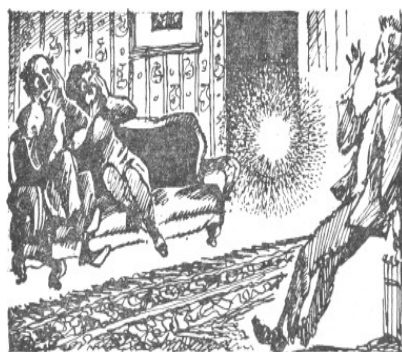
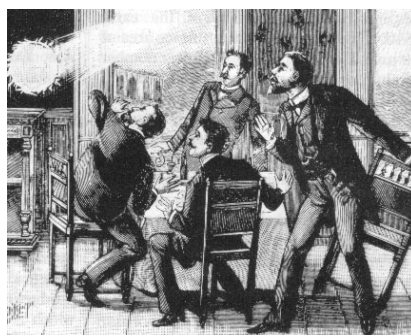


В. П. Торчигин, А. В. Торчигин

ШАРОВАЯ МОЛНИЯ

(от невероятного к очевидному)



МОСКВА
2009



В. П. Торчигин, А. В. Торчигин

ШАРОВАЯ МОЛНИЯ
(от невероятного к очевидному)

МОСКВА
2009

ББК 22.336

Торчигин Владимир Павлович, Торчигин Александр Владимирович.

Шаровая молния (от невероятного к очевидному) – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. -144с

В настоящей книге рассматривается гипотеза о том, что шаровая молния является пузырем, оболочка которого состоит из сильно сжатого воздуха. В оболочке циркулирует по всевозможным направлениям обычный интенсивный белый свет. Цель книги – трансформировать эту невероятную гипотезу в очевидный научный факт. Изложение основано на десятке статей, опубликованных в ведущих физических международных журналах.

Книга предназначена для широкого круга читателей: школьников, студентов, аспирантов и научных работников. Она может быть использована в качестве учебного пособия по разделам оптика, электричество, молекулярная и ядерная физика.

Рецензенты

Д. т. н., проф. *Л. Н. Магдич* (зав. лаб. НИИ «ПОЛЮС»)

Д. ф.-м. н. *В.А. Сычугов* (зав. лаб. Института общей физики им. А. М. Прохорова РАН)

Д. т. н., проф. *А.В. Черняев* (зав. кафедрой Московского авиационно-технологического Института им. К. Э. Циолковского)

На первой странице обложки помещены фотографии, дающие представление о том, как выглядит шаровая молния со слов очевидцев. На 2-й странице – рисунки шаровой молнии, выполненные со слов очевидцев в прошлые века. На 3-й странице – фотографии светящихся объектов, получаемых учеными в настоящее время в лабораториях.

Иллюстрации взяты с сайтов

www.tangmonkey.com/balllightning/gallery.php
www.daviddarling.info/encyclopedia/B/ball_lightning
skeptic.com/balllightning.html
www.physorg.com/news68812957.html

«Книжный дом “ЛИБРОКОМ”»
117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, 9
Формат 60 90/16. Печ. Л. 9. Зак. №2079

ISBN 978-5-397-00199-1

Истина всегда оказывается проще,
чем можно было предположить.
Ричард Фейнман

Введение

Феномен шаровой молнии (ШМ) остается неразгаданным до настоящего времени. «Шаровая молния: нерешенная проблема физики атмосферы» - это название последней изданной монографии в 1999 году. Мы можем уточнить это утверждение и сказать, что шаровая молния – это позор современной физики. Она проникла в тайны ядра и вселенной, изобрела лазеры и транзисторы, которые в корне изменили условия жизни и деятельности человечества. Однако загадочное природное явление, которое наблюдается и изучается учеными в течение многих веков, не нашло удовлетворительного объяснения до настоящего времени. Известно более 200 различных теорий ШМ, проведена их систематизация и классификация, однако ни одна из них даже приблизительно не может объяснить загадочное и интригующее поведение шаровых молний, которое в определенной мере напоминает поведение некой высокоорганизованной материи. Физики не могут представить себе объект, подчиняющийся общепринятым законам физики, свойства которого совпадали бы со свойствами шаровой молнии. Действительно, невозможно представить себе автономный объект, который мог бы чувствовать и обходить препятствия, проникать в помещение сквозь оконные стекла и узкие щели, изменяя при этом свою форму, мог двигаться против ветра, мог сопровождать летящий самолет и не сдуваться потоком воздуха, скорость которого больше, чем в сильнейшем урагане. Этот объект излучает холодный белый свет, который не жжет, в отличие от белого света, излучаемого любым телом, нагретым до белого каления. Это что-то принципиально новое.

В 1838 году известный французский ученый Араго впервые опубликовал обзор 20 сообщений о встречах с шаровыми молниями. После 16 лет исследований этого явления он писал в 1854 году: «Шаровые молнии, о которых я упоминал много раз и которые привлекают к себе внимание, во-первых, плавностью и неопределенностью своего движения и, во-вторых, величиной разрушений, которые они производят при взрыве, на мой взгляд являются наиболее необъяснимой проблемой современной физики. Эти огненные шары казалось бы должны быть агломератами некоторой материальной субстанции, совпадающей с субстанцией самой молнии. Как такие агломераты

формируются? Из какого участка молнии они происходят? Откуда берется вещество для их образования? Какова их природа? Почему они иногда останавливаются при движении, а после начинают двигаться более быстро? Наука бессильна ответить на эти вопросы».

В настоящее время, спустя полтора века, наука не может ответить ни на один из поставленных вопросов. Более того, перспективы разгадки этого явления весьма туманны. Изучение физики шаровой молнии зашло в тупик. Например, известный журнал *Nature*, в котором в течение последнего века опубликованы десятки гипотез, в последнее время с отчаяния прекратил публикации о шаровой молнии. Нужны какие-то принципиально новые идеи. Это весьма трудная задача, так как в течение веков уже были предложены все мыслимые гипотезы. Однако ни одна из них не смогла объяснить наблюдаемые свойства шаровых молний. По образному выражению репортера известного американского журнала *New Scientists* Роберта Метьюза «Шаровая молния представляет собой летающий мешок парадоксов».

Авторам удалось придумать совершенно новый объект, а затем тщательно исследовать его свойства, опираясь на известные законы физики. Разумеется, он совершенно необычен, о его существовании никто ранее не подозревал. Поэтому такой объект не мог изучаться ни теоретически, ни экспериментально. Более того, о нем не было даже ни одного упоминания. Авторы сначала полагали, что подобный объект может быть только плодом необузданного или воспаленного воображения, либо насмешкой над физиками. Однако, допустив априори невероятное, что подобные объекты существуют, они к своему большому изумлению обнаружили, что поведение этих объектов в земной атмосфере полностью совпадает с загадочным и интригующим поведением шаровых молний. Они с удовлетворением замечали, что им постепенно открывались все новые свидетельства, как бы специально для того, чтобы подтвердить справедливость из предположения. После этого пропали все сомнения в том, что в природе существуют такие объекты. Оставалось лишь обосновать это теоретически. Это задача с известным ответом. Ниже на суд читателя выносятся наши соображения. Пусть читатель судит, насколько они убедительны.

Рассматриваемый объект действительно представляет собой летающий мешок. Однако он наполнен не парадоксами, а совершенно пуст. Вернее внутри него находится такой же воздух, как и вне его. Шаровая молния (ШМ) представляет собой саму замкнутую прозрачную пленку. В качестве такой пленки выступает тонкий слой сильно сжатого воздуха, в котором по всем направлениям циркулирует обычный интенсивный белый свет, поддерживая избыточное давление воздуха в пленке благодаря создаваемому светом электрострик-

ционному давлению. Показатель преломления пленки больше показателя преломления окружающего пространства. Пленка выступает как планарный световод, кривизна которого отлична от нуля. Свет, введенный в такую пленку, может распространяться в ней по всем направлениям, но остается в пленке и не излучается в окружающее пространство. Таким образом, шаровая молния – это комбинация света и пленки сжатого воздуха. Сжатый воздух обеспечивает циркуляцию света в пленке. Циркулирующий свет, в свою очередь, обеспечивает сжатие воздуха. Можно сказать, что ШМ – это самоограниченный свет, циркулирующий в тонком замкнутом слое сжатого воздуха, который этим светом и образован. Иными словами, свет циркулирует в замкнутой ловушке, которую он сам создает. Когда это образование становится неустойчивым, свет разлетается во все стороны свободного пространства, а воздух расширяется. При этом шаровая молния, как обычно говорят, исчезает «бесследно». В этом абзаце полностью описана физическая природа шаровой молнии.

Если ШМ находится в однородном воздухе, где нет избранного направления, оболочка под действием сжатого в ней воздуха приобретает сферическую форму. В этом случае ШМ представляет собой световой пузырь, напоминающий мыльный. Однако вместо мыльной имеется тонкая пленка сильно сжатого воздуха. В некоторых случаях световой пузырь может быть заряжен, в других случаях пленка может состоять из других газов. Однако во всех случаях ШМ состоит из тонкой сферической пленки, в которой циркулирует интенсивный свет. Таким образом, ШМ – главным образом явление оптической природы. Физические процессы, которые привлекаются к объяснению этого явления, известны более века. Поэтому такое объяснение ШМ могло появиться много лет назад.

Предложенное объяснение сразу вызывает много возражений физиков, и чем эрудированнее физик, тем больше возражений. Все эти возражения обоснованны, и ответ на них первоначально был неизвестен. Это и хорошо, и плохо. Хорошо в том смысле, что наша гипотеза достаточно «сумасшедшая», чтобы сразу быть отвергнутой специалистами. Все мыслимые «не сумасшедшие» гипотезы уже были высказаны по несколько раз в течение двух веков и не привели к положительному результату. Плохо в том смысле, что специалисты могут быть правы. Прежде чем отвечать на возражения, авторы решили исследовать свойства своих гипотетических пузырей и их поведение в земной атмосфере, опираясь при этом на общепринятые законы физики. К удивлению, эти свойства оказались такими же, как перечисленные интригующие и загадочные свойства ШМ. После этого было принято за аксиому, что в природе существуют световые пузыри и природные шаровые молнии являются экспериментальным под-

тверждением их существования. При таком подходе любое возражение должно рассматриваться как непонимание оппонентом некоторого явления, на которое он ссылается. Осталось только найти источник заблуждений, что в некоторых случаях является непростой задачей.

Таким образом, приняв а priori, что в природе существуют световые пузыри, и изучив теоретически их поведение в соответствии с общепринятыми законами физики, мы получили веские основания утверждать, что это наше предположение полностью себя оправдало. Многие авторитетные физики с большим интересом относятся к рассматриваемой гипотезе. Свидетельством тому служит тот факт, что книга написана на основе более десятка научных статей, прошедших тщательное рецензирование и опубликованных в международных физических журналах, таких как «Доклады Академии наук», «Physics Letters», «Optics Communication», «European Physical Journal», «Laser Physics», «Physica Scripta» и др.

Представленная в этих работах теория далека от завершения. Физики-профессионалы найдут для критики бесконечное число моментов, которые не были приняты во внимание, или трактовка которых упрощена. Авторы не ставили задачу – разработать модель шаровой молнии, которая бы являлась основным аргументом, подтверждающим правильности выбранного подхода, ибо любая модель – это прекрасная мишень для критики. Действительно, в любой модели невозможно учесть все многообразие явлений, происходящих в реальном мире. Задача была гораздо скромнее. Необходимо было опровергнуть основные возражения теоретического характера, которые наиболее часто высказывались оппонентами. Основным аргументом, подтверждающим правильность подхода, служат не выводы теории, а поразительное совпадение свойств ШМ и световых пузырей.

Книга состоит из четырех глав. Предполагается, что читатель знаком с основными особенностями шаровой молнии и многовековыми попытками раскрыть ее сущность. Этот материал может быть найден во многих публикациях. Настоящая книга посвящена рассмотрению исключительно одного подхода, который позволяет объяснить все странности поведения ШМ. Сознательно из книги исключены все математические формулы, чтобы книга была понятна более широкому кругу читателей. При желании с формулами можно ознакомиться в цитируемых работах авторов. Специалисты могут рассматривать эту книгу как руководство по этим работам. Объяснение физических процессов в ШМ производится на основе простых примеров, в которых имеют место подобные физические явления. Это в корне противоречит принятому во многих журналах по теоретической физике подходу, согласно которому необходимо сформулировать физическую проблему в виде математических уравнений, а затем исследо-

вать их свойства. Применительно к исследованиям явлений в шаровой молнии такой подход привел к исследованию многих математических моделей, хотя можно было сразу понять, что они даже приблизительно не могут объяснить бросающиеся в глаза странности поведения шаровой молнии. Явно прослеживается закономерность, что каждый ученый пытается применить свои знания. Химики пытаются использовать химические процессы для объяснения природы ШМ, специалисты по плазме - особенности возникновения и поведения плазмы, специалисты по электродинамике – процессы, связанные с движением электрических зарядов, специалисты по ядерной физике – особенности ядерных превращений и т. д.

Существует достаточно простой критерий, по которому, не будучи выдающимся физиком, а руководствуясь обычным здравым смыслом, сразу можно забраковать 99% существующих гипотез. Действительно, если ШМ может проникать через стекло, то ШМ не может состоять из частиц, поскольку любые частицы (электроны, ионы, атомы, молекулы, наночастицы и микрочастицы, не говоря уж о более крупных), не могут проникать через стекло. Такой же вывод можно сделать из того факта, что ШМ могут двигаться против ветра. Независимо от того, какие внутренние процессы имеет место между частицами в ШМ, внешняя сила в виде ветра увлечет за собой эти частицы, а следовательно и ШМ. Эти выводы следуют из знаний, полученных по физике в средней школе. Не является исключением из указанных 99% и наиболее популярная в настоящее время теория ШМ Абрахамсона и Динниса [Abrahamson. 2000], согласно которой ШМ возникает благодаря процессам окисления наночастиц кремния в воздухе. Эти частицы образуются в результате реакции окислов кремния и углерода при ударе линейной молнии в землю. Исключение может представлять несколько теорий, где появление ШМ связывается с присутствием некоторых внешних полей, в местах концентрации которых происходит разряд. Поля прекрасно проникают через стекло и не сдуваются ветром. Однако эти гипотезы не в состоянии объяснить странности поведения ШМ, которые в значительной мере зависят от специфики окружающих ШМ объектов. Например, ШМ проникает в помещение через щель или через окно, а не через стену, ШМ обходит в помещении препятствия. ШМ движется около пола, а не около потолка.

