



ПРОБЛЕМЫ НАУКИ
И ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

А.М. ХАЗЕН

О ВОЗМОЖНОМ
И НЕВОЗМОЖНОМ
В НАУКЕ,
ИЛИ ГДЕ ГРАНИЦЫ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТА

МОСКВА «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1988

ББК 20
X15
УДК 501(023)

Хазен А.М. **О возможном и невозможном в науке, или где границы моделирования интеллекта.** – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 384 с. – (Пробл. науки и техн. прогресса) – ISBN 5-02-013902-5.

Какие законы управляют возникновением и эволюцией живого? К чему привело отсутствие заботы «об охране окружающей среды» у первичных обитателей Земли? Какое отношение имеют эти серьёзные вопросы к «сенсациям» летающих тарелок? Как работает наша нервная система? В чём связь между работой нервной системы и эндокринологией? Существует ли телепатия? Что общего между фантастикой Айзека Азимова и вопросом о природе мысли?

Читатель книги познакомится с тем, как наука раскрывает подлинно удивительные тайны природы, и узнаёт, каким образом можно догадаться о заведомой ложности популярных «сенсаций». Книга содержит множество интереснейших фактов из области физики, биологии, психологии, медицины и их доступные объяснения.

Для всех интересующихся наукой и научным подходом к явлениям природы и жизни.

Ил. 17. Библиогр. 57 назв.

Рецензенты:

доктор технических наук *Д.А. Поспелов*,
доктор медицинских наук *И.Л. Чертков*,
доктор химических наук *А.Н. Шамин*

ISBN 5-02-013902-5

ОТ АВТОРА

Когда речь идёт о прошлом, мы с уважением относимся к народным сказкам. Их собирают, анализируют. О них пишут исследования, диссертации, делают открытия в этой области. Но народное творчество существует не только в прошлом, оно продолжается и сейчас, зачастую с поправкой на уровень образования. При всеобщем образовании возникают сказки про инопланетян, Бермудский треугольник, нарушения фундаментальных законов природы и т.д., тем более что такие реальные явления, как шаровая молния, Тунгусский метеорит, создавали почву для вполне современных сказок.

Непреходящий интерес к таинственному – это, вероятно, эволюционная особенность человека. Поэтому и сказка давних времён и современная сказка притягательны до тех пор, пока им не дано рационального объяснения. Как только оно находится, интерес профессионалов заметно повышается, но круг тех, кого она волнует, суживается до уровня замкнутой группы учёных и инженеров. Как таинственно и дискуссионно звучали ещё десятилетия назад предположения известного учёного прошлого века А. Вегенера о дрейфе континентов! Какими захватывающими были соображения за и против его гипотезы, например, в журнале «Вокруг света» тех времён. И как всё это стало буднично, когда версия о дрейфующих плитах превратилась в признанную геологическую теорию, которая дала результативную основу поисков полезных ископаемых и предсказания землетрясений. Реальная сенсация открытия в Атлантическом океане той самой «щели», где континенты отплывают друг от друга, её исследования, включая непосредственное бурение, – всё это для многих прошло незамеченным.

Народная мудрость учит, что у царевны-лягушки совершенно не

обязательно, даже просто вредно сжигать её лягушачью шкуру. И сказители и их слушатели сохраняли во все века и у всех народов долю лукавства и юмора. Внимая современным сказкам, неплохо об этом помнить. Слушать сказки – полезно, сочинять их – непредосудительно, делать из них выводы – желательно. Но нельзя становиться рабами пустых фантазий.

Так ли важен вопрос о сомнительных измышлениях в наш век научно-технического прогресса, когда от науки зависят судьбы человечества? Нужно ли писать о них книгу?

Ответ: важен! Нужно! Но не только потому, что жалко, когда люди живого, ищущего ума тратят энергию, а иногда и жизнь на дутые сенсации; не только потому, что переписка по проектам и «открытиям» отнимает время, создаёт своего рода «отрицательный иммунитет», который потом негативно проявляется по отношению к действительно новому. Дело гораздо серьезнее: в повседневной практической деятельности, в научном творчестве, в инженерных решениях, в экономике и общественных отношениях далеко не редки те же ошибки, которые приводят к возникновению и живучести современных околонуточных сказок.

В последние годы возникла ещё одна серьёзная проблема. Реальностью становятся сложные вычислительные системы, содержащие обширные банки информации и разветвлённые связи между ними, включающие самостоятельные ЭВМ, – иногда их называют системы с искусственным интеллектом. В таких системах человеку отводится роль, которую сегодня играют хорошие научные руководители работ. П.Л. Капица отмечал, что научный руководитель эффективно выполняет свои функции, когда сам проводит 25-50% работы. Сложность решаемых с помощью ЭВМ задач настолько велика, что такой объём участия человека становится невозможен. Искусственный интеллект даёт людям конечный результат, не всегда оставляя возможности детальной проверки процесса его получения. Человек оказывается в положении неспециалиста, читающего в газетах и журналах о достижениях науки и техники наряду с информацией о разнообразных «сенсациях».

На пути развития вычислительных систем в обозримых пределах человеческой деятельности нет ограничений типа тех, которые накладывает к.п.д. цикла Карно на совершенствование тепловых двигателей. Однако в науке и технике выявленная ошибка – один из

движущих элементов процесса поиска нового. Поэтому ни при каком развитии искусственного интеллекта наука не может гарантировать безошибочность каждого индивидуального решения машины. Это создаёт серьёзные вопросы. Например, сегодня запас накопленных атомных бомб, выраженный в тротиловом эквиваленте, составляет примерно три тонны (!) на каждого жителя Земли, включая грудных младенцев. Запас всего этого собирается отдать в соответствии с программой СОИ в руки системы искусственного интеллекта, но сотворённый ею «бермудский треугольник» может стать причиной гибели человечества в целом!

Почему это так, как искать преодоление таких трудностей – понять далеко не просто. В этом переплетаются все до сих пор полученные человеком знания от космологии до психологии, вся история развития науки. Гротескность «сенсаций» создаёт уникальную возможность объединить столь разнородный материал. Маленькому ребёнку больше всего удовольствия доставляет ситуация, когда, опережая лукавящего взрослого, он сам видит ошибку. Поскольку такую психологическую особенность человек зачастую сохраняет на всю жизнь, то нельзя пренебрегать народной мудростью сказочных приёмов, которая учит, что обсуждение вопроса об остановке «вокзая у трамвала» – весьма эффективное педагогическое средство. «Перчатки на пятках» бермудских треугольников, летающих тарелок и т.п. дают возможность понять сложные и важные сугубо научные вопросы. Но нужны и серьёзные примеры из области науки. Вот почему эта книга имеет свой выверенный ритм простоты и сложности. Те из читателей, которых подьёмы сложности будут утомлять, могут «туннелировать» сквозь них, подобно квантово-механическим частицам.

Одно в этой книге часть читателей найдёт для себя близким и понятным, но для других это же самое окажется неожиданным, побуждающим к спору. Несомненно, что тех, кто везде ищет только подтверждение своей веры в невозможное, эта книга разочарует. Но читатели, которых интересует наука, и те, кто может и хочет работать, найдут в книге оригинальные постановки задач, вопросы, а в некоторых случаях важные результаты (в частности, принадлежащие автору). Если эта книга заставит задуматься над оценками и решениями, как в известном, так и в очень сложном, в частности, связанном с научным творчеством, если она поможет переключить азарт, вызываемый таинственным, на конкретную работу, то автор будет считать свою задачу

выполненной.

А сказки? Слушайте и выдумывайте сказки, но не пренебрегайте доводами тех, кто им не верит; учитесь для того, чтобы не стать бесплодными фантазерами; не повторяйте ошибок сказок в своей повседневной работе.

Что касается автора, то он просит читать книгу внимательно и считает своим долгом поблагодарить академиков Л.И. Седова и Г.Г. Черного, академика АН УССР Б.В. Гнеденко, члена-корреспондента АН СССР С.С. Григоряна, докторов физико-математических наук С.А. Лосева и П.В. Шеглова за внимание к работе, а также доктора технических наук Д.А. Поспелова, доктора физико-математических наук Ю.Л. Климонтовича, доктора химических наук А.Н. Шамина, доктора медицинских наук И.Л. Черткова, кандидатов физико-математических наук А.А. Старобинского, Ф.А. Цицина, В.Г. Сурдина за внимательное ознакомление с рукописью и сделанные ими ценные замечания.

