки или сотни метров, не растворяясь в окружающей атмосфере и сохраняя свою форму. Кроме того, рассматриваемый объем воздуха должен быть нагрет вследствие выделяющейся в нем энергии. Следовательно, он должен быть легче окружающего воздуха и поднимать в нем. Даже если температура не превышает 100 градусов, уменьшение веса, которое получается при этом разогревании, не может быть скомпенсировано трехпроцентной примесью озона в воздухе.

За последние годы зарегистрировано несколько случаев, когда шаровая молния создавала радиопомехи, т.е. излучала радиоволны. Что источником помех была именно шаровая молния, подтверждается четко прослеженной связью интенсивности помех с расстоянием до шаровой молнии. Иными

словами, помехи усиливались, когда шаровая молния приближалась, и ослаблялись с ее удалением. Если это так, то возможно, что шаровая молния все же состоит из заряженных частиц.

Чтобы объяснить причину, почему заряды, из которых, возможно, состоит шаровая молния, не рекомбинируют, неоднократно выдвигалось предположение, что эти заряды находятся на мелких частицах вещества – пылинках. Однако, чтобы накопить в смеси воздуха с пылью достаточно большое количество энергии, не увеличивая в то же время существенно ее плотность по сравнению с плотностью воздуха, требуются пылинки микроскопических размеров. По существу такие частицы должны состоять из сравнительно небольшого числа атомов.



Рис. 6. Шаровая молния.

5.3. Кластерная гипотеза.

В 1974 г. была выдвинута кластерная гипотеза шаровой молнии, которую до некоторой степени можно считать логическим продолжением этой последней точки зрения.

Кластером называется положительный или отрицательный ион, окруженный оболочкой из нейтральных, обычно полярных молекул. Если, как это часто случается, оболочка иона состоит из молекул воды, то говорят о гидратированных ионах. Такие ионы давно известны, они находятся в растворах электролитов, но в последние годы они найдены и в газообразном состоянии. Исследования, проведенные на ракетах, показали, что нижняя часть плазменной оболочки Земли – ионосфера состоит из таких гидратированных ионов.

Кластерная гипотеза предполагает, что шаровая молния возникает после разряда линейной молнии, когда значительное количество образовавшихся положительных и отрицательных ионов покрывается оболочками из молекул воды. Предполагается (это представляет главную и пока еще не проверенную гипотезу), что при достаточно большом числе молекул в оболочке кластерных ионов рекомбинация сильно замедляется, вследствие того, что оболочки мешают сближению ионов при столкновениях.

Вследствие большой молекулярной массы кластеров плотность шаровой молнии оказывается больше плотности воздуха, несмотря на ее более высокую температуру. Устойчивость и форму шаровой молнии можно объяснить поверхностным натяжением, которое у сред, состоящих из заряженных частиц, может быть значительным. Действительно, между заряженными частицами действуют кулоновские силы, которые убывают с растворением значительно медленнее, чем молекулярные силы, действующие между нейтральными молекулами. Первые, как известно, убывают обратно пропорционально второй, а вторые – шестой степени расстояния. Это приводит к увеличению толщины поверхностной пленки, в пределах которой силы, действующие на частицу, не компенсируются действием других частиц. Поверхностное натяжение возникает именно вследствие этого некомпенсированного действия. Вследствие поверхностного натяжения капля из кластерных ионов может принимать форму шара так же, как капля обычной жидкости. Поверхностное натяжение придает и устойчивость капле, вследствие чего она разваливается на части, например при движении.