В первую очередь указанному критерию удовлетворяет электромагнитное излучение и, в частности, свет. Свет может проникать через окна. Окна для того и предназначены, чтобы через них проникал свет. Световой луч не сдувается ветром. Как известно свет распространяется прямолинейно. Обычно световой луч приводят в качестве примера прямой линии. Вообще говоря, световой луч может изо-

гнуться в направлении увеличения показателя преломления атмосферы, в которой он распространяется, а не в направлении ветра. Этим обстоятельством объясняются миражи в пустынях. Скорость света более чем в миллион раз превосходит обычную скорость других объектов на земле, имеющих массу.

Однако невозможно представить, чтобы свет мог быть сконцентрирован в некотором ограниченном объеме, размером с шаровую молнию без помощи других частиц. Правда, ШМ существует в атмосфере, где множество молекул воздуха. Оказывается, что они могут решить эту задачу. Это утверждение кажется совершенно неправдоподобным и невероятным. Цель книги – сделать его очевидным. В 2007 году небольшим тиражом вышло первое издание книги [Торчин, 2007]. Получив положительные отзывы, авторы подготовили второе издание для более широкого круга читателей.

В первой главе на элементарном уровне рассмотрена физическая природа ШМ. Приведены сведения об основных физических эффектах, ответственных за ее существование. Затем на основе общепринятых законов физики и оптики анализируется теоретически как такие пузыри должны были бы вести себя в реальных условиях земной атмосферы. Показано, что их поведение в точности соответствует всем странностям поведения ШМ. Авторы надеются, что после прочтения этой главы у читателя не останется сомнений в справедливости гипотезы, поскольку слишком много странностей ШМ она позволяет объяснить. Все эти объяснения собраны в одном месте, чтобы развеять скептицизм читателя количеством приводимых доводов.

Вторая глава посвящена анализу свойств и особенностей поведения в земной атмосфере объектов, изучаемых в течение последних двух веков в лабораториях в попытках получить искусственную ШМ. Обычно эти объекты представляют собой светящиеся шары различного размера. Экспериментаторы по-разному называют наблюдаемые ими объекты. Среди них встречаются такие названия, как долгоживущие светящиеся объекты, шарообразные плазменные образования, экзотические вакуумные объекты, сферические автономные объекты, светящиеся шарообразные объекты, аномальные плазменные образования и др. Показано, что все эти объекты имеют одну и ту же физическую природу и представляют собой световые пузыри с малым временем жизни и малой запасенной энергией. В дальнейшем для краткости все подобные объекты называются просто аномальными объектами (АО).

Высказанное ранее утверждение, что световые пузыри никем ранее не изучались, требует уточнения. Такие пузыри в виде АО давно получались и изучались в лабораториях, однако ни один из исследователей не подозревал, что изучает световые пузыри. Исследование

АО имеет неоспоримое преимущество перед исследованием ШМ, так как условия эксперимента могут быть многократно воспроизведены, а параметры АО тщательно измерены.

В третьей главе представлена теория ШМ. Вообще говоря, разработка теории – это задача физиков-теоретиков. Однако эту работу пришлось выполнять авторам. При этом пришлось преодолеть множество неопровержимых и неоспоримых, на первый взгляд, аргументов со стороны этих физиков в пользу того, что световые пузыри в принципе не могут существовать. Это относится к возможности света циркулировать в воздухе по траекториям с малым радиусом кривизны, к стабильности световых пузырей, к их аномально большому времени жизни. Пришлось заново изучать и уточнять природу создаваемого светом электрострикционного давления в газах.

Эти исследования оказались весьма полезными, так как не только прояснили происходящие в ШМ процессы, но и позволили выявить на основе анализа уже существующих экспериментальных данных новые физические эффекты, которые могут иметь место не только в ШМ. Необходимо подчеркнуть, что вся эта деятельность проводилась в рамках существующих общепринятых физических представлений. Многие сведения были взяты из пятитомного учебника физики Д. В. Сивухина и пятитомной «Физической энциклопедии». Эти работы проводились в условиях, когда заранее известен положительный ответ и необходимо только отыскать решение. Безусловно, уверенность в положительном исходе исследований способствовала их успеху.

Были большие сомнения в целесообразности добавления в книгу четвертой главы, в которой анализируется объективно существующая взаимосвязь между упоминаниями о ШМ и упоминаниями о низкотемпературных ядерных реакциях (НЯР). Известно, что официальная наука с большим подозрением относится к тематике, связанной с НЯР, полагая, что этими вопросами занимаются псевдо-, лже- и квазиученые. Несмотря на это четвертая глава была добавлена в книгу, так как полученные в ней результаты могут оказать большое влияние на решение проблемы разработки новых альтернативных источников энергии на основе НЯР.

По тематике НЯР ежегодно проводятся международные конференции, в которых принимают участие сотни ученых из всех индустриально развитых стран мира. Труды этих конференций доступны через Интернет. Именно в этих трудах часто упоминаются миниатюрные шаровые молнии. В конце концов, естественный радиоактивный распад безусловно является НЯР. В октябре 2008 года состоится «15 Российская конференция по холодной трансмутации химических элементов и шаровой молнии». Само название этой конфе-

ренции предполагает некую связь между шаровыми молниями и ядерными процессами.

Высказана и обоснована гипотеза, что физические условия внутри ШМ благоприятны для осуществления НЯР. Эта гипотеза нашла теоретическое обоснование при рассмотрении модели, в которой ядра представлены осцилляторами, взаимодействующими при приближении друг к другу. Показано, что такое взаимодействие может накапливаться в быстроприготовленном долгоживущем газе из плотно упакованных осцилляторов. Именно такой газ имеет место в ШМ. Оказалось, что этот вывод обладает большой предсказательной силой. На основе анализа различных источников, в которых упоминается о НЯР, показано, что во всех известных нам экспериментах присутствует быстроприготовленный долгоживущий газ из плотно упакованных молекул. Эти результаты могут быть использованы при разработке новых альтернативных источников энергии на основе НЯР.

Поскольку было выявлено существование в природе совершенно новых объектов, то естественно проанализировать наличие подобных явлений в других областях. В этой связи предпринята попытка рассмотреть поведение ядер элементов в предположении, что в них существуют такие же процессы и явления, как в ШМ. Постепенное уменьшение запасенной в ШМ энергии приводит к тому, что она становится нестабильной и распадается. Рассмотрены следствия из предположения, что энергия каждого изолированного ядра также постепенно уменьшается во времени, оно становится нестабильным и распадается. Возникающая при этом нестабильность ядер позволяет объяснить явление естественной радиоактивности. Показано, что взаимодействие ядер приводит к тому, что средняя энергия ядер остается при радиоактивном распаде неизменной во времени.

Пять лет назад авторы ничего не знали ни о шаровых молниях, ни о низкотемпературных ядерных реакциях. Проявив любопытство и задавшись простым вопросом – может ли в однородной нелинейной оптической среде существовать самоограниченный свет в виде светового пузыря, авторы погрузились в мир аномальных явлений, которые накапливались веками. Оказалось, что многие из этих явлений могут быть объяснены с привлечением концепции световых пузырей. Исследования были проведены по личной инициативе авторов. Все идеи и выводы отражают их личное мнение.

За помощь в подготовке книги и ценные замечания, способствовавшие значительному улучшению ясности и наглядности изложения, авторы выражают глубокую благодарность Е. Н. Арутюнову и Р. Б. Сейфуль-Муллюкову.

Глава 1. Объяснение загадочных свойств шаровой молнии

При изучении наук примеры полезней
правил

Исаак Ньютон

Существует множество различных теорий относительно природы ШМ. Ссылки на них можно найти в Интернете по ключевым словам «шаровая молния» или «ball lightning». Однако ни одна из них не является общепризнанной, так как не может объяснить многочисленные загадочные свойства ШМ. По образному выражению репортера популярного американского журнала New Scientist, ШМ представляет собой летающий мешок парадоксов. Она светится как 100-ваттная электрическая лампочка без видимых каналов подвода энергии. Она излучает немного теплоты, но может плавить стекло. Она парит в воздухе подобно газообразному шару, но в то же время сохраняет целостность, как шар из жидкости. Добавим, она может проникать через оконные стекла, не повреждая их. Она может изменять свою форму и проникать через узкие щели. Направления ветра и движения ШМ могут быть различны. Она может догонять и сопровождать летящий самолет, она не сдувается потоком воздуха, скорость которого в несколько раз больше скорости ветра при сильнейшем урагане.

Трудно себе представить какой-либо известный объект, который обладал бы подобными свойствами. В своей совокупности эти свойства противоречат общепринятым законам физики. Ряд выдающихся физиков, например, Кельвин, считали, что это не более, чем оптическая иллюзия. Фарадей был менее категоричен, однако и он полагал, что ШМ не связана с электрическими явлениями (как следует из нашей книги, он был прав).

В настоящее время имеются многочисленные базы данных, в которых собраны более 10 000 свидетельств очевидцев. В интернете можно найти тысячи фотографий ШМ, так что не возникает сомнений в том, что ШМ действительно существуют. Покажем, что световой пузырь обладает всеми перечисленными свойствами.

Физические эффекты, на которых основано явление шаровой молнии

В настоящем разделе приводятся элементарные сведения о тех физических эффектах, которые проявляют себя в шаровой молнии и которые ответственны за все странности ее поведения. В первую очередь это относится к утверждению, что сферическая пленка сжатого

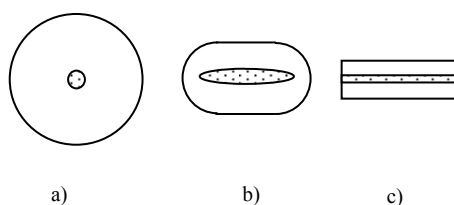


Рис. 1.1.1. Возможные формы поперечного сечения световодов

воздуха представляет собой световод, который обеспечивает циркуляцию света в пленке и не позволяет свету излучаться в свободное пространство.

В настоящее время оптические световоды нашли широкое применение в телекоммуникации. Весь земной

шар опоясан световолокном, или волоконными световодами. Они обеспечивают быстрый доступ в Интернет по выделенным каналам связи. Световолокно представляет собой стеклянную нить, имеющую стандартную толщину 0,125 мм. Эта нить имеет сердцевину диаметром около 0,01 мм, показатель преломления которой увеличен на доли процента относительно окружающей сердцевину оболочки (рис. 1.1а). Именно по этой сердцевине и распространяется свет. Интенсивность световой волны максимальна в центре сердцевины и практически равна нулю на внешней боковой поверхности оболочки. Поэтому защитное покрытие, которое защищает оболочку от вредного воздействия окружающей среды, практически не влияет на распространение света. Свет по такому световолокну может распространяться на сотни километров. Если такую нить намотать на палец (она при этом не ломается, так как очень тонкая), то свет будет распространяться внутри ее по спиральной траектории.

Таким образом, световолокно является световодом. Из literalного понимания слова световод следует, что этим словом обозначается объект, который проводит свет. Обычно в свободном пространстве свет распространяется прямолинейно. В световоде свет распространяется вдоль световода. Металлический проводник проводит электрический ток. Аналогичным образом, стеклянная нить с сердцевиной проводит свет.

Проведем мысленно такой эксперимент. Заполним все пространство, окружающее намотанную на палец стеклянную нить, стеклом, показатель преломления которого равен показателю преломления оболочки. При этом условия распространения света в нити не изменятся, так как на внешней границе оболочки поле световой волны пренебрежимо мало. С другой стороны, получилось однородное стекло, в котором показатель преломления всюду одинаков. Только в областях, где находится сердцевина нити, показатель преломления увеличен на доли процента. Однако свет, введенный в сердцевину, распространяется не прямолинейно, а вдоль сердцевины, то есть по спиральной траектории. Этот эксперимент показывает, что в практи-

чески однородном стекле свет может распространяться не прямолинейно, а по спиральной траектории.

Достаточно интенсивный свет оказывает воздействие на параметры оптической среды. Это воздействие обычно проявляется в увеличении показателя преломления среды. В рассматриваемом эксперименте такое увеличение происходит в областях, где находится сердцевина нити. При этом указанное увеличение может превосходить разность между показателями преломления сердцевины нити и окружающего стекла. Отсюда следует, что, если создать начальные условия, при которых интенсивный свет распространяется в однородной оптической среде по траектории, отличной от прямой линии, то свет создает в этой среде световод, вдоль этой траектории. Оказывается, что в некоторых случаях, в частности, при распространении света в оболочке светового пузыря такой световод может быть устойчивым.

Ясно, что поперечное сечение нити может быть не круглым, а, например, эллиптическим. Поперечное сечение световода может иметь также форму, показанную на рис. 1.1b. Наконец, поперечное сечение световода может быть деформировано таким образом, что оно примет форму пластины, в которой имеется пленка с увеличенным показателем преломления (рис. 1.1c). Такой световод называется планарным. Свет в нем может распространяться в двух направлениях – перпендикулярно плоскости рисунка и в боковых направлениях. Свет не может покинуть пленку, то есть не может распространяться в вертикальном направлении. Планарные световоды являются основой современной интегральной оптики, в которой все оптические процессы происходят в тонкой пленке, показатель преломления которой несколько больше показателя преломления окружающего пленку пространства.

b) Показатель преломления воздуха $n = 1 + \Delta n$, где $\Delta n = 0.00027$, при нормальном атмосферном давлении и комнатной температуре мало отличается от показателя преломления безвоздушного пространства $n=1$. При сжатии воздуха в 2 раза его плотность увеличивается в 2 раза, и Δn также увеличивается в 2 раза. При этом показатель преломления воздуха становится равным 1,00054. При сжатии воздуха в 100 раз его показатель преломления становится равным 1,027, то есть увеличивается на 2.7%. Пленка с таким показателем преломления может служить прекрасным планарным световодом. Используемые в интегральной оптике световоды имеют гораздо меньшую разницу в показателях преломления.

Как же получить такой световод? Представим, что такой световод существует и в нем по всевозможным направлениям распространяется интенсивный свет. Свет имеет свойство сжимать вещество, в котором он распространяется. Например, в учебнике оптики [Ландсберг,

1978] указывается, что свет в мощных лазерных лучах создает давление в веществе, измеряемое сотнями тысяч атмосфер. В нашем случае свет сжимает воздух в тех областях, по которым он распространяется. Если интенсивность света достаточно высока, а свет представляет собой тонкий плоский луч, то получаем прекрасный планарный световод, созданный самим светом.