Книга была закончена ещё в 1976 г. Это позволило поверить временем её основные положения и подкрепить их новыми примерами.

Глава 3

ШАРОВАЯ МОЛНИЯ – В ПРОТИВОРЕЧИЯХ РАЗГАДКА

Она окружена тайной – а тайна волнует.

*Артур Конан Дойл, Записки
о Шерлоке Холмсе*

§ 1. Шаровая молния – реальное природное явление

Среди явления природы, сохраняющих таинственность еще не объясненной наукой, видное место занимает шаровая молния. Академик В.Л. Гинзбург в одной из своих статей ставит вопрос о раскрытии природы шаровой молнии в один ряд с такими проблемами, как познание строения элементарных частиц или открытие высокотемпературной сверхпроводимости.

Что такое шаровая молния? Над этим размышляют в течение многих веков. Каких только предположений на этот счет не высказывалось! Критиковать гипотезы – задача неблагодарная, да и сделано это уже много раз. Известные гипотезы *) и правдоподобны (в той или иной степени), и имеют определенные обоснования, но они не замкнуты: в каждой из них есть по крайней мере одно предположение, которое связано с решающим противоречием известным процессам и законам природы. Это ясно понимают все, в том числе и авторы существующих гипотез, хотя они и не всегда готовы это признавать.

На чем же строить объяснения шаровой молнии, описанной в тысячах опубликованных наблюдений? Что является твердым фундаментом для ее исследования в море фактов и подробностей, которые сообщаются случайными свидетелями и точность которых всегда может быть оспорена?

Главным является утверждение о том, что шаровая молния как реальное природное явление существует!

В Окридже (США), в Лаборатории атомной энергии была проведена анкета – опрос о наблюдениях шаровой молнии. Из 19 923 опрошенных, 513 человек, т.е. 3,2%, видели шаровую молнию. Аналогичный опрос в США проводился NASA. В нем участвовало 1764 сотрудника исследовательского центра в Льюисе. Из них шаровую молнию видели 10%. В Советском Союзе сведения о наблюдениях шаровой молнии в 1975 г. собрал журнал «Наука и жизнь». Его результаты обобщили сообщения 1062 очевидцев **).

В любой аудитории из 50–100 человек при вопросе «Кто видел шаровую молнию?» обязательно находится один-два желающих рассказать о своих личных впечатлениях. На лекции автора о шаровой молнии в Центральной лектории Политехнического музея в Москве в 1985 г. таких желающих оказалось даже шесть.

Каждый человек с младенческого возраста десятки и сотни раз видел линейную молнию. Но спросите соседей и сослуживцев или попутчиков в дальней дороге: многие ли из них видели непосредственно во время грозы именно то место, куда ударила линейная молния? Окажется, что таких людей довольно мало: примерно в два раза больше тех, кто видел шаровую молнию.

Как обычно очевидцы описывают шаровую молнию? Приведем некоторые из опубликованных или устно сообщенных автору наблюдений.

«Молния ударила в металлический насос колодца, расположенного у крыльца дома. Несколько «шаров» прокатилось по всей поверхности крыльца, наверное 30 футов, и потом без следа исчезли». (1 фут = 0,30 м.)

«Шаровая молния была красная с белым свечением внутри».

«Разряд молнии ударил в дерево и расщепил его. Из дерева выплыл шар, передвигаясь горизонтально по прямой. Он остановился на расстоянии около 20 ярдов от дерева, казалось, начал вращаться или вибрировать и с треском взорвался». (1 ярд = 0,91 м.)

«Я стоял на крутом берегу озера, радиусом около четверти мили. Молния ударила в центр озера, появился шар, пропутешествовал приблизительно 100 ярдов по озеру на расстоянии 10–15 футов над его поверхностью, ударился о воду, отскочил от нее, ударился снова

*) Анализ многих из них содержится в книге: Сингер С. Природа шаровой молнии. – М.: Мир, 1973.

**) Стаханов И.П. О физической природе шаровой молнии. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

примерно через сотню ярдов и затем внезапно исчез, поднявшись опять в воздух».

«Молния, вероятно, ударила в наш дом или около. Проволока внешней антенны была расщеплена, но не расплавилась. Там, где антенна входила в комнату, окно было немного открыто. Казалось, что шар возник на окне, очень быстро полетел к центру комнаты и вылетел».

«Это произошло после того, как молния ударила в столб электропередачи. Шар, казалось, двигался по направлению к столбу, через улицу, над человеком... Человек был ослеплен, загорел, но не получил никаких повреждений».

«Я видел, как огненный шар опустился с неба и ударился о колючую проволоку, прикрепленную к деревянному забору. В течение нескольких минут шар двигался вдоль проволоки и затем исчез. Появление шара сопровождал странный шуршащий звук. Сначала шар казался больше чем в конце. Я полагаю, что диаметр шара был не менее 4 дюймов, но и не более 18 дюймов. Я осмотрел забор через несколько минут после исчезновения шара и обнаружил, что концы зажимов были теплыми и немного обгоревшими, только свободная часть была обожжена».

«Через несколько секунд после того как в окрестности ударила молния, мы обнаружили, что около дома короткими змеевидными толчками передвигается яркосветящаяся сфера величиной с кулак. Затем этот светящийся шар проник через закрытое окно в комнату, на глубине примерно трех футов он совершил неожиданный поворот на девяносто градусов параллельно стене и продвинулся еще на метр дальше в глубь комнаты. Затем он взорвался, и светящаяся сфера исчезла с коротким оглушающим звуком. В течение всего времени существования шаровая молния была багряного оттенка. Она существовала приблизительно в течение трех секунд. Ни в комнате, ни вне ее не было обнаружено каких-либо разрушений или повреждений. После взрыва светящегося шара мы почувствовали типичный запах, который появляется при электрических разрядах».

«Необычно длинная и яркая молния начала передвигаться по небу с юга на север. На ее конце закручивалась спираль, из которой появилась светящаяся сферическая форма, медленно опускавшаяся на землю. Очевидно, эта сфера вращалась. Длительность всего этого явления, начиная от возникновения и кончая затуханием на поле, составляла 80 секунд по часам. Шаровая молния ударилась в 100 метрах от места

наблюдения с глухим шумом, напоминающим извлечение пробки из бутылки».

Вся эта группа наблюдений относится к 30–60 годам XX столетия. В основном они сделаны людьми, в той или иной степени осведомленными о шаровой молнии. А вот группа наблюдений конца прошлого – начала нашего века, когда о шаровой молнии слышали немногие.

«Свидетелем был почтальон, который утверждал, что ничего не знал про шаровую молнию. Он был на дороге и увидел серо-темное облако, из которого свисало что-то похожее на штанину. Внезапно нечто похожее на золотой бочонок упало из этой штанины. Это тело опустилось около телефонного столба с громким треском. У него было впечатление, что оно ударилось о столб. Потом оттуда появилась настоящая молния и один из разрядов ударил в школу. Он был удивлен тем, что не мог понять, сопровождается ли треск громом или нет. До этого шел небольшой дождь, а потом пошел град. Свидетель также утверждает, что в течение короткого времени деревья были похожи на новогоднюю елку, украшенную свечами на иголках».

«В 1912 г. во время моих летних каникул я гулял по лесу в Маклебурге и наблюдал за сильной грозой, которая удалялась. Был вечер и воздух был чист. Внезапно я увидел огненный шар, поднимающийся на расстоянии, которое я не мог определить. Сначала я полагал, что этим шаром была ракета. Но очень медленное движение со спиральным вращением и с изменяющейся скоростью заставило меня подумать, что это была легендарная шаровая молния. Шаровая молния несколько раз изменяла свой путь от горизонтального к вертикальному. Она совершила несколько колебаний, после чего стала неразличимой. Затухание не сопровождалось звуком. Строго сферической формы, она приблизительно была равна грецкому ореху. Я точно не помню цвет ее свечения, но, кажется, он был либо оранжевый, либо зеленоватый и во время затухания она изменяла оттенки. Шаровая молния была светящейся, яркой, но не ослепительной».