Два противоположно заряженных кластера при неупругом соударении могут объединиться в одну частицу. Если такая частица не распадется под влиянием последующих столкновений и просуществует достаточно долго, то положительный и отрицательный ионы, входящие в нее, могут рекомбинировать. При этом выделяется большая энергия. Частицы, входящие в оболочку кластеров, нагреваются до высокой температуры. Оболочки взрываются, разбрасываются во все стороны входящие в них

молекулы. Эти молекулы быстро теряют свою энергию при столкновении с окружающими их холодными молекулами и кластерами, входящими в состав вещества молнии. Однако в самый начальный момент взрыва молекулы, входящие в оболочки рекомбинировавших кластеров, имеют очень высокую температуру около 10К, т.е. во много раз большую, чем температура окружающей среды (300-600 К). Действительно, при рекомбинации ионов выделяется энергия, затраченная на ионизацию, около 12 эВ. Кроме того, вследствие различных химических реакций, которые протекают после рекомбинации, можно получить еще 5-6 эВ. На разрушение оболочек кластеров затрачивается 6-8 эВ. Таким образом в итоге выделяется около 10 эВ энергии, которая распределяется приблизительно на 10 частиц, входящих в оболочки двух кластеров. При равномерном распределении энергии каждая частица получает около 1эВ, что соответствует нагреванию до температуры 10К. При такой температуре вещество интенсивно излучает свет. Происходит это вследствие того, что часть энергии поступательного движения молекул может перейти (например при столкновении) в энергию возбуждения электронных оболочек атомов, а затем излучиться. Таким образом можно объяснить свечение молнии, несмотря на сравнительно невысокую среднюю температуру ее вещества.

Если число рекомбинаций в единице объема становится столь большим, что выделяющаяся при этом энергия не успевает отводиться из молнии, то ее температура начинает быстро увеличиваться. Увеличение температуры может привести к разрушению оболочек кластеров и облегчить дальнейшую рекомбинацию ионов. Начинается лавинный процесс, когда рекомбинация одной пары ионов вызывает рекомбинацию еще несколько пар ионов, т.е. происходит цепная реакция, которая приводит к взрыву молнии.

Если же условия, необходимые для возникновения такого процесса, не реализуются, то шаровая молния либо постепенно гаснет, израсходовав всю свою энергию, либо разваливается на куски. Первая судьба чаще постигает молнии маленьких размеров, а вторая – крупные молнии. Как показывают

расчеты, поверхностное натяжение не может достаточно надежно обеспечить их устойчивость. Именно этим, и объясняется отсутствие молний с диаметром значительно больше метра. Что же касается маленьких молний диаметром около 1 см и меньше, то они «сгорают» слишком и поэтому также наблюдаются редко.

не может достаточно надежно

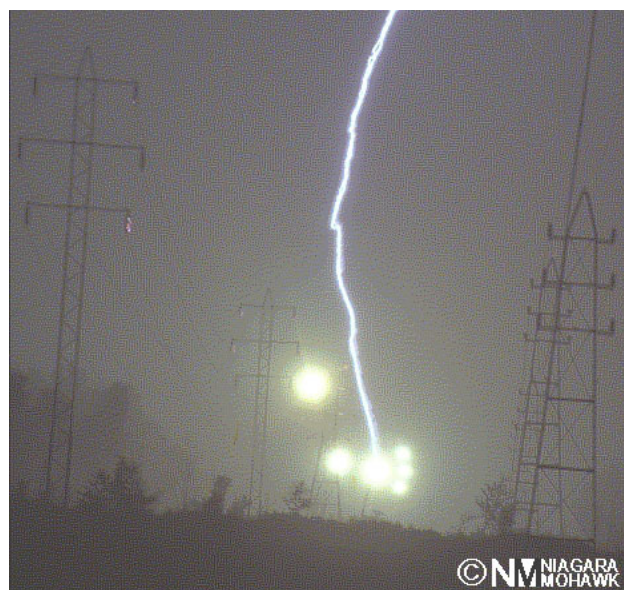


Рис. 7. Шаровая молния.

6. Загадки шаровой молнии больше не существует.

Далее мы будем опираться на приведенное выше наблюдение М.Т. Дмитриева, и на основании вышесказанного покажем, что в случае с шаровой молнией (ШМ) мы имеем дело со **spectatum cruices**, исключающим возможность альтернативной трактовки описываемого феномена.

Итак, в пользу выдвинутой гипотезы свидетельствуют эмпирические свойства шаровой молнии, перечисленные и прокомментированные в таблице 1.