Такие световоды были открыты советскими физиками В. Е. Захаровым и А. Б. Шабатом [Захаров, 1971] и получили название оптических пространственных солитонов. Было показано, что такие образования являются устойчивыми. Представим себе, что кривизна планарного световода стала отличной от нуля в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В этом случае плоская пленка переходит в сферическую. При этом пленка продолжает оставаться световодом, и, следовательно, оптический пространственный плоский солитон преобразуется в сферический солитон или в шаровую молнию.

Чтобы был понятен дальнейший материал, необходимо упомянуть еще о нескольких простых вещах, известных из курса физики в средней школе.

Во-первых, луч света в неоднородной оптической среде, показатель преломления которой неодинаков во всех точках пространства, отклоняется в направлении, в котором показатель преломления увеличивается. Простейший пример. Нижняя часть пространства занята стеклом, верхняя – воздухом (рис. 1.2а). Показатель преломления увеличивается при перемещении вниз. Луч света на границе стекла и воздуха отклоняется от прямой линии вниз.

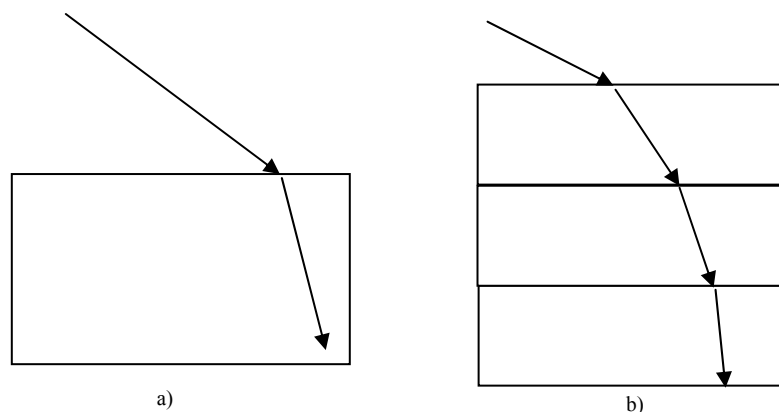


Рис. 1.2. Траектории светового луча: а) при падении луча из воздуха на стеклянную пластину; б) при прохождении через 3 пластины, где показатель преломления каждой нижней пластины больше, чем верхней.

На рис. 1.2b показано 4 слоя. Показатель преломления каждого слоя меньше, чем у соседнего снизу. При пересечении границы слоев луч света каждый раз отклоняется от прямой линии вниз, то есть в сторону увеличения показателя преломления. При этом траектория луча представляет собой ломанную линию. Если показатель преломления изменяется не скачками от слоя к слою, а непрерывно, то траектория луча представляет собой кривую линию.

В математике есть понятие градиента некоторой скалярной величины, принимающей в пространстве различные значения. В частности, такими величинами являются плотность воздуха, его давление, температура, показатель преломления. Градиент в каждой точке пространства – это вектор. Его направление совпадает с направлением, в котором наиболее быстро изменяется скаляр. Его величина равна скорости изменения скаляра по этому направлению. Использование понятия градиента позволяет во многих случаях наиболее кратко и понятно описать ситуацию. Так для рассмотренного выше примера можно сказать, что свет отклоняется в сторону градиента показателя преломления.

Осталось только напомнить, что плотность воздуха увеличивается с уменьшением температуры при прочих равных условиях. Горячий воздух поднимается вверх, следовательно, он легче. У горячего воздуха меньше плотность и меньше показатель преломления.

Этих простых сведений из физики достаточно, чтобы объяснить все странности и загадки поведения световых пузырей, то есть шаровых молний.

Поведение светового пузыря в земной атмосфере

Имея в виду, что ШМ представляет собой световой пузырь (СП), рассмотрим поведение такого пузыря (рис. 1.3) в атмосфере. Неподвижный СП в однородной атмосфере останется неподвижным. Действительно, в этом случае имеет место центральная симметрия в системе, и нет избранного направления.

Если же СП находится в неоднородной атмосфере, в которой показатель преломления n зависит от пространственных координат, то ситуация меняется. Так как световой луч, распространяясь в неоднородной оптической среде, отклоняется в направлении градиента показателя преломления, то

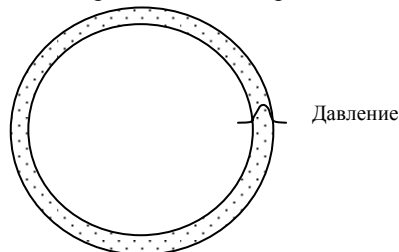


Рис. 1.3. Схематическое представление светового пузыря

применительно к любому замкнутому лучу, циркулирующему в оболочке СП, можно сделать вывод, что такой луч будет испытывать дополнительное смещение в направлении градиента показателя преломления атмосферы, в которой он находится. Иными словами, СП будет двигаться туда, где плотность воздуха больше.

ШМ представляет собой чувствительнейший прибор для определения неоднородности плотности воздуха (при условии, что состав воздуха во всех точках рассматриваемого пространства одинаков). Действительно, если представить, что циркулирующий в ШМ свет сдвигается за один оборот всего лишь на 1 микрометр, то за одну секунду этот сдвиг составит 1 км. Это объясняется чрезвычайно большой скоростью света $3 \cdot 10^8$ м/с. Например, если длина экватора ШМ равна 30 см, то свет совершит в одну секунду один миллиард оборотов. Миллиард сдвигов по одному микрометру составит сдвиг в 1 км.

Существующие теории не могут объяснить причины, заставляющие ШМ двигаться в атмосфере так, как они двигаются. Например, у Торнера [Turner, 1998] вызывает недоумение тот факт, что шаровые молнии, падающие на землю из облаков, часто останавливаются перед ударом о земную поверхность. Наше объяснение этого явления довольно просто и естественно. Силы тяжести, действующие на ШМ, незначительны. Поскольку давление воздуха уменьшается с увеличением высоты, уменьшается также и его плотность, и, следовательно, градиент показателя преломления направлен вниз. Так как ШМ движется вдоль градиента показателя преломления, ШМ падает вниз до тех пор, пока градиент показателя преломления направлен вниз. Но ШМ не достигает поверхности земли. Причина в том, что непосредственно у поверхности земли температура воздуха начинает увеличиваться. Это связано с нагреванием поверхности земли солнечной радиацией. В результате плотность воздуха имеет максимум на некотором расстоянии от поверхности земли. На этой высоте и прекращается движение ШМ в вертикальном направлении. Обычно эта высота составляет около 1 м.

Прекратив при падении на землю движение в вертикальном направлении, ШМ продолжает движение в горизонтальном направлении вдоль градиента показателя преломления. Расстояние ШМ от поверхности земли определяется той высотой, на которой вертикальная компонента градиента показателя преломления равна нулю. Вот почему наблюдаемые ШМ преимущественно движутся на небольшой высоте в горизонтальном направлении.

Напомним читателю, что противотуманные фары у автомобилей стремятся расположить как можно ближе к поверхности земли. Это связано с тем, что воздух у самой поверхности имеет максимальную температуру и туман при такой температуре не образуется. Поэтому

низко расположенная противотуманная фара просвечивает дорогу на большее расстояние.

Двигаясь в горизонтальном направлении, ШМ сама может изменять распределение плотности воздуха вокруг себя, особенно при приближении к препятствиям. При одинаковом давлении воздуха его плотность обратно пропорциональна температуре, поэтому ШМ движется в направлении, противоположном градиенту температуры. Приближаясь к некоторому препятствию, ШМ нагревает его за счет излучаемой радиации. В свою очередь, препятствие нагревает окружающий его воздух и таким образом уменьшает его показатель преломления. Возникает градиент показателя преломления, направленный от препятствия. Двигаясь вдоль этого градиента, ШМ отскакивает от препятствия или обходит его. Внешне это выглядит так, как будто бы ШМ «чувствует» препятствие и обходит его.

ШМ могут проникать в помещения через двери, щели, окна, печные трубы, могут покидать помещения. Имеются многочисленные сообщения о том, что ШМ двигались вдоль стен помещения на некоторой высоте, обходя при этом возникающие на их пути препятствия. Нетрудно объяснить особенности движения ШМ внутри помещений.

Как известно, воздух внутри помещения более близок к стационарному состоянию, чем снаружи. Так как теплый воздух легче холодного, то воздух около пола холоднее воздуха вблизи потолка, и, следовательно, показатель преломления воздуха максимален около пола. В этом случае проникшая в помещение ШМ движется по направлению к полу, который выступает в этом случае в качестве препятствия. Имеется много сообщений, что ШМ, проникнув в помещение, движется около пола, но нет ни одного сообщения, что ШМ поднимается к потолку.

Как известно, падающие ШМ наблюдаются приблизительно в 10 раз чаще, чем поднимающиеся [Смирнов, 1990]. Это объясняется тем, что в невозмущенной атмосфере градиент показателя преломления направлен вниз. Однако воздушные массы могут иметь разную температуру и, следовательно, разную плотность воздуха при одном и том же давлении. При этом возможно инверсное распределение плотности воздуха вдоль высоты, в котором ШМ будет двигаться вверх.

Обычно стены помещения холоднее, чем воздух в середине помещения. Если в помещении имеется печь, то она сначала нагревает воздух вокруг себя, а затем этот воздух нагревает стены. Приближаясь к стене, ШМ нагревает стену за счет своего излучения. Стена нагревает примыкающий к ней воздух. Градиент показателя преломления воздуха оказывается направленным от стены. В результате движение ШМ по направлению к стене прекращается, и ШМ движется

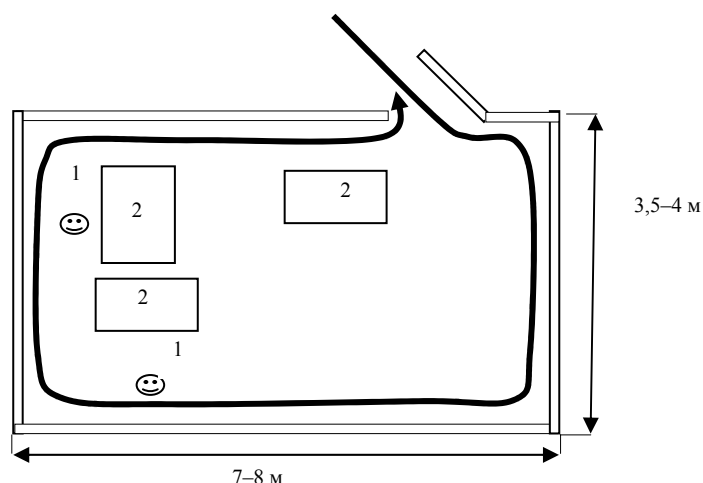


Рис. 1.4. Траектория движения ШМ в вагончике строителей. 1 – наблюдатели; 2 – столы.

вдоль стены. Так как воздух перед ШМ холоднее, чем сзади, ШМ продолжает движение вдоль стен на некотором расстоянии от них. В некоторых случаях ШМ приближается к двери. Если ШМ нагрела воздух в помещении до такой степени, что воздух вне помещения оказался холоднее, то ШМ покидает помещение. Например, Стаханов [Стаханов, 1996] в случае номер 29 описывает движение ШМ по замкнутой траектории в вагончике, где жили строители. Траектория движения ШМ в вагончике показана на рис. 1.4.

Как и следовало ожидать, ШМ, приближаясь к очередной стене, изменяет направление своего движения и начинает двигаться вдоль этой стены.

Как шаровая молния находит щели, печные трубы, чтобы проникнуть через них

Прежде чем рассматривать действие механизмов, обеспечивающих проникновение ШМ через небольшие щели и отверстия, рассмотрим более простой вопрос – как ШМ отыскивает подобные объекты? Вообще, почему ШМ равнодушна к щелям и отверстиям? Ясно, что ШМ не имеет органов зрения, обоняния, осязания, которые есть у живых существ. Однако ШМ может «чувствовать» малейшие изменения показателя преломления окружающей среды и двигаться

вдоль его градиента. Покажем, что щели являются источниками таких изменений.

Рассмотрим движение ШМ около туннеля между помещением и наружным пространством. Пусть температура в помещении меньше, чем снаружи, а давление воздуха в помещении и снаружи одинаково. В этом случае плотность воздуха в помещении больше, чем снаружи и градиент показателя преломления на оси туннеля направлен в помещение. Так как плотность воздуха при перемещении вдоль туннеля изменяется постепенно и непрерывно, то поверхности одинаковой плотности имеют вид, показанный на рис. 1.5 сплошными линиями. Пунктирные линии на рисунке перпендикулярны этим поверхностям. Направление касательной к любой из этих линий в любой точке совпадает с направлением градиента показателя преломления в этой точке. Легко убедиться, что ШМ, двигаясь вдоль любой из пунктирных линий из различных точек А, В, С, движется по направлению к туннелю. Около туннеля создается своеобразная воронка. Попад в эту воронку, ШМ направляются в туннель.

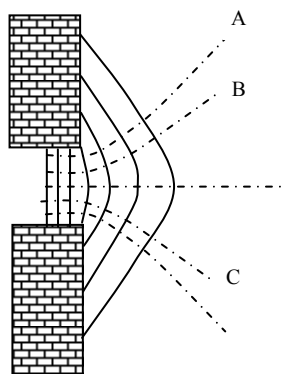


Рис. 1.5. Направления градиента показателя преломления вблизи туннеля.

Точно так же ШМ отыскивает на крыше печные трубы, чтобы проникнуть через них в помещение. Около каждой трубы может существовать воронка. Опускаясь с высоты, ШМ попадает в одну из таких воронок и начинает свое движение вдоль градиента показателя преломления. При этом ШМ может изменять свою форму, как рассмотрено ниже.

Как шаровая молния проникают в помещения через небольшие щели

Существует огромное количество свидетельств того, что ШМ может проникать через небольшие щели. Приведем лишь несколько из них, взятых из книги Стаханова [Стаханов, 1996].

Во время сильной грозы ШМ 20–30 см в поперечнике вошла через отверстие в стене, предназначенное для заземления.

Во время грозы ШМ диаметром 10 см прошла в отверстие шириной 2 см, «вытянувшись сосиской».