«1895 г. Перед нашим домом было больше открытое поле. В этот день по области передвигалась сильная гроза, и я наблюдал яркие разряды молний, ударяющие в землю, затем была пауза. В этот момент неожиданно появилась светящаяся желтовато-красноватая сфера. Никогда не слышав раньше про шаровую молнию, я полагал, что это был метеорит или что-нибудь вроде этого. Сфера была размером с поднимающуюся

полную луну и имела четкие очертания: ее внешняя поверхность казалась похожей на красивое яркое кольцо, как будто у сферы была оболочка. Молния опускалась очень медленно. Когда она ударилась о небольшой заброшенный коттедж, произошел сильный взрыв, как будто взорвалась бомба. Загорелись бочки, и коттедж был разрушен».

«1890 г. Свидетель правил в своей коляске открытого типа с четырьмя лошадьми и довольно большими деревянными колесами со стальными ободами, находящимися на стальных осях. Движение происходило по загородной дороге, по обеим сторонам находились железные заборы. Небо было покрыто тучами, но дождя не было. Два очень ярких шара размером с человеческую голову появились по обеим сторонам дороги и начали двигаться с такой же скоростью, как и коляска. Множество искр летело от этих шаров к металлическим осям коляски. Лошади задрожали и побежали быстрее, но чем быстрее двигалась коляска, тем быстрее передвигались и огненные шары, пока коляска не подъехала к тому месту, где кончились железные заборы. Тогда оба шара исчезли без взрыва с шумом, похожим на шорох листа бумаги».

Имеется сообщение о том, как шаровая молния прошла через стекло окна, оставив в нем почти совершенно круглое отверстие диаметром 28 см. Затем она разорвалась на земле под окном. Свечение ее было бледно-голубого цвета, а очертания неясны. Шар появился вскоре после разряда линейной молнии в дерево возле окна комнаты, соседней с той, где были наблюдатели.

Академик Г.И. Петров, когда автор на его семинаре докладывал свою теорию шаровой молнии, рассказал, что он сам видел это явление внутри помещения типа производственного корпуса со старинной паровой машиной. Светящийся шар влетел в окно и двигался под потолком, огибая металлические балки.

Отметим два наблюдения, описанные в книге И.П. Стаханова, упомянутой выше.

Имел место случай выстрела с расстояния примерно в 15 метров в шаровую молнию из дробовика. Молния только слегка покачнулась и просуществовала после этого не менее 40 с.

Спящий наблюдатель проснулся («показалось, что выстрелил карабин»), увидел вытянутый по направлению движения белый «клубок», который плавно скользил вдоль стен по периметру комнаты и вылетел в окно. Утром оказалось, что у стоявшего рядом с изголовьем карабина

оплавлена верхняя головка шомпола, но натеков нет – металл как бы испарился. Других проявлений теплового эффекта нигде не было обнаружено.

Часто цитируют описание случая, когда служитель взмахами метлы выгнал из церкви шаровую молнию.

О поражении электрическим током, явно связанном с шаровой молнией, рассказал автору А. Любарский. Шаровая молния влетела в деревянную будку-вагончик, установленную для буровой бригады непосредственно около буровой вышки. Шаровая молния коснулась головы одного из рабочих бригады, который погиб. На полу и в ботинках погибшего был обнаружен небольшой след каких-то электрических процессов, но ожогов на теле не было. Инженер Ю. Булычев рассказал случай, происшедший с его близкими, когда шаровая молния размером с апельсин влетела в окно и закончила свой путь на электропроводке обычной осветительной лампочки. Электропроводка обгорела, как будто по ней прошел большой ток.

Во время поездки из Москвы в Муром на окраинах Владимира автор подобрал попутчика – участкового инспектора. Тот рассказывал о местных достопримечательностях и, в частности, без каких-либо наводящих вопросов сообщил о шаровой молнии, которую видел на Оке. Она двигалась вдоль поверхности воды на некотором расстоянии от нее и обогнула лодку, в которой он сидел.

Еще два описания, сообщенные автору людьми, в наблюдательности которых сомневаться нет оснований. Оба случая относятся к их детским годам.

Инженер Е. Сорокина: как возникла шаровая молния и был ли при этом дождь – не помнит, находилась она в то время в Москве, в квартире в районе Садово-Самотечной улицы. Светящийся шар сел на подоконник у закрытого окна с промежутками между областями свечения и подоконником, проминаясь как легкий воздушный шар. «Он был мохнатый».

Специалист в области механики, профессор Ю. Шевелев наблюдал шаровую молнию в детстве на Кавказе. Наиболее запомнившееся впечатление: «Она была как бы составлена из иголок». Возникновение ее в помещении было связано с антенной радиоприемника.

Последние наблюдения надо подчеркнуть. В описаниях очевидцев характеристика поверхности шаровой молнии встречается не часто. Но

еще известный астроном Камилл Фламарион, в наблюдательности которого нет оснований, характеризовал шаровую молнию, как «пушистого котенка», который влетел в комнату и прошел мимо него, сидящего в кресле, не коснувшись.

Если обобщить множество известных сегодня наблюдений, то получится внешне противоречивый набор характерных свойств, которые, несомненно, относятся к одному и тому же явлению природы – шаровой молнии.

Возникновение шаровой молнии: наиболее часто – вблизи места удара линейной молнии. Но имеется значительное число наблюдений, когда шаровая молния появляется, а обычной молнии нет, и даже есть единичные случаи, когда шаровую молнию видели при ясном небе. Немало наблюдений, когда в создании шаровой молнии участвуют проводящие предметы – заостренные металлические детали, антенны, провода, столбы электропередачи. Очевидцы обычно отмечают признаки, указывающие на наличие высокой напряженности электрического поля при возникновении шаровой молнии, в частности, коронирование с металлических предметов.

Исчезновение шаровой молнии: наиболее часто – путем плавного затухания, без эффектов выделения большой энергии; отмечается запах, характерный для газовых разрядов в атмосфере. Но в то же время есть наблюдения, при которых исчезновение шаровой молнии достоверно сопровождается взрывом, разрушениями, выделением достаточно больших количеств тепла, оплавлением металла, песка и пр. При исчезновении шаровой молнии нередко описываются эффекты, связанные с протеканием относительно большого электрического тока: оплавление электропроводки, следы небольших искровых каналов.

Стационарное состояние шаровой молнии характеризуется наличием выраженного максимума частоты наблюдений в функции от ее диаметра, лежащего в интервале 10–30 сантиметров, и практически отсутствием зависимости числа наблюдений от времени существования шаровой молнии в зоне от 1 до 200 секунд. Цвет свечения шаровой молнии может быть разнообразным: красным, желтым, белым, голубым, но минимум наблюдений отмечается для зеленых оттенков. Для шаровой молнии не характерны ни большая яркость свечения, ни эффекты, которые могли бы рассматриваться как свидетельства термически равновесного излучения: ее свечение похоже на свечение тлеющего разряда, даже упоминается о

прозрачности шаровой молнии. Иногда наблюдатели отмечают в шаровой молнии более яркое ядро, реже структуры с повышенной яркостью границы. Довольно часто упоминаются эффекты, которые связывают с вращением шаровой молнии.

Форму шаровой молнии часто описывают как овальную, близкую к шару или в точности как шар. Очень редко встречаются указания на форму, которую можно отождествить с тороидом. Наличие «нити», на которую «нанизана» шаровая молния, с выступами в местах ее входа и выхода замечают чаще. Достоверно, что поверхность шаровой молнии в ряде наблюдений характеризуется как «мохнатая», состоящая из «иголок». Очень мало внимания в описаниях очевидцев уделяется весьма важному фактору – пронизывали или нет капли дождя шаровую молнию, но достоверно, что много наблюдений относится к тому случаю, когда непосредственно дождь через шаровую молнию не проходил. Есть упоминания об охотнике, выстрелившем в шаровую молнию из дробовика, но неясно, попал он в нее или нет и какая была дробь. Во всяком случае на молнию это влияния не оказало. Искрение от шаровой молнии и внутри нее – часто упоминаемая подробность.

Локализация и движение шаровой молнии содержит постоянно подтверждаемую особенность: оно закономерно, в большинстве наблюдений, обнаруживается вблизи предметов на поверхности земли или в атмосфере (вблизи самолетов); при этом движется, как правило, вдоль предметов и поверхностей (земли, стен и пр.) на определенном расстоянии. Правда, она может как бы упруго отскакивать от них или исчезать при касании. Проникновение шаровой молнии внутрь домов очень часто фигурирует в описаниях очевидцев. Достоверно, что шаровая молния может двигаться как с потоками воздуха, так и против них. Есть случаи проникновения шаровой молнии через стекла окон с разрушением их на площади, отождествляемой с размером шаровой молнии. Иногда наблюдается проникновение шаровой молнии в помещение через печные и каминные трубы, через оконные проемы, щели, меньшие диаметра шаровой молнии.