Таблица 1

№	Наблюдательные данные	Объяснение феномена
1	Наличие изотопов радиофосфора в дождевой воде	Обнаружено в 1957 году.
2	Шаровая форма	Кулоновское взаимодействие, сжимающее облачко паров химических соединений радиофосфора до критической плотности, обладает сферической симметрией. Концентрация паров радиофосфора падает с увеличением расстояния от центра. Кроме того, плотность потока фотонов, инициирующих реакцию, убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от геометрического центра ШМ, и также обладает сферической симметрией.
3	Способность менять свою форму во время полета	Форма ШМ определяется не только распределением плотности фотонов, но и распределением плотности паров радиофосфора. На последнее сильно влияет ветер. Если исходное облако радиофосфора, из которого ШМ вытягивает ионы, растягивает сильный ветер, то шар может превратиться в ленту.
4	Размеры шаровой молнии	Диаметр от 10 до 30 см.
5	Способность проникать сквозь узкие отверстия	Сквознячок, вызванный перепадом давления и электростатическими силами затягивает пары радиофосфора сквозь щели навстречу налетающей ШМ. Геометрический центр области горения следует в направлении увеличения концентрации паров радиофосфора. То есть имеет место полет ШМ «против ветра». Многочисленные очевидцы описывают явление так. ШМ подходит к отверстию и выбрасывает впереди себя длинный светящийся шнур, который как бы нашупывает дорогу к отверстию, а потом втягивается в него. Дело в том, что ламинарная струйка радиофосфора вытягивается ШМ из отверстия электростатическими силами. Реакция бежит вдоль этой струйки, как огонь по бикфордову шнуру.

6	Способность неподвижно висеть в воздухе	Динамические уравнения, описывающие полет ШМ, получены в работе. В этой работе показано, что ШМ неподвижно висит в воздухе, если асимметрия распределения «ионов» радиофосфора равна нулю.
7	Способность лететь как по ветру, так и против ветра	Если скорость перемещения области реакции больше, чем скорость ветра, а радиофосфор наносит воздушным потоком, то ШМ летит против ветра. В противном случае она летит по ветру.
8	Продолжительность разряда	Средняя продолжительность 10с.
9	Способность как тихо угасать, так и взрываться	Определяется наличием бифуркационного параметра. Если концентрация паров радиофосфора больше критической, то происходит взрыв. Если концентрация умеренная - имеет место стационарное горение. Если концентрации мало – разряд тихо гаснет.
12	Способность вызывать нагревание и разрушение предметов, намоченных дождевой водой	Рентгеновское излучение и электроны, ускоренные сильно заряженным телом ШМ, инициируют реакцию в радиофосфоре, содержащемся в дождевой воде.
13	Способность возникать «из ничего»	В силу наличия электростатического взаимодействия и нелинейной диффузии происходит самопроизвольное сжатие облачка радиофосфора. Если плотность паров превышает критическую, то происходит самовозгорание разряда ШМ.
14	Способность появляться в помещениях	Если окно открыто перед грозой или во время грозы (чтобы подышать свежим воздухом), то пары радиофосфора, могут попасть в комнату вместе с озонированным воздухом. Внутри закрытых помещений нет ветра, поэтому пары радиофосфора имеют достаточно времени для самоорганизации, т.е. до самосжатия до критической плотности.
15	Способность появляться внутри летящего самолета	Этой способностью ШМ наблюдалась в старых самолетах с негерметичной кабиной (или салоном). ШМ появлялась при пролете самолета через грозовое облако. Физика здесь точно такая же, как и в случае загорания ШМ в комнате.
16	Предпочтительное возгорание или угасание на проводниках	В силу того, что в облаке паров радиофосфора происходит обычный - распад, сопровождающийся стандартными вторичными эффектами, облачко приобретает электрический заряд. В результате на близлежащих проводниках возникает наведенный заряд, после чего обычное кулоновское взаимодействие собирает исходное облако паров радиофосфора вблизи этих проводников.
17	Предпочтительное появление во время или после грозы	Радиофосфор относится к числу короткоживущих изотопов. В грозу наблюдаются мощные вертикальные воздушные потоки. Именно они (а также капли дождевой воды) доставляют радиофосфор к поверхности земли. В тихую ясную погоду облако паров радиофосфора также