ШМ ушла в трещину около оконного стекла. Диаметр молнии 10–20 см.

ШМ диаметром 30–50 см вошла через маленькое отверстие в окне (отбитый угол стекла) шириной 1–1,5 см в виде «желтой нитки». Прodelав несколько кругов по комнате, она через 20–30 с взорвалась.

ШМ диаметром 5–10 см вошла «змейкой» во время грозы через приоткрытую форточку, образовав затем шарик. Пройдя по комнате расстояние 5–10 м, она исчезла без взрыва около выключателя.

Во время сильной грозы ШМ вошла в дом в щель между досками около трубы, при этом доска закоптилась, возник пожар.

ШМ диаметром 10–20 см прошла через отверстие диаметром 8 см.

ШМ «размером с теннисный мяч» прошла через закрытое окно, в стекле которого была трещина.

ШМ «втесла» в отверстие между бревнами в помещение кузницы. Ширина щели была значительно меньше размеров молнии. В кузнице она имела вид шара диаметром 12–13 см оранжевого цвета, светившегося как лампа 50–100 Вт.

В щель в стене пролезал желтый шарик величиной с крупный апельсин. Вернее он не пролезал, а переливался из одной половины в другую.

ШМ прошла в комнату в отверстие в стекле, сплюснвшись, так как ее размер был больше размеров отверстия. Очевидцы уточняют: «шар находился в 10–15 см от наших лиц, и мы хорошо видели, как он стал проходить через отверстие, принимая форму дыни. Он вытянулся, стал меньше диаметром и прошел через отверстие. Когда шар проходил через отверстие и уменьшался в размерах, он как бы все время дрожал, и казалось, что он состоит из студня».

Рассмотрим причины, по которым ШМ могут изменять свою форму, чтобы проникнуть в помещение через небольшую щель или отверстие. Однако прежде следует остановиться на причинах, обеспечивающих сферическую форму ШМ в однородном воздухе и вызывающих деформацию ШМ в неоднородном воздухе. Как уже отмечалось, существует достаточно высокое давление сжатого воздуха в оболочке ШМ. Сферическая форма обеспечивает минимум энергии сжатого воздуха среди других возможных форм. Однако это не означает, что ШМ подобна детскому воздушному шару, который трудно значительно деформировать. Давление воздуха существует только в тонкой оболочке ШМ толщиной в несколько микрометров. Это давление обеспечивает сферическую форму ШМ, но в гораздо меньшей степени. В данном случае небольшие внешние силы могут существенно изменить форму ШМ. Она напоминает замкнутую оболочку детского воздушного шарика, из которого удален воздух и который помещен в невесомость и вакуум. В отсутствие сил тяжести оболочка принимает форму шара под действием собственных слабых сил, стремящихся расправить ее и сделать плоской. Однако замкнутая

оболочка по своей топологии не может быть плоской. В отсутствие других сил эти слабые силы приводят к тому, что оболочка принимает форму шара. Однако такая оболочка может быть легко деформирована другими слабыми силами. Например, такая оболочка может быть легко протянута через обручальное кольцо. Это невозможно сделать с оболочкой, в которую накачан воздух, как это имеет место в детском воздушном шарике.

Аналогичная ситуация имеет место для оболочки ШМ, которая принимает сферическую форму в однородной оптической среде благодаря упругим свойствам тонкого слоя сжатого в оболочке воздуха. Форма ШМ может быть легко изменена точно таким же образом, как изменяется сферическая форма упругой оболочки воздушного шарика в невесомости и вакууме.

Когда ШМ приближается к отверстию в стене, в котором градиент показателя преломления воздуха направлен в сторону помещения, распределение градиента, показанное на рис. 1.5, изменяется благодаря появлению следующего эффекта самовоздействия. При приближении ШМ к отверстию неоднородность воздуха возрастает, так как ШМ нагревает стенки отверстия, которые, в свою очередь, нагревают близлежащие слои воздуха. Таким образом, ШМ нагревает воздух косвенно. Сначала должны быть нагреты непрозрачные объекты, которые поглощают испускаемое ШМ излучение. В качестве таких объектов выступают области стены, окружающие отверстие, обозначенные буквой Н на рис. 1.6а. Эти области нагревают смежные слои воздуха за счет явления теплопроводности.

Чем ближе расположен слой воздуха к непрозрачной поверхности, тем выше его температура. При нагревании воздуха его плотность уменьшается, и возникают силы, которые отталкивают от стены те части поверхности ШМ, которые приблизились к стене. В то же самое время согласно нашему первоначальному предположению продолжает существовать градиент показателя преломления, направленный внутрь помещения. В ре-

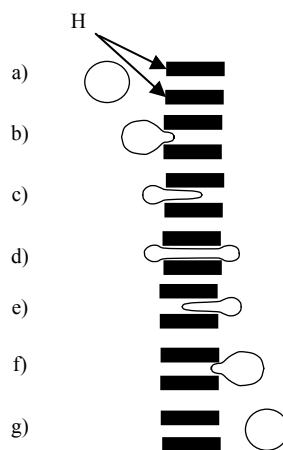


Рис. 1.6. Этапы проникновения ШМ через отверстие в стене.

зультате возникают действующие в разные стороны силы, приложенные к различным участкам поверхности ШМ. Действие этих сил приводит к деформации ШМ, так как восстанавливающие свойства оболочки ШМ чрезвычайно слабы. ШМ приобретает форму груши, показанную на рисунке 1.6b.

По мере того как ШМ проникает в отверстие, как показано на рисунке 1.6c, вступает в действие следующая обратная связь. Чем меньше расстояние между поверхностью ШМ и смежной с ней боковой поверхностью отверстия, тем сильнее нагревается эта часть боковой поверхности отверстия и тем больше силы отталкивания этих участков поверхности ШМ от боковой поверхности отверстия. В результате деформированная ШМ располагается в середине отверстия, как показано на рис. 6d. Последующие этапы проникновения ШМ в помещение через отверстие показаны на рисунках 1.6e, 1.6f, 1.6g.

Таким образом, силы, связанные с начальным градиентом показателя преломления воздуха, «протаскивают» ШМ через отверстие в стене. ШМ восстанавливает свою первоначальную сферическую форму после того, как она прошла отверстие и попала в однородный воздух в помещении. Легко видеть, что причины, которые способствовали проникновению ШМ через отверстие, и рассмотренные ранее причины, обеспечивающие горизонтальное движение ШМ на некотором расстоянии от поверхности земли, вызваны одними и теми же физическими эффектами. Так как толщина оболочки ШМ равна лишь нескольким микрометрам, то ШМ могут проникать через весьма узкие щели шириной в несколько микрометров. Благодаря действию указанной обратной связи они могут проникать через протяженные щели, в частности, через дымоходы.

Как шаровая молния проникает в помещения через оконные стекла

В настоящее время достоверно установлено, что ШМ могут проникать через оконные стекла, иногда разрушая их, но в большинстве случаев оставляя их нетронутыми. Повреждения, если они имеются, носят локальный характер и находятся в том месте, через которое проникала ШМ. В работе [Grigoriev, 1992] описано 42 случая проникновения ШМ в закрытые помещения. Следует отметить, что подавляющее большинство теорий ШМ не могут объяснить это свойство ШМ и по этой причине должны быть отвергнуты. Это относится ко всем теориям, в которых рассматриваются какие-либо частицы: электроны, ионы, кластеры, плазма и т. п. Как известно, частицы не

могут проникать сквозь стекло. Используемые в химии стеклянные колбы и пробирки являются хорошим подтверждением сказанному.

При прохождении через стекло часть света может поглощаться стеклом. В результате стекло может нагреваться, если потери света в стекле достаточно велики. Локальный нагрев может привести к повреждению стекла. Имеется фото стеклянного диска, около 8 см в диаметре, который выпал из оконного стекла, после того как через него прошла ШМ [Торчигин, 2003 с].

ШМ обнаруживает окна точно так же, как она обнаруживает щели в стенах, потому что характеры распределения плотности воздуха вблизи окон и щелей совпадают. И в том, и в другом случаях градиент показателя преломления воздуха должен быть направлен в помещение. Если температура в помещении меньше, чем снаружи, то теплота проникает в помещение через оконное стекло. Известно, что теплота распространяется в направлении, противоположном градиенту температуры. Это означает, что градиент температуры направлен из помещения наружу. Градиент плотности воздуха противоположен градиенту температуры и, следовательно, направлен в помещение. Характер распределения плотности воздуха около щели, показанный на рис. 1.5, сохраняется и для рассматриваемого случая. Распределение воздуха около щели размером с окно совпадает с распределением воздуха около окна с нулевой толщиной стекла.

Проникновение ШМ через оконное стекло в помещение выглядит следующим образом. Как известно, световой луч, падающий на плоскую стеклянную пластину, всегда проходит через эту пластину. В этом случае угол падения α равен углу β , под которым луч выходит из пластины с противоположной стороны. Казалось бы, вышедший из пластины световой луч распространяется прямолинейно и не может вернуться обратно в оболочку ШМ. Это справедливо, если показатель преломления воздуха на обеих сторонах пластины одинаков.

В рассматриваемом случае показатель преломления сжатого воздуха в оболочке ШМ больше показателя преломления воздуха на противоположной стороне пластины, где имеет место нормальное давление воздуха. В этом случае $\alpha < \beta$ и имеет место полное внутреннее отражение от поверхности стекла в помещении при касании ШМ внешней поверхности стекла вне помещения, то есть при $\alpha \cong 90^\circ$. Таким образом, возможны два режима. В первом режиме свет проходит через стекло. Во втором режиме свет испытывает полное внутреннее отражение.

Когда ШМ касается поверхности стекла, имеет место второй режим. После полного внутреннего отражения свет снова возвращается в ШМ. Кроме того, в слое воздуха около поверхности стекла в помещении возникает сильное электромагнитное поле. Толщина этого

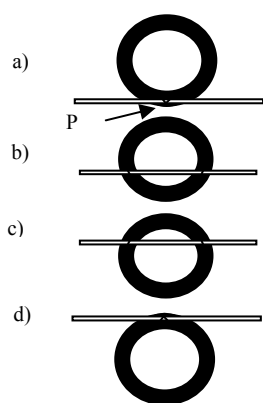


Рис. 1.7. Этапы проникновения ШМ через плоское стекло.

слоя сравнима со средней длиной волны белого света, то есть приблизительно равна 1 мкм. Это поле не может возбудить световую волну, распространяющуюся в помещение, так как действует явление полного внутреннего отражения. В то же время это поле может сжать находящийся в этом слое воздух за счет электрострикционного эффекта. Этот район показан буквой Р на рисунке 1.7а. Показатель преломления сжатого воздуха больше, чем несжатого. Следующие порции циркулирующего в оболочке ШМ света проникают в район сжатого воздуха, что приводит к увеличению его объема, как показано на рисунке 1.7b. В этом случае свет начинает

распространяться в стекле в соответствии с первым режимом.

Если плотности воздуха различны на противоположных сторонах оконного стекла, то в соответствии с описанным выше эффектом ШМ движется в ту сторону, где плотность воздуха выше. Создается впечатление, что ШМ беспрепятственно проходит через стекло. В действительности, беспрепятственно проходит через стекло только свет. После этого он формирует слой сжатого воздуха на противоположной стороне стекла из того воздуха, который там находится, как показано на рисунках 1.7c, 1.7d. Первоначально сжатый воздух в оболочке ШМ, находящейся на внешней стороне стекла, не проникает через него.

Из приведенного рассмотрения следует, что давно известное и хорошо исследованное явление полного внутреннего отражения требует уточнения для случая, когда отражение происходит от границы двух плоских сред, причем среда с наименьшим показателем преломления обладает нелинейными оптическими свойствами. В этом случае при падении интенсивного луча на границу из более плотной среды под углом, близким к критическому, происходит проникновение поля световой волны в нелинейную среду на расстояние, значительно большее, чем проникновение в линейную среду с теми же параметрами. Объясняется это тем, что поле световой волны в нелинейной среде вблизи границы раздела увеличивает показатель преломления, что приводит к проникновению поля световой волны на большую глубину.

Поведение шаровой молнии вблизи металлических объектов

Имеются многочисленные сообщения, что ШМ притягиваются к металлическим объектам, таким как забор из металлических прутков или телефонные провода. Приблизившись к металлическому объекту, ШМ обычно начинает движение вдоль этого объекта. Попробуем объяснить эту особенность поведения ШМ, имея в виду, что ШМ движется вдоль градиента показателя преломления.

Как известно, металлы являются не только хорошими проводниками электрического тока, но и хорошими проводниками теплоты, то есть характеризуются большой теплопроводностью. Из-за суточного изменения температуры воздуха температура различных объектов на поверхности земли неодинакова. В солнечный день температура верхних слоев земной поверхности выше, чем более глубоких. Например, если металлический столб вкопан в землю, то температура столба меньше температуры окружающего столб воздуха, так как тепло, которое столб получает из окружающего его воздуха, распространяется вниз во врытую в землю холодную часть столба. В результате в области вокруг столба градиент показателя преломления направлен к поверхности столба. Появившаяся в этом районе ШМ начинает движение к поверхности столба. Если градиент показателя преломления не перпендикулярен оси столба, то ШМ будет двигаться вдоль столба на некотором расстоянии от его поверхности.

Например, Стаханов [Стаханов, 1996] в случае 8 описывает наблюдение, при котором две ШМ выскочили из печи 5 (рис. 1.8), пролетели через две двери, прошли вдоль двух стен и притянулись к заземлению 6 в виде металлической проволоки. Их траектория показана на рисунке 1.8. За движением ШМ наблюдали четыре наблюдателя: 1, 2, 3, 4. Приблизившись к металлической проволоке 6 около окна 7, ШМ изменили свою форму, превратившись в вытянутые эллипсоиды, проникли сквозь щель между проволокой и полом и исчезли. Именно так и должны были развиваться собы-

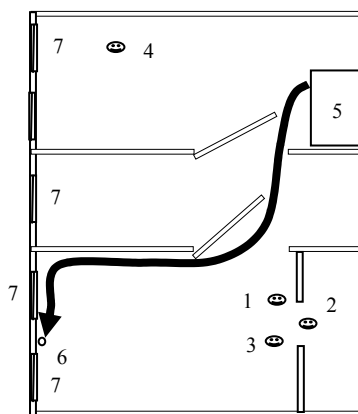


Рис. 1.8. Траектория движения ШМ в доме.