Достоверно, что заметного взаимодействия шаровой молнии с ферромагнетиками нет. Из биологических эффектов иногда отмечают онемения рук и ног, загар, но ожоги совершенно нетипичны. Смертельные исходы, связанные с шаровой молнией, явно происходят от воздействия электрического тока.

Конечно, описания шаровой молнии очевидцами всегда неполные, пропущены подробности, связанные с «привычным», например, о каплях дождя. В анкетах, адресованных очевидцам, не сформулированы те или иные важные вопросы. При анализе и передаче в статьях наблюдений «насилия» над ними все-таки встречаются: на неточность или неполноту иногда «списываются» подробности, противоречащие той или иной гипотезе.

Автор не пытался в приведенном выше описании свойств шаровой молнии сгладить противоречия, и этот комплекс свойств можно считать достоверно подтвержденным наблюдениями.

Дело не в том, эквивалентен ли взрыв шаровой молнии ста или десяти граммам тротила; важно, что для одного и того же явления природы наблюдаются существенно разные по энергии реализации. Не в том дело, что нет единого цвета свечения шаровой молнии; отсутствие равновесного теплового излучения – вот в чем достоверная особенность шаровой молнии. Не пытаться подогнать весь неточную статистику времени жизни шаровой молнии под «две экспоненты» и разделить их на короткоживущие и долгоживущие, а констатировать, что нет преимущественного времени существования шаровой молнии, – вот объективный вывод из наблюдений.

Только на основе непредвзятого отношения к наблюдениям, только исходя из реальности их противоречивости можно найти ключ к пониманию того, что такое шаровая молния. И в силу обязательности причинно-следственных связей, если строить гипотезы о природе шаровой молнии, то в первую очередь следует учитывать ее неразрывную, неотъемлемую связь с грозой, в том числе и при «громе с ясного неба». Ведь само название феномена – пусть и шаровая, но все-таки молния!

А что же такое обыкновенная гроза и обыкновенная молния?

§ 2. Гроза, линейная молния

Одним из незыблемых принципов электромагнетизма является утверждение о том, что для накопления зарядов разных знаков в разных точках пространства необходимы силы не электрического происхождения – сторонние силы. В батарее карманного фонарика – это химические

реакции, на электростанции – это работа расширения пара, вращающего турбину и соединенный с ней генератор, на спутниках в солнечных батареях – это энергия излучения солнца, создающая фотоэлектроны а полупроводниковых пластинах. Сторонняя сила, создающая разность потенциалов, необходимую для пробоя атмосферы, т.е. для возникновения молнии, связана с разностью температур между поверхностью земли и верхними слоями атмосферы. Вызванные этой разностью температур коллективные движения воздуха, несущие в себе огромные запасы механической энергии, есть источник возникновения разницы потенциалов между грозовыми облаками или между облаками и землей. Именно поэтому там, где нет большого перепада температур, где солнечный нагрев поверхности земли относительно мал, например, в приполярных районах земного шара, грозы – редкость. «Устройство» генератора, преобразующего механическую работу в электрическую энергию, существенно связано с парами воды в атмосфере, с процессами в отдельных каплях и кристаллах льда, возникающими при конденсации из атмосферной влаги. Поэтому в горячих пустынях, где солнечный нагрев велик, где существуют мощные конвективные потоки, грозы также редки: источник сторонних сил, механической работы, есть, но нет генератора электричества, существенно связанного с влагой.

В тропиках, где велики и перепады температур и влажность, число гроз рекордное. Так, например, в районе индонезийского города Багор в западной части Явы молнии бывают почти ежедневно, в то время как в Центральной Европе в среднем в году от 15 до 25 грозовых дней.

По оценкам специалистов, на землю ежедневно обрушивается 45 тысяч гроз. В течение года происходит примерно три миллиарда ударов молний. По имеющимся, например, для США данным число жертв молний в год доходит до 10 тыс.

С тех пор, как в 1752 г. Бенджамен Франклин и почти одновременно с ним М.В. Ломоносов и Г.В. Рихман доказали электрическую природу молнии, многим кажется, что гроза – обыденное явление, полностью описанное учеными и известное во всех подробностях. В действительности это не так. Хотя за прошедшие более 200 лет про грозы и молнию стало известно многое, хотя защита от молнии существенно продвинулась вперед, еще нет полностью достоверной теории, описывающей как возникновение разности потенциалов при грозе, так и пробой атмосферы молнией.

Однако сегодня про грозы и образование молнии известно многое, и существующие теории, опирающиеся на многочисленные эксперименты, пусть и не исчерпывающе полно, но, тем не менее, достаточно подробно для многих применений описывают большинство деталей и процесса разделения зарядов в атмосфере, и пробоя.

При грозе возможны как положительно, так и отрицательно заряженные по отношению к земле облака. Суммарная разность потенциалов при грозе, вызывающая линейную молнию, может достигать тысяч миллионов вольт (10^9 В). Подобные разности потенциалов в лабораторных установках пока еще не реализованы.

Электрический заряд в облаке распределяется сложным образом, а в образовании линейной молнии могут участвовать заряды, величиной порядка 40 Кл. Значительная часть пробоев, связанных с молнией, происходит внутри грозовых облаков или между ними. Но и пробой облако–земля также весьма часты. В дальнейшем для краткости будет говориться только о пробоях облако–земля, хотя все описанное относится и к пробоям облако–облако.

Возникновение линейной молнии проходит ряд фаз. Когда разность потенциалов между облаком и землей достигает экстремальных значений, начинается развитие первой фазы молнии – *ступенчатого лидера*. Это многократно повторяющийся в течение малого времени процесс развития последовательности электронных лавин, постепенно продвигающихся все дальше и дальше в промежутке облако–земля. В этом процессе нарастает осредненная ионизация в некотором канале, соединяющем заряды облака и землю. Возможно ветвление этих лавин, возможно их прекращение без полного пробоя, т.е. без создания высокоионизированного канала от облака к земле.

Но даже возникновение такого канала еще не завершает пробой. Собственно заряд конденсатора облако–земля возникает на фазе возвратного удара, когда в уже сформировавшемся канале линейной молнии с огромной скоростью ($\sim 10^8$ м/с) распространяются области существенно повышенной ионизации и начинают течь экстремально большие токи до 100 000 А.

В этой фазе разряда температура в канале линейной молнии поднимается до 30 000 тыс. градусов и нагрев носит термически-равновесный характер. Но этим разряд конденсатора облако–земля не закончен. Возможно до 20–40 импульсов тока в канале линейной молнии,

и только тогда канал начнет распадаться и исчезнет, а вместе с тем резко упадет разность потенциалов облако–земля. В случае, если очередной импульс тока запаздывает во времени из-за конечной скорости притока зарядов из облака к основанию линейной молнии, то последующие пробой в этом же канале предваряются фазой ступенчатого лидера.

Данные об основных стадиях развития линейной молнии:

Ступенчатый лидер

Длина ступени	3 – 200 м
Интервал времени между ступенями	30 – 125 мкс
Средняя скорость распространения ступенчатого лидера	$1,5 \cdot 10^5 - 2,6 \cdot 10^6$ м/с
Средний ток	100 А
Заряд, переносимый по каналу ступенчатого лидера	3 – 20 Кл
Средний диаметр по свечению	1 – 10 см

Возвратный удар

Скорость распространения	$2 \cdot 10^7 - 1,4 \cdot 10^8$ м/с
Скорость нарастания тока	1 – 80 и более кА/мкс
Время пикового тока	1 – 30 мкс
Пиковый ток	10 – 110 кА
Длина канала молнии	2 – 14 км

Вспышка молнии

Число импульсов на вспышку	1 – 40
Интервал между импульсами	3 – 100 мс
Продолжительность вспышки	0,01 ÷ 2 с (есть сообщения о вспышках длительностью до 15–20 с).
Величина переносимого в целом заряда	3 – 90 Кл

Основные положения теории искрового пробоя и, в частности, пробоя молнии разработаны в 30-х годах нашего века. Сейчас они существенно уточняются, но этот процесс еще не завершен.