		может опуститься на землю. Однако продолжительность этого процесса соизмерима с периодом полураспада изотопов радиофосфора. Поэтому ШМ чаще всего появляется в грозу.
18	Способность «уходить в землю»	Если земля смочена дождевой водой, содержащей радиофосфор, то от земли парит. В направлении повышения концентрации паров радиофосфора и летит ШМ.
19	Относительная стабильность сезонного распределения частоты появления шаровых молний	Интенсивность вертикальных воздушных потоков и частота гроз определяются именно временем года.

Таким образом, на сегодняшний день в научной и научно-популярной литературе описано более 30 различных свойств шаровой молнии, подтвержденных тысячами наблюдений и не имеющих последовательного непротиворечивого объяснения ни в одной из существовавших ранее теорий. В рамках предложенной теории все перечисленные свойства шаровой молнии получаются автоматически в качестве естественных следствий одной исходной гипотезы. Причем имеет место не только качественное, но и количественное согласие результатов расчетов и наблюдательных данных. Подобный уровень согласия наблюдательных данных и теоретических выводов и оценок возможен только в том случае, если оцененная вероятность ложности излагаемой теории не превосходит. Все это позволяет уверенно говорить о правильности нарисованной картины явления.

Заключение.

В заключение этой работы хотелось бы добавить, что нарисованная картина явления является весьма схематичной, и не охватывает некоторые электрические явления в атмосфере, не связанные с внутриядерными процессами. В качестве примера приведу работы группы профессора Г.Д. Шабанова из Санкт-Петербурга. На мой взгляд, это едва ли не самая квалифицированная группа в РФ, занимающаяся проблемой шаровой молнии. Этой группе в прямом эксперименте за счет эрозионного разряда удается получать светящиеся образования, живущие около 1 секунды. Очевидно, что в канале разряда линейной молнии такой «шарик» вполне может вспыхнуть. Вот только «энергетических чудес» он продемонстрировать не может!

Ниже привожу фотографию, любезно предоставленную Геннадием Дмитриевичем. По-моему, просто потрясающе!



Рис. 8. Искусственная шаровая молния.

Для сравнения привожу фотографию природной шаровой молнии, взятую из Интернета. На фотографии хорошо видно, что природная шаровая молния не имеет резкой границы. Это и понятно. Ведь она собирает радиофосфор из окружающего пространства, и концентрация его увеличивается постепенно.

Почувствуйте разницу между двумя электрическими явлениями в атмосфере, имеющими разную физическую природу!



Рис. 9. Шаровая молния в природе.

Список литературы.

1. Беляков В. А. Электромагнетизм. Твердое тело. Изд. Просвещение, 1982
2. Дмитриев М.Т. Природа шаровой молнии // Природа.1967. №6. С.98
3. Неменов Л.Л. ЯФ, Т.31, Вып. 1, 221 (1980)
4. Ратис Ю.Л. Естествознание. Экономика. Управление. Сб. науч. трудов. Спец. выпуск. Самара, СГАУ, 2003, с. 4
5. Ратис Ю.Л. Шаровая молния как макроскопическое кватовое явление, Самара, Изд. СНЦ РАН, 2004, 132 с.
6. Селинов И.П., Изотопы, т.1, М.: Наука, 1970, 623 с.
7. Сингер С. Природа шаровой молнии. М.: Мир, 1973. - 239 с.
8. Смирнов Б.М., УФН, 160, выпуск 4, 1990, с.1.
9. Стаханов И.П. О физической природе шаровой молнии. М.: Энергоатомиздат, 1985. 209 с.
10. Bahcall J.N., Phys. Rev. 124, 495 (1961)
11. Bosh F., at al. Phys. Rev. Lett., 77, №26, 5190 (1996)
12. Daudel R., Jean M., and Lecoin M., J. Phys. Radium 8, 238 (1947)
13. Lal D., Narasappaya N., Zutshi P.K., Nucl. Phys., 3, 1957, p.69.