тия, если иметь в виду отмеченные выше особенности движения ШМ в помещении и вблизи металлических предметов.

В некоторых случаях взаимодействие ШМ с металлическими предметами приобретает другой характер. Это происходит тогда, когда геометрия металлического предмета такова, что ШМ может соприкоснуться только с небольшой его частью. Например, ШМ соприкасается с торцом металлической проволоки. В этом случае условия распространения теплоты в металле отличаются от случая, когда ШМ может соприкасаться с металлическим телом, имеющим соизмеримые размеры по всем трем измерениям. В первом случае теплота может распространяться только в одном измерении – вдоль проволоки. Во втором случае теплота может распространяться в трех измерениях. Поэтому в первом случае нагрев металла в точке соприкосновения значительно больше, чем во втором.

Если температура металла повышается настолько, что началось его испарение, то за счет добавления паров металла в область вблизи точки касания показатель преломления в этой области увеличивается, и ШМ «прилипает» к этой области. Она будет испарять проволоку, пока та не закончится, либо пока не иссякнет энергия ШМ. Представленная картина имеет многочисленные подтверждения.

Свидетель видел, как после чрезвычайно сильного удара молнии в телефонный столб по улице катилась яркая масса диаметром 1 м, а следом за ней еще несколько шаров поменьше [Singer, 1971]. Позже было обнаружено, что провод между двумя столбами оборван и не хватает значительного его куска.

Еще в одном случае очень сильный удар молнии уничтожил медную антенну вскоре после того, как она была установлена для изучения грозового электричества.

Свидетель, наблюдавший грозу, заметил большой огненный шар, по-видимому, образовавшийся благодаря превращению в пар 65 м двухмиллиметровой проволоки.

Стаханов в случае номер 4 описывает случай, когда ШМ выжгла лунку диаметром 5 мм и глубиной 3 мм на торце шомпола, прикрепленного к ружью. Отмечается, что никаких следов оплавления не было. Металл просто исчез.

Весьма показателен в этом отношении случай, о котором рассказывал авторам К. К. Петровский – председатель экспертного совета при одном из министерств. Шаровая молния выжгла у него на даче в кабеле с полиэтиленовой оболочкой медную сердцевину на расстоянии нескольких метров, оставив оболочку почти нетронутой. Этот факт легко объяснить. Металл внутри оболочки испарялся настолько быстро, что область с высокой температурой перемещалась вдоль кабеля с высокой скоростью. При этом нагревались только небольшие внут-

ренные области оболочки, непосредственно прилегающие к металлической сердцевине. Теплота не успевала распространиться во всю массу оболочки. Наибольшее давление и, следовательно, наибольший показатель преломления был около торца испаряемой проволоки. Поэтому во все время испарения проволоки ШМ в виде тонкой со- сиски находилась около этого торца.

Как шаровая молния догоняет летящие самолеты

Так как ШМ падают на землю, то можно предположить, что вероятность появления ШМ вблизи поверхности земли больше, чем на высоте, где летают самолеты. Почему же ШМ предпочитают посещать летящие самолеты (имеются многочисленные сообщения) и совершенно равнодушны к самолетам, стоящим на земле? Откуда такая тяга к летающим самолетам? Каждый, кто смотрел в иллюминатор летящего самолета и обращал внимание на малые облака и тучки, которые уносятся с огромной скоростью назад, может спросить: почему ШМ не сдуваются с крыла самолета потоком воздуха, скорость которого в несколько раз выше самого сильного урагана на земле? Если ШМ состоит из каких-то частиц, кластеров, ионов, электронов и т. п., то все это должно быть немедленно сдуто.

Ответ на эти вопросы довольно прост. Летящий самолет нарушает однородность показателя преломления в атмосфере, что приводит к появлению градиента показателя преломления. Избыточное давление воздуха вблизи передней кромки крыла самолета равно 0,2 атмосферы при скорости самолета 720 км/час. Такое избыточное давление создает в области вблизи самолета такой градиент показателя преломления, который обеспечивает движение ШМ со скоростью, которая превосходит скорость самолета.

Оказавшись в этой области, ШМ движется вдоль градиента в район, где показатель преломления максимален. В максимуме показателя преломления его градиент равен нулю. ШМ располагается в том районе, где градиент показателя преломления таков, что он обеспечивает движение ШМ со скоростью, равной скорости этого района. Нетрудно убедиться, что положение ШМ в этой зоне устойчиво. Такой район находится около передней кромки крыла самолета. ШМ перемещается вместе с ним и, следовательно, перемещается вместе с самолетом. Никакие производимые самолетом маневры не могут отделить ШМ от самолета. Максимально возможная скорость ШМ определяется максимальным градиентом показателя преломления, создаваемым самолетом, и больше скорости самолета. Поэтому шаровая молния остается в районе вблизи области с максимальным показателем преломления независимо от скорости воздуха в этой области.

Следует заметить, что избыточное давление воздуха вблизи передней кромки крыла самолета пропорционально квадрату скорости самолета. Таким образом, область пространства, из которой самолет притягивает ШМ, увеличивается с увеличением скорости самолета. Кроме того, вероятность, что самолет встретит некоторую ШМ на своей трассе, пропорциональна скорости самолета. Действительно, если бы самолет мог облететь вокруг земли за одну секунду, он собрал бы все ШМ, встретившиеся ему за это время. Имеются ли другие гипотезы о природе ШМ, которые могли бы объяснить, как ШМ может догнать самолет и двигаться вместе с ним? Нам не известно о таких гипотезах.

Как известно, на большой высоте, на которой летают самолеты, воздух разрежен. Чтобы пилоты и пассажиры не испытывали неудобств, в кабины и салоны самолетов закачивается воздух, и его давление близко к нормальному на поверхности земли. Так как кабину и салон самолетов трудно и экономически неоправданно выполнять абсолютно герметичными, в них постоянно закачивается наружный воздух. Разумно брать этот воздух из тех районов, где давление наружного воздуха максимально. Именно в этих районах и располагаются ШМ. Воздух закачивается турбинным компрессором, и при любом положении лопаток турбины имеется щель между салоном и наружным воздухом. В стационарном режиме компрессор закачивает в салон ровно столько воздуха, сколько проникает из салона наружу через всевозможные щели, в том числе через щели между лопатками компрессора и стенками камеры, в которой они вращаются. Таким образом, самолет подобен дырявому объему, из которого просачивается воздух через всевозможные щели.

Заметим, что в любом ограниченном пространстве, например, трубе, ШМ движется в направлении, противоположном направлению движения воздуха. Действительно, в этом случае воздух движется из области с высоким давлением в область с более низким давлением, то есть в направлении противоположном градиенту давления. Так как показатель преломления пропорционален давлению, а ШМ движется вдоль градиента показателя преломления, то ШМ движется вдоль градиента давления и, следовательно, в направлении, противоположном направлению движения воздуха.

Таким образом, ШМ может проникнуть в салон самолета через любую щель, из которой выходит воздух. В частности, ШМ может проникнуть в салон самолета через компрессор, так как в некоторый момент времени при определенном положении лопаток воздух проникает наружу через щель между лопатками и стенками камеры, то есть воздух движется из салона наружу. В этот момент времени ШМ, двигаясь навстречу движению воздуха, может проникнуть в салон.

Механизмы, приводящие к изменению формы ШМ при прохождении щели, рассмотрены выше. [Торчигин, 2003а, 2003б, 2003с]. Таким образом, ШМ являются необычными пассажирами. Они могут догнать летящий самолет и без билета протиснуться в его салон через узкую щель, которую сами и найдут. Можно дать простые рекомендации разработчикам самолетов, чтобы ШМ не проникали внутрь самолетов. В наружной области, где избыточное давление воздуха максимально, не должно быть никаких щелей.

Весьма показателен следующий случай, произошедший в Вологодской области в феврале 1946 года. Второй пилот увидел, как на правом крыле самолета около ходового зеленого огня появился яркий белый шар. Он подумал, что произошло короткое замыкание электроламп, но вспышка не исчезла, как обычно бывает. Шар медленно пополз по лобовой кромке крыла и исчез под носовой частью машины. Раздался громкий треск, и в пилотскую повалил черный дым, связь оборвалась.

Командир спрашивает штурмана: «Николай, может, ты заметил, откуда выкатился шар? Ведь он появился прямо у твоих ног». Штурман ответил: «Я взял ракетницу, чтобы проверить, какого цвета в ней заряд. Но открыть ее не успел. В тот же миг вспыхнул слепящий белый шар. Он, как глаз дьявола, всматривался в меня, а потом поплыл к вам».

Отметим здесь два обстоятельства. Шар двигался вдоль лобовой кромки крыла, где давление воздуха максимально. Шар проник в кабину через отверстие, в которое вставляется ракетница. Это отверстие выходит наружу, так как из ракетницы выпускают ракету наружу. Давление в кабине самолета выше, чем снаружи, так как на большой высоте, где летают самолеты, воздух разрежен, а в кабине самолета для комфорта летчиков поддерживается давление, близкое к нормальному. Поэтому шар, двигаясь в направлении градиента плотности воздуха, проник в кабину через отверстие, в которое вставляется ракетница.

При описании столкновений самолетов с ШМ довольно часто сообщается, что при обследовании самолета выявлено несколько поврежденных или оплавленных заклепок в передней части фюзеляжа [Singer, 1971]. Это легко объяснить, если иметь в виду, что выступающая на гладкой поверхности фюзеляжа заклепка нарушает равномерное обтекание фюзеляжа воздухом. Около заклепки создается избыточное давление, и там имеется локальный максимум плотности воздуха. Попад в этот максимум, ШМ испаряет часть заклепки. При этом в действие вступают механизмы, приводящие к испарению длинных металлических цилиндров (см. раздел взаимодействие ШМ с металлическими объектами). Испарение происходит до тех пор,

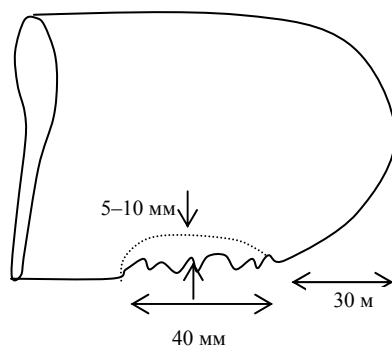


Рис. 1.9. Повреждения лопасти пропеллера, вызванные шаровой молнией.

пока выступающая часть заклепки не исчезнет, что приведет к исчезновению избыточного давления, создаваемого выступающей частью заклепки.

Весьма любопытен рисунок в книге Сингера [Singer, 1971], на котором показаны результаты взаимодействия ШМ с лопастью пропеллера (рис. 1.9). Поскольку пропеллер тянет самолет вперед, то на пропеллер действует избыточное давление. Максимум этого давления находится вблизи конца лопасти пропеллера, то

есть как раз в той части лопасти, где произошло повреждение кромки лопасти. Расположившись в области с максимальным давлением, ШМ вращалась вместе с лопастью и выжигала на ней кратеры, точно так же, как она выжигает кратеры на неподвижных металлических предметах.

На наш взгляд, объяснение механизмов, которые позволяют ШМ догонять и сопровождать самолеты, является сильным аргументом в пользу оптической природы ШМ. Никакие объекты, состоящие из частиц, не могут сопровождать самолет. Они сразу будут сдуты потоком набегающего воздуха. Свету, циркулирующему в области с максимальным показателем преломления, не важно, создана ли эта область неподвижным или подвижным воздухом, так как скорость этого подвижного воздуха в миллион раз меньше скорости света.

Почему направления движения шаровой молнии и ветра могут не совпадать

Еще одна разгадка аномальных свойств ШМ связана с объяснением, почему направление движения ШМ может не совпадать с направлением ветра. Объяснение этой особенности ШМ, наряду с объяснением механизма проникновения ШМ через стекло и механизмов, позволяющих ШМ догонять и сопровождать самолеты, является третьим весомым аргументом в пользу оптической природы ШМ.

Объяснение довольно простое. ШМ движется вдоль градиента показателя преломления, направление которого может не совпадать с направлением скорости воздуха. На этом объяснение может быть закончено, однако имеет смысл дать некоторые пояснения.

На рис. 1.10 приведен частный случай вихревого движения воздуха. В этом случае скорость воздуха направлена по касательной к окружности. Что касается давления воздуха, то оно одинаково на этой окружности в силу аксиальной симметрии рассматриваемой системы. Тогда тангенциальная составляющая градиента давления равна нулю и градиент давления направлен вдоль радиуса. При приближении к центру давление уменьшается. Это обеспечивает возникновение центростремительных сил, обеспечивающих движение воздушных масс с центростремительным ускорением, направленным к центру окружности. Так как показатель преломления пропорционален давлению при прочих равных условиях, то направление градиента показателя преломления совпадает с направлением градиента давления. Таким образом, градиент показателя преломления направлен от центра, перпендикулярен скорости движения воздуха, и ШМ в этом случае движется перпендикулярно ветру.

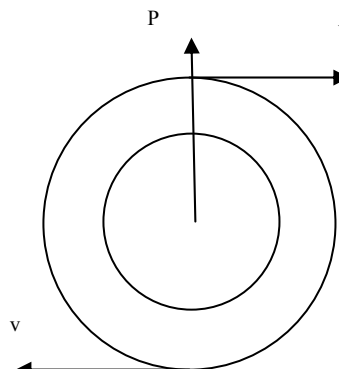


Рис. 1.10. Направления скорости воздуха и градиента давления в вихре.

Заметим, что если воздух движется по некоторой трубе или в некоторой щели, то градиент давления направлен в сторону, противоположную движению. В этом случае, в отличие от движения всех известных объектов, которые увлекаются воздухом, ШМ движется навстречу движению воздуха. Ниже будет показано, что, проникнув в паропровод Чернобыльской АЭС, ШМ начала движение против направления движения пара, то есть в активную зону, где давление пара максимально. Там она вывела реактор из штатного режима.

Почему шаровая молния кажется холодной

Еще одним дополнительным аргументом в пользу оптической природы ШМ является объяснение следующего кажущегося противоречия. ШМ излучает белый свет, спектр которого соответствует температуре добела раскаленного тела в несколько тысяч градусов, и в то же самое время ШМ относительно холодная, так как она не обжигает находящиеся около нее объекты.