Отметим особенности линейной молнии. Во-первых, области земли, над которыми электрическое поле при грозе экстремально, очень велики – квадратные километры. Место удара молнии зависит не столько от приповерхностных слоев почвы, сколько от таких факторов, как уровень подпочвенных вод или наличие глубинных геологических разломов. Кстати, из-за конденсации атмосферной влаги уровень подпочвенных вод под строениями всегда выше, чем на открытой местности, что увеличивает частоту поражений зданий при грозе. Во-вторых, при любом ударе линейной молнии есть пути ее развития, на которых пробой не завершается, и не так уж мало случаев, когда начавшееся развитие молнии остается вообще незавершенным, в том числе и развитие по уже реализованному ранее каналу. В третьих, в атмосфере частота соударений электронов, играющих главную роль в развитии пробоя, с нейтральными молекулами настолько велика, что, казалось бы, невозможно развитие известных в физике плазмы процессов, которые превращают электрический разряд в генератор монохроматических радиоволн. Однако твердо установленным экспериментальным фактом является то, что при разрядах молнии электромагнитное излучение возникает не только в форме широкодиапазонных «тресков» в радиовещательном диапазоне, но и в виде монохроматического, как у хорошего передатчика, излучения на высоких частотах при длинах волн от десятков сантиметров, до миллиметров.

Исследования такого радиоизлучения сегодня широко проводятся с использованием искусственных спутников Земли^{*)}, а первые измерения проводились в начале 60- годов наземной аппаратурой.

Объяснение шаровой молнии следует искать прежде всего в том, что отличает грозу от других явлений природы – электрический пробой, возникновение плазменных сгустков, грозное электрическое поле, радиоизлучение.

§ 3. Противоречия гипотезы – основа решения задачи

Процесс формирования гипотез – субъективный. Проанализировав наблюдения, обобщая известные для близких областей науки решения,

*) См., например, Качурин Л.Г., Полтинников В.И. О селекции теплового и нетеплового радиоизлучения при зондировании земли со спутников // Физика атмосферы и океана. – 1976. – № 9. – С. 947.

можно интуитивно понять сущность данного явления. Не исключено, что другой человек на той же основе будет считать ответственным за то же явление другой класс законов природы. Поэтому после того как гипотеза сформулирована, ее нужно проверять объективно, используя известные методологические приемы.

В математике, в частности, широко используется способ логических рассуждений, связанный с понятием о необходимых и достаточных условиях. Необходимо – это значит: допустим, что данное утверждение истинно, проверим, что из этого следует, какие условия должны обязательно выполняться. Необходимые условия, однако, еще не гарантируют, что утверждение реализуется: может быть этих условий недостаточно, что-то еще пропущено.

Следуя такому методу, сформулируем утверждение: шаровая молния есть стационарно существующий в электрическом поле грозы плазменный сгусток с нетепловым характером оптического излучения, перемещающийся под действием газодинамических и электрических сил.

Что необходимо должно выполняться^{*)}, если исходить из реальности такого утверждения?

Сразу же возникает, казалось бы, очевидное противоречие – рассеяние энергии и электростатическая неустойчивость распределенных зарядов исключает возможность существования подобного сгустка в течение времени, превышающего $10^{-2} - 10^{-7}$ секунды.

Но, как сказал Шерлок Холмс, ничто так не обманчиво, как слишком очевидные факты, поэтому, во-первых, необходимо исключить из рассмотрения модели шаровой молнии, предполагающие ее существование без подвода энергии извне; во-вторых, надо искать класс процессов, в котором электростатическая неустойчивость может быть подавлена. Известно, что при наличии колебаний электромагнитного поля (волн в плазменном сгустке) ограничения электростатики на устойчивое равновесие снимаются.

Подвод энергии извне в виде радиоволн нереален^{**)}, следствие – высокочастотные колебания должны быть заперты внутри плазменного

*) Изложенное ниже основано на работе: Хазен А.М. Шаровая молния: стационарное состояние, подвод энергии, условия возникновения // Доклады АН СССР. – 1977. – Т. 235, №2. – С. 288–291.

**) Читатель должен помнить о сводке свойств шаровой молнии и проверять, как это делал и автор, не возникают ли непреодолимые противоречия с фактами. Полное сопоставление с наблюдениями будет дано в следующем параграфе.

сгустка, а относительно малый дефицит энергии, расходуемый на оптическое излучение и разлет электронов, должен восполняться электрическим полем грозы с преобразованием внутри шаровой молнии его энергии в радиочастотные колебания.

Для того чтобы электромагнитное поле могло оказаться локализованным в некотором объеме, например шарообразном, необходимо наличие у него отражающей границы. Отражение радиоволн возможно в том случае, если по радиусу сгустка плазмы будет определенным образом изменяться диэлектрическая проницаемость среды. Хорошо известно, что для радиоволн диэлектрическая проницаемость среды, содержащей свободные электроны, зависит от их концентрации (вспомните о радиосвязи на коротких волнах в ионосфере). В силу исходного утверждения плазменный сгусток распадается, концентрация электронов из-за этого в нем изменяется по мере удаления от центра сгустка, а вместе с ней меняется и диэлектрическая проницаемость, т.е. могут возникнуть условия для реализации отражающей границы.

Правда, для ионосферы справедливо условие: частота поля много больше частоты соударений электронов с нейтральными молекулами, а вблизи земли выполнение этого условия осуществимо при частотах, близких к оптическим, что неправдоподобно для шаровой молнии. Отметим этотстораживающий факт, но рассуждения, тем не менее, продолжим.

Хорошо известно из экспериментов, что обычная молния является источником монохроматического радиоизлучения в освоенных техникой (и наиболее вероятных для шаровой молнии) радиолокационных диапазонах волн, а ведь ограничения на взаимосвязь частоты соударений и частоты радиокослебаний должны проявляться и при генерации этих волн.

Но независимо от условий не столкновения на нашем пути новое противоречие: электромагнитное поле, отражаясь от границы сгустка, должно оказывать на нее давление и поэтому, казалось бы, стационарно не может быть локализовано в объеме плазмы. Ведь опирающихся на что-либо границ сгустка нет. Это противоречие снимается той известной особенностью электромагнитных процессов, в силу которой действующие на диэлектрическую среду силы зависят не от самого высокочастотного поля, а от градиента квадрата его напряженности и диэлектрической

проницаемости среды – от осредненных по периоду высокочастотного поля величин. Поэтому свободные электроны, определяющие диэлектрическую проницаемость в нашей задаче, будут получать от поля импульс, разбрасывающий их. Это, как струя в реактивном двигателе, уравнивает силы на границе плазменного сгустка, а переданный этими электронами окружающему газу импульс создаст «опору» плазменного сгустка, определяющую возможность его движения вместе с нейтральными потоками в атмосфере.

Ионизация, вызванная внутри сгустка высокочастотным полем, будет компенсировать убыль частиц.

Таким образом, утверждение о том, что шаровая молния является плазменным сгустком, необходимо приводит к тому, что в этом сгустке должны быть возбуждены и поддерживаться высокочастотные электромагнитные колебания, а рассеяние частиц и их рождение обязано быть связано с пространственным распределением в сгустке амплитуд этих колебаний. Тогда сгусток сможет устойчиво существовать, сохранять форму, двигаться вместе с потоком воздуха именно потому, что он все время рассеивает составляющие его частицы.

Кроме того, рассеяние частиц увеличивает проводимость воздуха вокруг шаровой молнии. Даже тогда, когда электрическое поле грозы меньше, чем необходимо для развития пробоя, например, внутри помещений, в нем существуют токи утечки, но нет видимых эффектов. Повышенная проводимость концентрирует токи утечки, в том числе и без свечения.

Количественные оценки показывают, что такой процесс обеспечивает достаточный подвод энергии для того, чтобы восполнить ее потери с разлетающимися частицами и свечением шаровой молнии.

Механизм превращения энергии постоянного поля в радиоволны для неоднородных плазменных сгустков известен – это генерация электрическим током продольных волн плотности зарядов и их трансформация на неоднородной границе сгустка в поперечные электромагнитные волны.

Процессы в плазме, использованные выше для объяснения шаровой молнии, хорошо исследованы теоретически и экспериментально, устойчиво воспроизводятся в достаточно широком диапазоне условий. Однако вряд ли они в шаровой молнии реализуются в точности так же, как в научных лабораториях последних десятилетий. В начале этого

параграфа упоминалось о настораживающем характере возможной оценки частоты колебаний, вытекающей из условия на частоту соударений электронов с нейтральными молекулами. Поэтому все изложенное выше станет более убедительным, если установить специфику процессов соударений электронов именно в атмосфере^{*)}.

Оказывается, что основные составляющие атмосферы – азот и кислород – определяют такую зависимость частоты соударений электронов с молекулами воздуха в функции от их кинетической энергии, что сила сопротивления движению электронов при их определенных энергиях падает. Этот эффект имеет место как раз в зоне тех энергий, которые электрон должен приобрести в поле высокочастотных колебаний внутри шаровой молнии. Это важно для реализации процессов подвода энергии к шаровой молнии путем генерации и поддержания высокочастотных колебаний в ней. Процессы в плазме можно описывать не только так, как это сделано выше, но и на основе понятия о функции распределения электронов по величине кинетической энергии. Но в электрическом поле падающий участок характеристики частоты соударений обеспечивает формирование отклонения функции распределения от так называемой максвелловской, характерной для равновесных процессов. Это есть опять-таки необходимое условие развития всех тех процессов, о которых говорилось раньше.

Обратившись к истории науки, мы найдем интересный аналог нашей модели шаровой молнии. На рубеже XX века В. Томсоном (лордом Кельвином) и его однофамильцев Дж. Дж. Томсоном (см. § 5 гл. 2) была предложена модель атома-шара, состоящего из многих тысяч распределенных в пространстве отрицательных (электронах) и положительных электрических зарядов. Вскоре известные опыты Э. Резерфорда показали, что в атоме есть «твердое» ядро. Остроумные попытки Дж. Дж. Томсона примирить свою модель с этим фактом не выдержали испытания временем. Атом с ядром в виде одной частицы и вращающимися вокруг него отдельными электронами стал общепризнанным. Его математическая модель основана на уравнениях

^{*)} Именно в этих вопросах существенно сказывается конкретная специфика земной атмосферы. Важна дисперсия диэлектрической проницаемости, а электронный механизм ее возникновения не единственный, можно предложить и другие.

Шрёдингера для функции φ , связанной с вероятностью нахождения электрона в заданной точке пространства.

Предложенная модель шаровой молнии – это и есть природная реализация атома Томсона, устойчиво существующего при подводе энергии извне.

В математическом смысле между описанием атома на основе уравнения Шрёдингера и шаровой молнии как атома Томсона справедлива прямая и эффективная аналогия.

Если рассматривать переменное электромагнитное поле в среде с неоднородной диэлектрической проницаемостью, то его потенциал φ будет описываться уравнением типа Шрёдингера. В частности, для случая квазинейтральной плазмы при специфическом предположении (вектор напряженности электрического поля перпендикулярен градиенту диэлектрической проницаемости) для электрического потенциала φ можно записать уравнение, полностью аналогичное уравнению Шрёдингера для электрона в кулоновском поле ядра атома. Тот член в уравнении, который при описании атома отвечает закону взаимодействия электрона и ядра, для переменной φ в виде электрического потенциала будет отражать распределение в пространстве диэлектрической проницаемости среды. Квантовые условия, определяющие энергетические уровни для электрона в атоме, превратятся в условия, связывающие длину волны колебаний с размерами шаровой молнии.

Решение уравнения даст пространственное распределение потенциала запертого в шаровой молнии высокочастотного электромагнитного поля. Можно задать распределение диэлектрической проницаемости в плазме шаровой молнии и проанализировать получающиеся решения. Например, для аналога уравнения Шрёдингера, описывающего электрон в кулоновском ядре атома, примененного к шаровой молнии, диэлектрическая проницаемость вне шаровой молнии окажется отрицательной. Это означает, что в пространстве вне шаровой молнии за счет каких-то источников должен поддерживаться избыток энергии. Такой механизм подвода энергии к шаровой молнии противоречит тому, что известно о грозе.

Противоречие не случайно. Ведь для электронов в реальных атомах характерно «вечное движение» без потерь, а шаровая молния обязательно требует подвода к ней энергии.

И опять противоречие указывает правильный дальнейший путь. При строгом, без искусственных упрощающих предположений, выводе уравнений для потенциалов электромагнитного поля в неоднородной среде в них обязательно появляются члены, описывающие потоки и положительное или отрицательное затухание. Но потоки связаны с диффузией заряженных частиц, а отрицательное затухание есть способ подвода энергии к шаровой молнии, введенный нами при описании ее модели. Появляется возможность вместо волевого задания распределения в пространстве диэлектрической проницаемости (концентрации заряженных частиц) рассмотреть самосогласованную систему уравнений электромагнитного поля и диффузии частиц. Это сразу дает подсказку – какие и где искать особенности законов соударения и диффузии для процессов в атмосфере при нормальном давлении^{*)}.

§ 4. Модель шаровой молнии и наблюдения

Основные особенности модели шаровой молнии, описанной в предыдущем параграфе, заключаются в следующем.

Шаровая молния – плазменный сгусток. Его существование как целого, форму, свечение определяют запертые в нем электромагнитные высокочастотные колебания. Он непрерывно получает энергию от постоянного электрического поля грозы. Сгусток рассеивает электроны.

В проверке реальности такой модели нам поможет сопоставление с наблюдениями. Разобьем его на группы так же, как это сделано в § 1 при обобщении наблюдений очевидцев.

Возникновение шаровой молнии. В процессе формирования пробоя линейной молнии происходит генерация радиоволн. Этот факт подтверждается многочисленными наблюдениями. На генерацию радиоволн должна быть затрачена энергия; именно поэтому даже возможно прекращение линейного пробоя. Развитие разряда связано с ионизацией, возникающие при этом неоднородности концентрации электронов могут создать условия для отражения радиоволн. Ионизация перед границей отражения несколько повысится и появятся условия для запираания колебаний в плазменном резонаторе; это и означает

^{*)} Подробнее см.: Хазен А.М. Уравнения для описания шаровой молнии и способ ее экспериментального воспроизведения // Ломоносовские чтения. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – С. 63.

возникновение шаровой молнии. Поэтому, как и следует из наблюдений, шаровая молния может возникать как в связи с ударом линейной молнии, так и в результате процессов в незавершившихся каналах линейной молнии. Если ни один из путей начавшегося разряда не приведет к завершению линейного пробоя, то появление шаровой молнии вообще не будет видимым образом связано с линейной молнией, так как линейная молния становится таковой только на стадии возвратного удара. В частности, поскольку «гром с ясного неба» – реальность многовековых наблюдений, шаровая молния может в редких случаях возникать и при ясном небе.

Вместе с тем существует и второй равноправно реализуемый механизм возникновения шаровой молнии. Он связан с ударами линейной молнии в проводящие или слабо проводящие предметы. В этом случае токи растекания от основного импульса молнии создают перенапряжения на острых выступах предметов – проводов, стволов деревьев и пр. Начинается коронирование, создающее ионизированный газ – плазму. Но проводники являются неплохими поверхностными волнопроводами, канализирующими высокочастотную энергию. Поэтому в зону плазмы коронного разряда одновременно подводится и энергия высокочастотных колебания, генерируемых каналом линейной молнии. Далее процессы идентичны описанным выше: поднимается ионизация, высокочастотное поле формирует плазменный резонатор, запирающий колебания, и шаровая молния начинает самостоятельное существование. Прочитайте внимательно еще раз наблюдения очевидцев и убедитесь, что противоречий с ними нет.

В многочисленных наблюдениях очевидцев фигурирует еще и процесс появления шаровой молнии, т.е. не возникновение ее непосредственно в зоне видимости, а приход ее откуда-то из-за пределов видимости. Это объясняется тем, что из-за наличия в атмосфере не только электронов и положительных ионов, но еще и отрицательных ионов для шаровой молнии неизбежен малый нескомпенсированный заряд, так как подвижности электронов и отрицательных ионов существенно различны. Но поле грозы может иметь относительно земли разные знаки. Поэтому где бы в атмосфере ни возникла шаровая молния, она неизбежно будет либо подниматься вверх, либо опускаться к земле, двигаясь при этом в зоны концентрации электрического поля. Связь повышенной напряженности грозового поля и мест, где могут находиться люди,

существует. Поэтому на больших высотах шаровая молния закономерно движется вблизи самолетов и пр., а на земле – вблизи домов, колодцев, линий электропередачи и пр., т.е. в зоне повышенной вероятности ее наблюдения.