Этому парадоксу есть простое объяснение. Источником света, который излучает ШМ, являются не возбужденные атомы очень горя-

чего тела, как это имеет место при излучении света любым раскаленным телом. Излучаемый ШМ свет – это свет, возникший в результате рассеяния интенсивного света, циркулирующего в оболочке ШМ. Действительно, белый свет был порожден возбужденными атомами воздуха, нагретого до высокой температуры во время газового разряда, при котором ШМ возникла. Этот свет был пойман в световой пузырь и существует там относительно долгое время. При этом ШМ может уже находиться далеко от места своего возникновения, да и воздух к этому времени может уже остыть.

Таким образом, природа излучаемого ШМ света отличается от природы света, излучаемого раскаленным телом. ШМ поймала и законсервировала световое излучение, возникшее при ударе обычной линейной молнии, и постепенно испускает его в виде рассеянного света.

Почему шаровая молния издает свист и вызывает радиопомехи

В стационарном состоянии форма ШМ неизменна, и она не возбуждает никаких акустических волн. Если рассматривать ШМ как упругую оболочку, то следует иметь в виду, что эта оболочка имеет множество собственных частот для различных типов механических колебаний. Эти колебания могут возбуждаться различными неоднородностями, в частности, частицами пыли, которые встречаются на пути ШМ. В зависимости от того, как эти собственные частоты распределены по низкочастотному спектру и какие из них возбуждаются в данный момент, ШМ может издавать различные звуки.

Что касается радиопомех, то многие очевидцы отмечают, что, действительно, ШМ создает такие помехи [Дмитриев, 1967], [Стаханов, 1996]. Но это не означает, что ШМ излучает радиоволны. Трески от ШМ слышны и в телефонных трубках [Стаханов, 1996], которые, как известно, не могут принимать радиоволны. Можно предложить следующее объяснение. Как будет показано ниже, ШМ могут нести электрический заряд. Изменяя свою форму на звуковых частотах, ШМ вызывает изменение распределения электрического поля в окружающем пространстве. Такое перераспределение ответственно также за электрические эффекты, возникающие при взрыве ШМ. Эти же эффекты вызывают треск в радиоприемнике и телефонной трубке. Аналогичный треск можно услышать в радиоприемнике при включении и выключении электрической лампы.

Почему шаровая молния большого диаметра приобретает форму летающей тарелки

Рассмотрим, какую форму приобретает ШМ диаметром в несколько метров. В стационарном состоянии экватор ШМ располагается в слое, где плотность воздуха максимальна. Верхний и нижний полюса располагаются в слоях, в которых градиент плотности воздуха направлен к слою с максимальной плотностью, то есть к экватору (рис. 1.11). В результате возникают силы, которые стремятся приплюснуть ШМ. Силы, которые обеспечивают сферическую форму ШМ, относительно малы и уменьшаются при увеличении диаметра. В то же время, силы, которые стремятся сплюснуть ШМ, увеличиваются с ростом диаметра. Действительно градиент плотности равен нулю в области экватора. При удалении от экватора градиент плотности должен возрасти. Таким образом, чем больше диаметр ШМ, тем выше ее склонность к сплющиванию. В результате ШМ приобретает форму сплюсненного сфероида. Если распределение градиента показателя преломления выше и ниже экватора неодинаково, то сплющивание сверху и снизу экватора тоже неодинаково. В результате ШМ приобретает форму тела вращения, напоминающего блюдце или тарелку.

Достоверно известно, что летающие тарелки могут перемещаться с большой скоростью и изменять направление скорости так резко, что возникающие при этом перегрузки недопустимы для живых существ. Если летающая тарелка представляет собой ШМ, то она может перемещаться с большой скоростью при условии, что градиент показателя преломления в атмосфере достаточно велик. В том случае, если атмосфера нестационарная, могут встречаться области, в которых направление градиента плотности воздуха изменяется достаточно резко. В таких областях ШМ резко изменяют направление своего движения. Как показано в [Torchigin, 2004a] скорость ШМ пропорциональна ее диаметру. Поэтому нет ничего удивительного, что большие ШМ перемещаются с большой скоростью и резко изменяют направление своего движения.

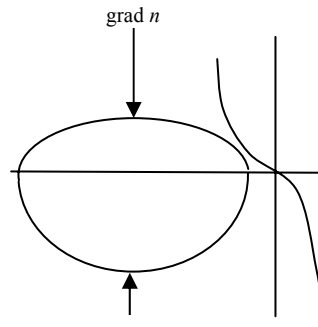


Рис. 1.11. Форма ШМ большого диаметра в воздушном слое с максимальным показателем преломления. Справа показана зависимость модуля $\text{grad } n$ от высоты.

Почему шаровые молнии могут иметь различный цвет

Известно, что цвет ШМ может быть самым различным. Наиболее просто ответить на этот вопрос можно было бы так. Температура области, в которой происходит формирование ШМ, может быть самой различной в зависимости от условий, при которых происходит газовый разряд. Как известно, максимум спектра сдвигается в коротковолновую часть спектра при повышении температуры. Так как ШМ представляет собой комбинацию сжатого газа и интенсивного электромагнитного излучения, а максимум спектра электромагнитного излучения может изменяться в широких пределах, то и цвет ШМ, который определяется максимумом этого спектра, может находиться тоже в широких пределах.

На это простое объяснение могут накладываться различные тонкости. Например, если ШМ образуется в результате многочисленных слияний миниатюрных ШМ малого диаметра, то радиационные потери таких ШМ зависят от длины волны циркулирующего в них света. Наиболее быстро такие ШМ теряют излучение, относящееся к длинноволновой части спектра. В результате их спектр сдвигается в коротковолновую часть. Большая ШМ, образованная из-за слияния многочисленных миниатюрных ШМ, имеет фиолетовый оттенок. Такие ШМ наблюдались в экспериментах [Климов, 1993].

Исчезновение шаровой молнии

ШМ исчезает, когда она становится нестабильной (хотя стабильность ШМ весьма условна, так как из-за постоянного уменьшения запасенной энергии в ШМ отсутствует стационарное состояние). Так как процессы с участием света имеют сравнительно малые постоянные времени, то развитие процесса нестабильности происходит сравнительно быстро. В некоторый момент времени уменьшение интенсивности циркулирующего света приводит к уменьшению давления сжатого воздуха в оболочке ШМ и, следовательно, к уменьшению разности показателей преломления оболочки и окружающего пространства. Это, в свою очередь, приводит к дальнейшему увеличению радиационных потерь и более быстрому уменьшению интенсивности циркулирующего света. В некоторый момент циркулирующий свет резко покидает оболочку ШМ и излучается во все стороны свободного пространства. Оставшийся в оболочке сжатый воздух, лишившись источника электрострикционного давления, начинает расширяться. Постоянная времени этого процесса определяется скоростью звука в воздухе, которая на 6 порядков меньше скорости света. Иногда сообщается, что при исчезновении ШМ слышен звук, напоминающий вы-

стрел из пистолета. Это свидетельствует о том, что количество сжатого воздуха невелико, и что сжатие воздуха достаточно сильное. Если ШМ исчезает бесшумно, то это свидетельствует о том, что в оболочке ШМ вместо сильно сжатого воздуха находились умеренно сжатые газы, у которых показатель преломления выше, чем у воздуха [Torchigin, 2004d].

Защита от шаровых молний

На основе проведенного рассмотрения можно привести некоторые рекомендации по защите от ШМ. Наиболее радикальным способом является уменьшение плотности воздуха в помещении по сравнению с плотностью воздуха снаружи. В этом случае наружный воздух будет поступать в помещение через всевозможные щели, а шаровые молнии, вопреки здравому смыслу, будут выталкиваться из помещения. Повышение в помещении температуры будет давать такой же эффект. Если все же ШМ оказалась в помещении, то не рекомендуется махать руками или, например, выгонять ее веником, так как район с избыточным давлением создается между ШМ и веником, и ШМ будет приближаться к венику. Не рекомендуется дуть на ШМ, так как она будет приближаться к источнику повышенного давления, то есть ко рту, из которого выходит воздух. Можно защититься от приближения ШМ плоским непрозрачным предметом, например, книгой, лучше в темной обложке. После того как воздух между ШМ и книгой будет нагрет ШМ, она удалится от книги.

Шаровая молния как возможная причина Чернобыльской трагедии

Анализу причин этой трагедии посвящено много исследований. Официальная версия гласит, что трагедия является результатом ошибок персонала, усугубленных роковым стечением обстоятельств и некоторыми конструкционными недостатками реактора. То, что такие ошибки персонала и конструкционные недостатки были, не вызывает сомнения. Но было ли это причиной аварии? Доказать или опровергнуть это невозможно. Простой пример. Произошло дорожно-транспортное происшествие на шоссе, при котором автомобиль оказался в кювете. Исследуя причины аварии, автоинспекция установила, что водитель значительно превысил скорость, а его автомобиль был технически неисправен: плохие тормоза, недопустимый люфт в рулевом управлении и т. п. Все это могло привести к аварии. Однако более тщательные исследования показали, что непосредственно перед аварией навстречу автомобилю двигался грузовик по встречной

полосе, и водителю, чтобы избежать столкновения, пришлось свернуть в кювет.

Возникает вопрос. Не было ли какой-либо неизвестной причины, аналогичной двигающемуся по встречной полосе грузовику? Оказалось, что такой причиной могли быть начавшиеся за минуту до трагедии на первый взгляд безобидные электротехнические испытания электрогенератора. В статье [Торчигин, 2006а] показано, что при этом могла возникнуть ШМ, которая проникла в реакторную зону и вывела реактор из штатного режима.

Хорошо известно, что особенно часто шаровые молнии возникают в аккумуляторных подводных лодках при реверсировании двигателей. Такие шаровые молнии летают по каютам и иногда обжигают стойки и прожигают перегородки. Многочисленные свидетельства появления огненных шаров описаны в монографии Барри [Barry, 1980], посвященной шаровым молниям. Например, норвежский гидроэнергетик Нильсон показал, что от области замыкания генератора постоянного тока отделялась красноватая светящаяся масса и оставалась видимой в воздухе в течение нескольких секунд. Приведены фотографии светящегося шара, отделившегося от светящейся массы. Имеются свидетельства того, что шаровая молния диаметром около 20 см прожгла отверстие диаметром около 7 см в боковой стенке заводской трубы ([Стаханов, 1996], случай 34), а также многочисленные свидетельства того, что появляющиеся в салонах самолетов шаровые молнии прожигают их обшивку.

Шаровая молния может быть заряжена [Torchigin, 2005a]. Как известно, любое заряженное тело при приближении к металлической пластине начинает к ней притягиваться, так как в области пластины, расположенной наиболее близко к телу, наводятся заряды противоположного знака. Если при приближении к металлической пластине шаровая молния нагревает пластину до температуры выше точки испарения металла, то происходит эрозия металла и показатель преломления в области между шаровой молнией и пластиной увеличивается. Располагаясь в этой области, шаровая молния испаряет металл в пластине до тех пор, пока не прожжет пластину насквозь, либо пока не иссякнет ее энергия. В последнем случае в пластине наблюдается кратер. Подобные отверстия **правильной круглой формы**, прожженные в мишенях из электропроводных материалов (алюминия, титана, вольфрама) можно видеть на фотографиях в статье [Авраменко, 1994]. Как отмечает Уруцкоев, авторитетный ученый из Курчатовского института в своей статье «Чернобыль может повториться. Тайна ядерной катастрофы близка к разгадке» в газете Новые известия от 05.09.2000 г, в стене шахты реактора «зияло прожженное неиз-

вестно чем отверстие **правильной круглой формы**» (выделено авторами).

В качестве вещества, которое подвергается эрозии при газовом разряде, может выступать любое. Например, в экспериментах по получению искусственных шаровых молний в качестве такого вещества использовался воск, предварительно нанесенный на электроды, между которыми происходит газовый разряд [Климов, 1993]. В других экспериментах в качестве такого вещества использовался металл, различные полимеры, вата, стружки дерева [Емелин, 1997]. По-видимому, в качестве такого вещества при формировании шаровой молнии в машинном зале выступало трансформаторное масло. По словам начальника смены Орлова, на нижних отметках возник пожар – горело трансформаторное масло [Горбачев, 2002].

После возникновения шаровой молнии в эрозийном газовом разряде события могли развиваться следующим образом. Шаровая молния проникла через прожженную щель в паропровод и, двигаясь вдоль градиента показателя преломления, попала в некоторый тепловыделяющий элемент, в котором происходит образование пара и, следовательно, имеет место «эрозия» воды. Плотность пара и, следовательно, показатель преломления в этом месте максимальны. Дойдя до этой области и разрушив тепловыделяющий элемент, шаровая молния попала в шахту, притянувшись к металлическому листу шахты, в котором прожгла отверстие правильной круглой формы. После исчезновения шаровой молнии остались сжатые в оболочке шаровой молнии пары трансформаторного масла. Поскольку исчезло удерживающее их электрострикционное давление света, они расширились и постепенно сконденсировались на стенках шахты. Тот же Уруцкий отмечает, что стены шахты были покрыты масляной эмульсией.

Заключение

До настоящего времени световые пузыри не изучались ни теоретически, ни экспериментально. Никто даже не подозревал о возможности их существования. Однако из общеизвестных законов физики следует, что поведение световых пузырей в земной атмосфере точно такое же, как загадочное и парадоксальное поведение шаровых молний. Слишком много связанных с шаровыми молниями загадок может быть объяснено в предположении, что ШМ – это световые пузыри. Из приведенного рассмотрения следует сделать вывод, что световые пузыри – это не игра ума, а объективная реальность.

На этом можно было бы закончить деятельность по объяснению природы шаровой молнии и ожидать всеобщего признания высказанной гипотезы. Для признания идей, не входящих в круг существую-

щих понятий, требуется время. Как отмечал Макс Планк, обычно новые научные истины побеждают не так, что их противников убеждают и они признают свою неправоту, а большей частью так, что противники эти просто вымирают, а подрастающее поколение усваивает истину сразу. Так как авторы являются современниками противников, то нет оснований надеяться увидеть, как подрастающее поколение усвоит истину. Однако, в отличие от противников, авторы имеют возможность воспользоваться новыми знаниями о существовании в природе световых пузырей, что они и сделали. Так появились еще 3 главы. Полученные в них результаты имеют самостоятельное значение и могут быть использованы в различных областях, не связанных с световыми пузырями. Таким образом только предположение о том, что в природе существуют совершенно новые объекты в виде световых пузырей, позволило получить новые знания, как в области теории, так и в области практических применений.

Глава 2. Шаровые молнии в лаборатории

Знание некоторых принципов легко
возмещает незнание некоторых фактов.

Клод Андриан Гельвеций

Высказанное в предыдущей главе утверждение, что световые пузыри никто не исследовал экспериментально, не совсем верно. Оказывается, что световые пузыри исследовались во многих лабораториях мира в течение последних двух веков в попытках получить искусственные ШМ, однако при этом никто и не подозревал, что исследуемые при этом объекты являются световыми пузырями.

Похоже, что первые удачные попытки получить в лабораторных условиях нечто, напоминающее ШМ, были предприняты английскими физиками Арденом и Констеблем в конце XVIII века. Они накапливали в лейденской банке мощные заряды и наблюдали в точке прохождения разряда небольшие светящиеся шары. Подобный шар имел диаметр около четверти дюйма, красный цвет, совершал быстрое беспорядочное движение и прекращал свое существование с громким взрывом [Barry, 1980]. Дальнейшие попытки получить ШМ в XIX–XX веках довольно подробно описаны в книгах Сингера [Singer, 1971] и Барри [Barry, 1980]. Решающий вклад в получение искусственных шаровых молний был сделан в СССР в конце 80-х – начале 90-х годов. Результаты этих работ описаны в книге «Шаровая молния в лаборатории», вышедшей в 1994 году под редакцией Р. Ф. Авраменко [Авраменко, 1994]. Без преувеличения можно сказать, что в этой книге собраны материалы отечественных экспериментальных исследований, которые намного опередили свое время и внесли решающий вклад в исследования ШМ.

Эксперименты с получением искусственных ШМ ценны тем, что, в отличие от природных ШМ, параметры получаемых при этом объектов могут быть тщательно измерены, а сами объекты могут воспроизводиться многократно. Различные исследователи по-разному называют изучаемые ими объекты: энергоемкое плазменное образование, светящийся автономный объект, светящийся аномальный объект, экзотический вакуумный объект, долгоживущий автономный объект, шарообразное плазменное образование и др. Поскольку все эти объекты имеют одну и ту же физическую природу, связанную с интенсивным белым светом, циркулирующим в тонкой сферической оболочке, в которой тем или иным образом увеличен показатель преломления, то все эти объекты в дальнейшем будем называть одинаково: просто аномальными объектами (АО).

На протяжении двухвековых исследований накопилось так много экспериментальных данных, что нет необходимости проводить дополнительные эксперименты по исследованию свойств АО. Аномальными эти объекты называют из-за того, что их свойства отличаются от свойств других известных объектов. Все эти аномальные свойства довольно просто объясняются, если допустить, что АО являются миниатюрными ШМ с относительно малым временем жизни и запасенной энергией.

Искусственные шаровые молнии с малым временем жизни

Весьма показательные эксперименты были проведены французским физиком Планте в 1875–1890 годах [Bagry, 1980]. Планте проводил свои эксперименты с двумя плоскопараллельными металлическими пластинками, разделенными тонким слоем слюды. Получающийся при этом конденсатор подсоединялся к батарее аккумуляторов напряжением 4 000 В. Разряд возникал в результате пробоя слюды в наиболее слабом месте. При этом возникал небольшой шар. Шар существовал в течение нескольких минут, пока батарея была в состоянии поддерживать разряд. Шар хаотически двигался вдоль поверхности пластин, и это движение сопровождалось потрескиванием.

Затем Планте добавил к пластинам мокрые поверхности, образованные дисками из прокладочной или фильтровальной бумаги, смоченными дистиллированной водой. При подключении конденсатора к батарее между пластинами возникал разряд в виде небольшого огненного шара. Такой шар появлялся только между влажными поверхностями и вообще не возникал в случае сухих поверхностей. Шар хаотически перемещался вдоль пластин, оставаясь между увлажненными участками. Шар существовал до тех пор, пока напряжения аккумуляторов было достаточно.

В рамках нашего подхода это явление можно объяснить следующим образом. Результирующий световой шар формируется в разрядном промежутке благодаря слиянию многих небольших световых шариков, которые возникают благодаря явлению самоорганизации интенсивного света [Torchigin, 2007]. Излучаемый возбужденными при разряде атомами свет имеет фоновую интенсивность. В оболочке световых шариков интенсивность света из-за его самоорганизации значительно выше. Однако и этой интенсивности недостаточно для формирования волновода из сжатого воздуха с малыми радиационными потерями. В этом случае и результирующий световой шар, и небольшие световые шарики, которые пополняют запасы света в результирующем шаре, существуют только во время разряда. При этом

поведение результирующего светового шара во время газового разряда не отличается от поведения светового пузыря, который может существовать некоторое время самостоятельно, и поведение которого рассмотрено в предыдущей главе. Оба шара располагаются в той области, где показатель преломления максимален.

Если фильтровальная бумага становится сухой из-за испарения влаги при высокой температуре в газовом разряде, шар перемещается в район, где происходит преобразование воды в пар. Испарение увеличивает показатель преломления в области не только из-за добавления в эту область дополнительного вещества в виде паров воды, но также и из-за того, что при испарении уменьшается температура. Это обстоятельство объясняет случайное движение огненного шара между пластинами, покрытыми влажными листами фильтровальной бумаги. Шар не может оставаться на одном и том же месте, так как фильтровальная бумага в этом месте становится сухой, и показатель преломления в этом месте уменьшается. В то же самое время плотность воздуха в соседних областях, где фильтровальная бумага еще влажная, увеличивается из-за испарения влаги, и шар движется в одну из таких областей.

Характерное потрескивание при газовом разряде может быть объяснено резким расширением воздуха в оболочках небольших шариков, когда они сливаются с большим. Когда интенсивный свет из малого шарика переходит полностью в большой, сжатый воздух в оболочке малого шарика начинает расширяться. Это расширение вызывает треск.

Гезехус [Гезехус, 1900] изучал характер разряда переменного тока при напряжении 10 кВ в электродах разной формы из различных материалов. В качестве электродов использовались металлические пластины, поверхность воды, водяные столбы и влажные губки. Между медной пластиной и поверхностью воды, разделенными расстоянием 2–4 см, возникал очень подвижный разряд постоянно изменяющейся формы. Огненный шар ни на мгновение не оставался неподвижным, он двигался назад и вперед по пластине, издавая потрескивание. В нескольких дюймах от разряда не ощущалось никакого тепла. В стеклянном колоколе, помещенном над прибором, собирались пары азота.

Природа физических явлений в этих экспериментах такая же, как и в опытах Планте. В разрядном промежутке возникала низкотемпературная плазма, и создавалось интенсивное излучение при прохождении через промежуток переменного тока. В результате самоорганизации интенсивного света возникал световой пузырь. Как и в опытах Планте, интенсивность света в оболочке светового пузыря была недостаточна для формирования световода с малыми радиационными потерями. Поэтому после прекращения разряда, световой пузырь сра-

зу исчезал. Так же, как и ШМ, световой пузырь излучает свет в результате рассеяния света, циркулирующего в его оболочке. Поэтому вблизи светового пузыря не ощущается никакого тепла. Те же причины вызывают потрескивание.

Светящиеся сферы возникали на отрицательном электроде и в том случае, если два тонких металлических острия, соединенных с электростатической машиной, помещались на светочувствительную эмульсию фотографической пластины [Ledus, 1899]. После отделения такого шара от ярко светящегося отрицательного электрода острие оставалось темным, а маленький шарик двигался к положительному электроду и медленно пересекал пластину крайне сложным путем, иногда на мгновение останавливаясь. Чтобы покрыть расстояние 5–10 см, разделявшее электроды, шарiku требовалось от 1 до 4 мин. Когда шарик достигал положительного электрода, свечение исчезало, а источник тока начинал вести себя так, словно его полюсы были закорочены. После проявления пластины на ней был виден путь шарика. Проводимость появлялась только в тех местах, по которым прошел шарик.

Возникновение и поведение шарика можно объяснить следующим образом. В той области, где находится шарик, происходит эрозийный разряд, связанный с разложением и испарением эмульсии. В этой зоне показатель преломления максимален. Когда в ней закончится вещество, которое может разлагаться и испаряться (например, желатин, на основе которого изготавливается эмульсия), интенсивность испарения упадет, показатель преломления в этой области уменьшится. Кроме того, омическое сопротивление этой зоны уменьшится, так как она станет проводящей. При этом напряжение источника полностью падает на участке между этой областью и положительным электродом. Проходящий ток и излучающий свет шарик разогревают смежную область, расположенную в направлении положительного электрода. Из этой области начинается испарение, показатель преломления в ней увеличивается. Туда и перемещается шарик.

Теплер пришел к выводу, что шаровую молнию больше всего напоминает слоистый разряд – переходный между кистевым и вольтовой дугой [Toerler, 1901]. Положение возникшей между электродами светящейся области можно менять, варьируя ток. Перемещаясь между электродами эта область огибает пластины, помещенные на прямой линии между электродами, и проникает сквозь небольшие отверстия в этих пластинах. В пользу того, что этот разряд является световым пузырем, можно привести следующие доводы. Световые пузыри с малым временем жизни, как частный случай ШМ, обладают многими ее свойствами. В частности, они сохраняют свою целостность, обходят препятствия и проникают сквозь щели.

Имеются совершенно неожиданные другие свидетельства того, что природа возникающих при таком разряде световых пузырей относится к природе ШМ. Именно при том режиме, на который указывал Теплер, и который назван в [Carré, 1996] «аномальным режимом» вакуумного разряда, наблюдается избыточная энергия. Как отмечается Шолдерсом [Shoulders, 2005], при таком же режиме отмечается появление так называемых экзотических вакуумных объектов, которые по-существу являются миниатюрными ШМ. При этом отмечена трансмутация элементов на катоде. Как замечено Левисом [Lewis, 2003], шаровые молнии часто наблюдаются в удачных экспериментах по осуществлению низкотемпературных ядерных реакций. Имеются веские основания считать, что физические условия внутри ШМ благоприятны для осуществления низкотемпературных ядерных реакций [Torchigin, 2004b]. Наконец, специфика движения катодного пятна при вакуумном разряде напоминает движение огненных шаров в опытах Планта. Все это свидетельствует о том, что световые пузыри связаны с достаточно широким кругом явлений, протекающих при газовых разрядах.

Ранние исследования аномальных объектов, существующих после прекращения газового разряда

Несколько другая ситуация имеет место в многочисленных экспериментах, в которых возникают светящиеся шары, существующие некоторое время после прекращения газового разряда. По-видимому, к таким экспериментам относятся упоминавшиеся пионерские опыты, выполненные Арденом и Констеблем в конце XVIII века.

В экспериментах Ван-Марума [Marum, 1800] из железных, медных и свинцовых проволок неоднократно возникали подвижные сферы, которые отскакивали от холодной поверхности. Сразу заметим, что холодная поверхность характерна тем, что градиент показателя преломления направлен в ее сторону. Подвижные сферы могут отскакивать от холодной поверхности, если они первоначально движутся в направлении этой поверхности. По-видимому, холодная поверхность упоминается не зря. Причины, по которым световой пузырь отскакивает от поверхности, рассмотрены ниже при анализе опытов, проведенных в конце XX века.

Случайный разряд в медную проволоку в студенческой лаборатории создал светящийся шар, похожий на те, о которых сообщал Ван-Марум. Этот шар, казалось, медленно катился по столу, пока не исчез [Jones, 1910]. На траектории движения шара осталась линия опаленных пятен, которая кончалась у трещины в столе шириной 1–2 мм. В ящике прямо под щелью был найден медный шарик диаметром около

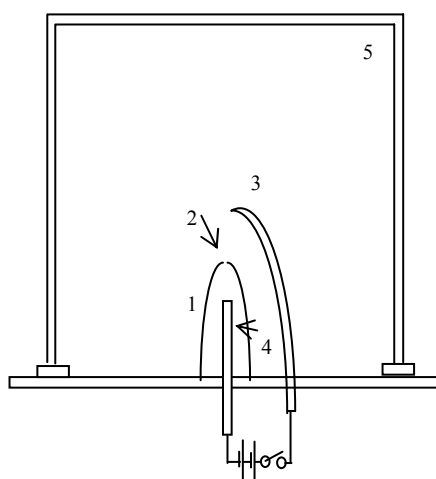


Рис. 2.1. Схема используемой Науером экспериментальной установки. 1 – стеклянная трубка с небольшим отверстием 2 на торце; 3, 4 – электроды; 5 – вакуумная камера.

1 мм. О наблюдении таких шариков сообщается также в работе [Емелин, 1997]. Анализ их возникновения и поведения приведен ниже.

В середине 20 века Науер выполнил серию экспериментов [Барри, 1980] как будто бы для того, чтобы специально подтвердить существование в природе световых пузырей. Приведем основные из этих экспериментов со своими комментариями по ходу изложения. В небольшую стеклянную трубку 1 с внутренним диаметром 5–7 см помещался металлический электрод 4 (Рис. 2.1). Размер отверстия 2 в конце трубки мог меняться. Второй электрод 3 помещался рядом со стеклян-

ной трубкой. Оба электрода располагались в стеклянной камере, которая могла откачиваться. Согласно наблюдениям Науера, в затемненном помещении сразу после прохождения искры между двумя электродами из отверстия 2 небольшой стеклянной трубки возникал светящийся объект, длительность существования которого составляла несколько секунд.

Исследуя этот объект, Науер обнаружил, что его свойства зависят от давления воздуха в камере. При низких давлениях (порядка 15 мм ртутного столба) образуется большое яркое облако; при более высоких давлениях (около 1 атмосферы) образуются более тусклые облака меньших размеров. Использовались различные газы: кислород воздуха, водород, пропан, смесь воздуха с хлором, смесь воздуха с парами бензола и аргона. При этом изменялись окраска, яркость и размеры возникающего облака.

Чтобы облегчить образование облака необходимо сделать достаточно маленьким отверстие 2 в конце небольшой стеклянной трубки 1, в которую помещен один из электродов 4. Светящееся облако, возникающее в воздухе при нормальном давлении, было видно даже в незатемненном помещении, хотя особенности его формы можно было видеть только в темноте. Согласно показаниям термометра, находившегося в контакте со светящимся облаком, температура поднима-

лась всего на 15 градусов выше комнатной. Сужение конца стеклянной трубки, в которую помещался электрод, улучшало условия формирования светящегося облака. Для воспроизведения явления при атмосферном давлении требовалось очень маленькое отверстие.