Как видите, без каких-либо натяжек, казалось бы, принципиально противоречивые наблюдения шаровой молнии оказываются объединенными общим механизмом.

Исчезновение шаровой молнии. Камнем преткновения для всех известных гипотез является вопрос о внутренней энергии шаровой молнии, о противоречии между многочисленными наблюдениями, с одной стороны, плавного затухания шаровой молнии и, с другой стороны – более или менее разрушительных взрывов, сопровождающих ее исчезновение.

В нашей модели такого противоречия нет. Шаровая молния непрерывно получает энергию от грозового поля. Интенсивность подвода энергии зависит от неизвестных наблюдателю факторов: напряженности грозового поля, проводимости атмосферы, взаимодействия разбрасываемых шаровой молнией электронов с окружающими предметами. Поэтому существуют две возможности исчезновения шаровой молнии.

Первая возможность: уменьшение подвода энергии, сопровождающееся затуханием колебаний в шаровой молнии, когда остается только запах, связанный с ионизационными процессами.

Вторая возможность: неожиданное, не связанное с видимыми эффектами для наблюдателя увеличение подвода энергии. Частота колебаний в шаровой молнии по порядку величины не должна быть меньше 10^9 Гц, а характерное время тепловых процессов – $10^{-2} - 10^{-3}$ с. За это время в резонаторе шаровой молнии может произойти несколько миллионов колебаний, амплитуда которых должна возрастать, как в обычном генераторе. Поэтому при улучшении условий подвода энергии резонатор, образованный шаровой молнией, может не успеть распаться. К моменту его разрушения энергия шаровой молнии возрастет настолько, что срыв колебаний позволит выделиться теплу небольшого взрыва. В наблюдениях взрывы оцениваются как эквивалентные не более чем 100 г тротила, что вполне соответствует изложенному выше.

После исчезновения шаровой молнии часто наблюдаются искровые каналы, оплавления электропроводки и т.п. С точки зрения описанной модели это вполне логично. Пока шаровая молния существовала, не

вызывающий свечения ток поля грозы был распределен на относительно большой площади, его энергия уходила на поддержание колебаний в резонаторе шаровой молнии, и поэтому протекание тока по окружающим предметам не создавало видимых эффектов («темновой ток»). Но генерация в резонаторе сорвана, шаровая молния исчезла, образовавшие ее частицы больше не участвуют в высокочастотных процессах, а поле грозы существует. Повышение проводимости за счет частиц из распавшейся шаровой молнии концентрирует ток, т.е. развивается локальный микропробой. Токи в нем невелики – от десятых долей ампера до десятков ампер, но для поражения электрическим током со смертельным исходом, для обугливания дерева и даже для оплавления тонких осветительных проводов этого вполне достаточно.

Стационарное состояние шаровой молнии. Диапазон частот колебаний, которые могут быть заперты в резонаторе шаровой молнии, не может быть очень большим, так как эти частоты определяются параметрами атмосферы. С частотой колебаний связаны размеры резонатора, т.е. видимые размеры шаровой молнии. Поэтому должен существовать преимущественный размер шаровых молний. Достоверным результатом наблюдений является наличие такого выделенного размера, а именно: максимум наблюдений шаровых молний отвечает диаметрам 10–30 см.

Поскольку шаровая молния получает энергию извне и согласно описанной выше модели при стабилизированных условиях подвода энергии может существовать сколь угодно долго, то соответственно нет преимущественной длительности ее существования. Но достоверным результатом обобщения наблюдений очевидцев является именно независимость частоты наблюдений от времени существования шаровой молнии. Малое количество очень короткоживущих (менее 0,5 с) и очень долгоживущих (более 200 с) шаровых молний – это особенность условий наблюдения: долгоживущую шаровую молнию легче рассмотреть и запомнить, чем ту, которая промелькнет за полсекунды.

Вероятность времени наблюдения шаровой молнии более 100–200 с мала не только из-за того, что она за это время вполне может уйти из поля зрения. Большое время сохранения в атмосфере стабильного грозового поля также маловероятно.

Цвет шаровой молнии, что совершенно естественно для газовых разрядов, в частности и для высокочастотных, очень сильно зависит от

малых примесей в атмосфере и, кроме того, может меняться при изменении амплитуды колебаний в резонаторе шаровой молнии. Красно-фиолетовые цвета связаны со свечением азота, желтые – с натрием, который всегда может оказаться в атмосфере (поваренная соль, например), отсюда и разнообразные желто-красные оттенки (их могут давать и частички пыли); бело-голубые цвета характерны для свечения кислорода; зеленый же цвет для шаровых молний редок, так как он связан с атомами меди или сложными возбуждениями аргона, а ни то, ни другое не характерно для атмосферы.

Ядро шаровой молнии, эффекты, отождествляемые с вращением, – все это особенности конкретных свечений высокочастотного разряда в газе, когда возможны, в частности, изменения в яркости, принимаемые за вращение. Нет никаких запретов ни на свечения столь малой интенсивности, что шаровая молния будет прозрачной, ни на возбуждение ультрафиолетового излучения, связанного с наблюдениями загара от шаровой молнии, ни на повышенную яркость свечения при наличии примесей, дающих больший выход излучения. Как видите, и в этих вопросах противоречивость наблюдений – довод в пользу справедливости описанной выше модели шаровой молнии.

Форма шаровой молнии. Круглая форма шаровой молнии – естественное следствие того, что генерация в резонаторе более вероятно возникает на первой моде колебаний, связанной со сферической симметрией. Овальные формы могут быть проявлением действия постоянного поля грозы, немного возмущающего форму резонатора. Упоминаемые наблюдателями «нити» и «выступы» в местах их входа – ставшая видимой концентрация, вообще говоря, невидимого свечения тока, подводящего энергию к шаровой молнии. Очень редко встречающиеся упоминания о сложных формах шаровой молнии – это, соответственно, и более редкое возбуждение высших мод колебаний.

Изменение диаметра шаровой молнии, отмечаемое некоторыми наблюдателями, – это изменение частоты колебаний в резонаторе из-за каких-то (невооруженным глазом не наблюдаемых) изменений в атмосфере. Разбиение шаровой молнии на несколько меньших – переход на генерацию высших гармоник колебаний, для которых сохранение единого резонатора, работающего на этих модах, менее вероятно.

Кстати, первая мода колебаний в «гибком» резонаторе может давать именно такие его формы, какие дает упругая сфера, т.е. шаровая молния может прогибаться и претерпевать другие изменения формы.

«Мохнатая поверхность», поверхность, «состоящая из иголок», – результат более интенсивного разброса электронов градиентом осредненного высокочастотного электрического поля.

Часто наблюдаемое искрение от шаровой молнии – это концентрация разбрасываемыми шаровой молнией электронами темного тока ее питания.

Длина волны колебаний, ответственных за существование шаровой молнии, должна быть порядка ее размеров. Капли дождя малы по отношению к таким размерам. Дифракция запертых в резонаторе волн на этих каплях должна давать небольшие изменения параметров шаровой молнии. Кроме того, дождевая вода содержит очень мало солей и поэтому почти идеальный диэлектрик; потери в каплях могут и не срывать колебания в резонаторе.

Было бы очень интересно получить от читателей, среди которых должно оказаться немало очевидцев шаровой молнии, письма с более подробным описанием взаимодействия шаровой молнии и капель дождя. Интересно, как связано число наблюдений шаровой молнии, пронизываемой дождем, с местом, где происходит наблюдение – в большом городе или «в чистом поле». В городах неизбежно загрязнение капель в процессе их падения, рост их проводимости.

Что касается случая, когда охотник выстрелил в шаровую молнию, то, если он в нее попал, мелкая дробь имеет достаточно высокую проводимость, чтобы из-за эффектов скин-слоя потери в ней мало влияли на затухание колебаний.

Локализация и движение шаровой молнии. Отметим, во-первых, небольшой нескомпенсированный заряд шаровой молнии сложного состава. Так как электростатические силы велики, то, на какую бы компоненту заряженных частиц ни действовала бы сила со стороны грозового поля, двигаться будет весь коллектив частиц.

Еще одна электрическая причина движения шаровой молнии – это силы, связанные с возникновением для проводящих тел эквивалента повышенной диэлектрической проницаемости и движения их при наличии градиента электрического поля противоположным образом в зависимости

от того, как задано поле: постоянными зарядами или постоянными потенциалами проводников.

Шаровая молния потому так упорно залетает в окна домов и форточки, что под домами из-за конденсации атмосферной влаги всегда повышен уровень грунтовых вод, т.е. существует концентрация грозового поля. Что касается экранирующего действия крыш и т.п., то, во-первых, не всегда известно даже строителям – заземлены они или нет; во-вторых, если рассматривать конфигурации поля в конкретной конструкции дома, цеха или иного сооружения, то окажется, что непроникание в них грозового поля справедливо не всегда; в-третьих, если заданы постоянные заряды проводников, т.е. ограничен приток зарядов к крышам и др., то молния как проводящая сфера будет выталкиваться электростатическими силами в область пониженной напряженности поля. Например, подлет шаровой молнии к дому вызван силами, действующими на нескомпенсированные заряды. Непосредственно вблизи дома и внутри него влажность меняется. Это меняет ионный состав шаровой молнии и на первый план выходят силы, действующие на нее как на диэлектрик. Поэтому, продолжая движение, она стремится в области пониженной напряженности поля, существующие внутри домов.

Ни одна из ранее предложенных моделей не смогла убедительно связать то, что сообщают очевидцы, с основными законами аэродинамики: не смогла объяснить, почему устойчив, т.е. не распадается выделенный объем газа – шаровая молния, движущийся сквозь атмосферу. Правда, известны некоторые сравнительно устойчивые аэродинамические конфигурации типа «колец», выпускаемых курильщиками, но они ничуть не похожи на шаровую молнию. В предложенной нами модели форма сгустка частиц сохраняется не из-за отличия от частиц газа, в котором они движутся, а из-за высокочастотного электромагнитного поля. Время жизни частиц, образующих резонатор, очень мало. Двигается или покоится шаровая молния – практически это не сказывается на расходе ее энергии: все время ионизируются новые частицы. Кстати, дисперсия диэлектрической проницаемости должна существовать в высокочастотном поле и для нейтральных молекул. Это неизбежно приведет к возникновению сил, действующих селективно по видам молекул на нейтральные компоненты атмосферных газов, эквивалентных поверхностному натяжению. Отсюда возможность механической причины движения шаровой молнии, заключающейся в той или иной ее плавучести.

Из наблюдений следует возможность чисто газодинамических причин движения шаровой молнии. Как уже упоминалось в предыдущем параграфе, электроны, разбрасываемые высокочастотным электромагнитным полем от границ резонатора, передают свой импульс молекулам нейтрального газа. Тем самым весь резонатор шаровой молнии вместе с его высокочастотным полем оказывается «опертым» на окружающий газ. Поэтому сквозняки, взмахи метлой (в рассказе о церковном стороже, выгнавшем шаровую молнию) способны управлять движением шаровой молнии точно так же, как они управляют движением легкого воздушного шарика: шаровая молния движется вместе с потоками газа. Но так будет только в том случае, если по каким-либо причинам электрические силы, действующие на шаровую молнию, малы по отношению к газодинамическим. Как только это условие нарушается, шаровая молния начинает столь же свободно двигаться против потоков воздуха. Конкуренция между четырьмя видами сил, вызывающих движение шаровой молнии, может приводить к «смене победителей».

Нескомпенсированный электрический заряд зависит от тонких особенностей состава атмосферы, диэлектрические силы – от проводимости атмосферы и сопротивлений утечки предметов в окрестности шаровой молнии. Характер движения в этих случаях диаметрально противоположно будет определяться градиентами грозового поля.

Во всех наблюдениях отмечается характерное для шаровой молнии огибание препятствий, движение на постоянном расстоянии от них. Легкий воздушный шарик в помещении под действием сквозняков будет двигаться именно так, как движется шаровая молния, огибая препятствия. Шаровая молния рассеивает электроны, а этим, с одной стороны, заряжает окружающие предметы, а с другой – создает механический импульс, передаваемый газу, – очень легкий «ветерок», стабилизирующий расстояние до препятствий. Шаровая молния довольно часто не только наталкивается на предметы, но и заведомо стремится к ним. Значит, есть и электрические силы. И если электрические силы – определяющие, то шаровая молния будет проникать и через стекла домов, как это изредка наблюдается: высокочастотное поле проходит через слой диэлектрика, много меньший длины волны колебаний, и вызывает ионизацию по другую его сторону. В результате нагрева из-за диэлектрических потерь возможно быстрое разрушение стекла на площади, отождествляемой с

диаметром шаровой молнии. А проникновение через щели обсуждать трудно, пока не будут собраны сведения о деталях этого процесса (ширина щелей, проводимость их поверхностей, наличие проводников, например, гвоздей, и пр.).

То, что шаровая молния не взаимодействует с ферромагнетиками, естественно. Для поля сверхвысоких частот, существующего в резонаторе шаровой молнии, магнитная проницаемость железа близка к единице. Случаи оплавления металлических предметов, изолированных от земли, не противоречат описанной модели. Речь идет об относительно малых предметах, вызывающих только эффект дифракции. Если же условия подвода энергии благоприятны, то энергии грозового поля может хватить и на большее.

Возможно, что-то в этом сопоставлении свойств нашей модели и наблюдений очевидцев оказалось пропущенным. Читатель дополнит автора самостоятельно, в порядке, если угодно, «домашнего задания».

Что касается вопроса о том, насколько достоверны наблюдения, то нужно заметить, что объективность требует учесть каждое описание шаровой молнии. Однако ни одно отдельно взятое наблюдение нельзя считать «решающим экспериментом». Например, если безоговорочно признать достоверность проникания шаровой молнии через стекло, которое разрушено в пределах площади ее сечения, и знать, что получившиеся осколки – мелкие и однородны по размерам, то пришлось бы отбросить все модели, не связанные с высокочастотными колебаниями внутри шаровой молнии. Но опираться можно только на наблюдения, коррелирующие со всем комплексом известных свойств.

Можно ли искусственно воспроизвести шаровую молнию? Основываясь на сказанном выше, можно дать утвердительный ответ.

Схему эксперимента можно представить в следующем виде. Возьмем проводник, проходящий через центр антенны передатчика СВЧ. Вдоль проводника будет, как по волноводу, распространяться электромагнитная волна. Такой способ СВЧ-колебаний иногда используется. Проводник возьмем достаточно длинный, чтобы антенна непосредственно электростатически не влияла на его свободный конец. Подключим этот проводник к импульсному генератору высокого напряжения и, включая генератор СВЧ, подадим на него короткий импульс напряжения, достаточный для того, чтобы на свободном конце мог возникнуть коронный разряд. Импульс высокого постоянного напряжения

сформируем так, чтобы после его заднего фронта напряжение на проводнике падало не до нуля, а сохранялось на уровне, меньшем необходимого для коронирования. Если менять амплитуду и время импульса постоянного напряжения, варьировать частоту и амплитуду поля СВЧ, влажность, то шаровая молния должна появиться, т.е. после выключения переменного поля на конце проводника должен остаться и, возможно, даже отделиться от проводника светящийся плазменный сгусток.

Автора нередко спрашивали на лекциях, опасна ли шаровая молния, что делать, если она появилась вблизи? Безусловно, опасна: появление шаровой молнии есть предупреждение, что человек находится в зоне экстремальных значений напряженности грозового поля со всеми вытекающими последствиями. Может, в частности, произойти пусть незавершенный, только начинающийся, пробой атмосферы, но этого достаточно для смертельного исхода. Вместе с тем ясно, что при появлении шаровой молнии следует избегать резких движений. То, что она обогнет человека, очень вероятно и подтверждается многими наблюдениями. Но при резком движении человек может сам наткнуться на шаровую молнию и нарушить в ней высокочастотные колебания. Тогда произойдет развитие на месте шаровой молнии небольшого искрового канала и результат неизбежно окажется трагическим.

Отмечаемые некоторыми очевидцами биологические эффекты типа онемения рук или ног иногда происходят при воздействии поля СВЧ. Поэтому получение человеком от шаровой молнии радиочастотного облучения в опасном количестве, к сожалению, не исключено.