Достаточно просто объяснить благотворное влияние небольшого отверстия на возможность возникновения облака. Для успешного формирования светового пузыря необходимо увеличивать время, в течение которого световой пузырь находится в разрядном промежутке и накапливает световую энергию в своей оболочке. Одним из наиболее часто используемых способов выполнения этого условия служит использование эрозийного разряда, при котором испарение любого вещества с электродов увеличивает показатель преломления в разрядном промежутке до такой степени, что там создается его максимум, несмотря на повышенную температуру относительно окружающего пространства. Стремясь двигаться в область с максимальным показателем преломления, световой пузырь остается в разрядном промежутке, и в нем происходит накопление света. Этот способ был обнаружен экспериментально достаточно давно, однако разумного объяснения благотворного действия эрозийного разряда на условия формирования аномальных объектов не существовало до настоящего времени.

Науером был экспериментально открыт еще один способ, который позволяет световому пузырю находиться в разрядном промежутке длительное время. Фактически в установке Науера разряд происходит в закрытой камере, из которой через небольшое отверстие выходит во время разряда лишь небольшое количество газа. В этом случае, несмотря на повышение температуры в разрядной камере, плотность газа в ней остается максимальной благодаря испарению электродов и, следовательно, градиент показателя преломления в окружающем пространстве направлен в разрядный промежуток. После прекращения разряда, когда прекратилось поступление дополнительных порций вещества в камеру из-за испарения электродов, градиент показателя преломления на оси небольшого отверстия в стеклянной трубке направлен наружу, так как часть газа покинула разрядный промежуток и вышла наружу через отверстие. Световой пузырь проникает через это отверстие, точно так же, как ШМ проникает через узкую щель. Науер экспериментально показал, что сужение отверстия улучшает условия формирования светящегося облака. Этот же вывод следует из представленного объяснения на основе концепции световых пузырей.

Весьма показательны для подтверждения концепции существования световых пузырей опыты Науера, связанные с горением. Случайно было обнаружено, что небольшие следы бензола, оставшиеся в

стеклянной камере после ее очистки, при искровом инициировании приводят к образованию в камере небольших светящихся облаков. Эксперименты проводились в закрытой камере диаметром 6–8 см и длиной 50–200 см. Между двумя электродами, помещенными внутрь камеры, зажигалась электрическая искра. Светящиеся облака появлялись после прекращения искрового разряда и существовали в течение нескольких секунд. Эти облака не заполняли весь объем камеры, а имели диаметр 2–3 см. Образование светящихся облаков становилось более вероятным, когда углеводород полностью перемешивался в замкнутом объеме воздуха.

Прокомментируем пока эти результаты. Показатель преломления пропана отличается от 1 на $\Delta n = 0,00054$, а показатель преломления воздуха на $\Delta n = 0,00027$. Это означает, что двукратное повышение Δn в оболочке светового пузыря может быть достигнуто путем всасывания в оболочку молекул пропана. Для этого требуется гораздо меньшая интенсивность света, чем для получения такого же Δn путем сжатия воздуха в 2 раза за счет электрострикционного эффекта [Torchigin, 2004d]. Таким образом, малая примесь пропана благоприятна для формирования световых пузырей. Так как занимаемый оболочкой объем на несколько порядков меньше общего объема газа, то для формирования оболочки из пропана достаточно небольшой его концентрации. Отметим, что при большой концентрации пропана рассмотренный эффект пропадает, так как при этом возрастает Δn не только в оболочке, но и в окружающем ее пространстве, и разница в показателях преломления уменьшается.

Например, если концентрация пропана равна 50%, то для смеси $\Delta n = 0,00040$ и разница в показателях преломления оболочки, полностью заполненной пропаном, и окружающим пространством равна 0,00014. Если же концентрация пропана равна 0,1%, то для смеси $\Delta n \approx 0,00027$, и разница в показателях преломления $\Delta n = 0,00027$, то есть в 2 раза больше. Тот факт, что облака не занимали весь объем камеры, объясняется тем, что поверхность светового пузыря постоянна и не имеет тенденции к увеличению или уменьшению.

Легко понять, что перемешивание газовых компонентов благоприятно сказывается на образовании светящихся облаков. Действительно, при перемешивании пропан заполняет весь объем сосуда, в частности, и то пространство, в котором происходит образование светового пузыря. При этом в оболочку происходит всасывание молекул пропана из смежных областей. Поэтому желательно, чтобы в таких смежных областях имелись молекулы пропана. Перемешивание обеспечивает выполнение этого условия.

GAS	$\Delta n \cdot 10^7$	Molecular weight
air	2630	29
Br ₂	11250	160
C ₂ H ₂	6060	26
CH ₄	4410	16
Cl ₂	7680	70
CO	3340	28
CO ₂	4197	44
F ₂	1950	38
H ₂	1390	2
H ₂ O	2254	18
H ₂ S	6190	34
HBr	5700	81
HCl	4440	36
He	2753	4
HJ	9060	128
Kr	2752	84
N ₂	2793	28
N ₂ O	5150	44
Ne	2716	20
NH ₃	3750	17
NO	2970	30
O ₂	2531	32
O ₃	5110	48
SO ₂	6600	64
SO ₃	7370	80
Xe	7020	131

 Δn и молекулярный вес различных газов

То обстоятельство, что относительно низкое давление благоприятно для возникновения светящихся образований объясняется тем, что при уменьшении давления увеличивается длина свободного пробега в газе и всасывание молекул с максимальным показателем преломления за время появления шара может происходить из слоя большей толщины. Кроме того, при этом может быть достигнута большая разность в показателях преломления между оболочкой шара и окружающим пространством.

Науер обнаружил, что минимальное количество примесных газов обратно пропорционально их молекулярному весу. Со своей стороны мы уточним это наблюдение. В соответствии с нашей концепцией, минимальное количество примесных газов должно быть обратно пропорционально их показателю преломления. В таблице приведены некоторые значения Δn и молекулярных весов для газов, имеющих в справочнике

(Григорьев, 1991). Хотя и нет линейной зависимости Δn от молекулярного веса, однако четко прослеживается тенденция увеличения Δn с увеличением молекулярного веса. Безусловно, Δn для пропана и бензола значительно больше, чем Δn воздуха. Например, Δn для ацетилена в 2.4 раза больше, чем Δn для воздуха.

Науер обнаружил, что светящиеся облака не подвержены влиянию внешних электрических и магнитных полей. Действительно, ни сжатый газ, ни циркулирующее световое излучение не подвержены влиянию этих полей.

Цвет шаров мог изменяться только за счет добавления примесных газов; при этом получались все цвета. Светящееся облако походило не столько на явление горения, сколько на электрический тлеющий разряд – **казалось**, мягкое свечение испускается **поверхностью** светящегося тела. При добавлении паров бензола или пропана возникало свечение, видимое даже в ярко освещенной комнате. Светящиеся облака двигались в основном вверх, хотя наблюдалось также и движение вниз. Согласно измерениям скорость движения находилась в пределах 0,33–10 м/с.

Употребление слова «казалось» продиктовано только ошибочными ожиданиями увидеть излучение, исходящее из всего объема облака. Эти ожидания основаны на естественном предположении, что облако однородно, и если оно что-то излучает, то излучение должно исходить из всего объема. Тот факт, что при добавлении бензола или пропана излучение становилось более ярким, объясняется тем, что Δn для этих газов гораздо больше, чем для других, использовавшихся в опытах. В этом случае в оболочке может накапливаться больше света, что впоследствии приводит к более сильному рассеянию.

При низком содержании примеси никакого шума от явления не отмечалось, однако при высоком уровне примеси был зарегистрирован небольшой шум. Облако рассеивалось, как правило, бесшумно, но временами с громким звуком, когда облако касалось стенки камеры. Действительно, при низком содержании примеси оболочка светового пузыря формировалась на счет всасывания в оболочку молекул газа с максимальным показателем преломления. Когда пузырь становился нестабильным, воздух мгновенно покидал оболочку. После этого происходило беззвучное рассасывание сконцентрированного в оболочке примесного газа, давление которого совпадало с давлением окружающего воздуха. При высоком уровне примеси для получения требуемой разности в показателях преломления оболочка и окружающего пространства происходило не только всасывание примесной компоненты с высоким показателем преломления, но и некоторое сжатие этой компоненты. После того, как свет мгновенно покинул оболочку, происходило ее расширение, которое сопровождалось треском.

Заслуживает внимания одна специфическая особенность. Камера была разделена плоским диском с центральным отверстием диаметром 7 мм. Диск помещался в камеру таким образом, что отверстие располагалось в середине камеры. Как правило, светящееся облако гасло, когда оно соприкасалось с диском. Однако в ряде случаев светящееся облако как будто проходило сквозь отверстие и восстанавливало размеры и форму, существовавшие раньше. Процесс прохожде-

ния световых пузырей через отверстия рассмотрен в предыдущей главе.

Науер заключил, что существует определенная корреляция между естественной шаровой молнией и полученными в лабораторных условиях облаками, светящимися за счет возбуждения углеводородов при малой концентрации. Эти выводы Науера также справедливы.

Еще более ценен вывод Науера о том, что природа шаровой молнии не связана с электричеством. Описывая эксперименты Науера, Барри приходит к выводу, что его работы являются самым значительным вкладом в исследования природы шаровой молнии за 70 лет после исследований Планте. Со своей стороны, мы можем добавить, что работы Науера являются решающим аргументом в пользу существования в природе световых пузырей. Если бы концепция световых пузырей была известна в те времена, то все эксперименты Науера были бы для нее превосходным исчерпывающим экспериментальным подтверждением, и природа шаровой молнии была бы раскрыта полвека тому назад.

Современные исследования аномальных объектов, существующих после прекращения газового разряда

Детальное изучение долгоживущих аномальных объектов было выполнено в России в начале 90-х годов. Результаты многих из этих исследований опубликованы в монографии «Шаровая молния в лаборатории» [Авраменко, 1994]. Кроме того, результаты многих исследований опубликованы в «Журнале Технической Физики» и в «Письмах в ЖТФ». Для получения аномальных объектов (АО) использовался мощный эрозийный газовый разряд длительностью несколько миллисекунд. В качестве источника энергии использовалась батарея конденсаторов. При этом получались АО, которые могли существовать в течение долей секунды после прекращения разряда.

Электроды в разрядном промежутке покрывались веществом, которое испарялось в процессе разряда. В качестве такого вещества использовались капля воды [Егоров, 2002], воск, полимеры, хлопок, мука из дерева [Бычков, 2004], различные металлы [Емелин, 1997]. В этих экспериментах интенсивность фонового света в разрядном промежутке, испускаемого газом, нагретым электрическим током, была больше, чем в опытах Планте. Это способствовало появлению световых пузырей, оболочка которых состоит из сжатого воздуха, паров металла или других газов. Время жизни света в таких пузырях приблизительно на два порядка превосходит время жизни обычного белого света в земной атмосфере. Это объясняется особенностями молекулярного рассеяния света в оболочке АО. В отличие от обычного

рассеяния света в трехмерном пространстве, при котором рассеянный свет исчезает в свободном пространстве, рассеянный свет в оболочке АО остается большей своей частью в этой же оболочке и продолжает в ней циркулировать, но по другим направлениям. Этот процесс просто рандомизирует направления циркулирующего в АО света. Ниже будет показано, что время жизни света в оболочке увеличивается при этом приблизительно на 2 порядка по сравнению с временем жизни света, распространяющегося в земной атмосфере.

Дальнейшее увеличение времени жизни АО может быть получено путем значительного увеличения интенсивности света в разрядном промежутке. Такие физические условия имеют место при ударах обычных природных линейных молний. В этом случае давление воздуха в оболочке увеличивается в такой степени, что молекулы воздуха оказываются плотно упакованными. Это приводит к значительному увеличению времени жизни света в оболочке, так как почти полностью исчезают флуктуации плотности воздуха, которые ответственны за молекулярное рассеяние света в оболочке [Ландсберг, 1976].

Эксперименты, результаты которых рассматриваются в [Емелин, 1997], показали, что при газовом разряде возникают аномальные объекты, обладающие следующими свойствами. Их плотность сравнима с плотностью атмосферного воздуха, они имеют низкую газовую температуру, небольшую интенсивность световой радиации и высокую плотность запасенной энергии. Для них характерно различное взаимодействие с различными материалами. Например, они могут прожигать металлическую фольгу, но не могут проникнуть через обычный лист бумаги. Они стремятся сохранить свою целостность при встрече с препятствиями. Их время жизни аномально велико по сравнению с временем жизни идеальной плазмы. Авторы работы отмечают сходство в поведении их АО с поведением ШМ.

Зная природу АО, приведем объяснение селективного действия АО на препятствия. Когда АО приближается к листу бумаги, то участки бумаги, расположенные наиболее близко к АО, нагреваются из-за поглощения бумагой света, исходящего от АО (иногда на бумаге видны признаки обугливания). Бумага нагревает слой воздуха между собой и АО благодаря явлению теплопроводности. Показатель преломления горячего воздуха уменьшается. Так как АО движется вдоль градиента показателя преломления, то АО отскакивает от бумаги.

Приближаясь к металлической фольге, АО также пытается нагреть фольгу путем радиации света. Но теплопроводность фольги в 2 000 раз выше, а теплоемкость фольги в 15 раз больше, чем у бумаги. В результате, в отличие от бумаги, значительного нагрева фольги не происходит. Тепло растекается по поверхности фольги. Это позволяет АО приблизиться к поверхности фольги на расстояние, которое

существенно меньше минимального расстояния, на которое может приблизиться АО к поверхности бумаги. В конечном счете, АО тоже отскочил бы от фольги, приблизившись к ней на достаточно малое расстояние и повысив температуру небольшого участка фольги, расположенного наиболее близко к нему, но в это время вступает в действие совершенно новый механизм. Фольга под действием высокой температуры начинает испаряться. Это приводит к тому, что в области между АО и фольгой появляются пары металла, и показатель преломления в этой области увеличивается. Градиент показателя преломления оказывается направленным к поверхности фольги. Двигаясь вдоль этого градиента, АО располагается в максимуме показателя преломления, то есть в непосредственной близости от поверхности фольги. Заметим, что давление паров испаряющегося металла максимально на поверхности фольги, так как пары металла двигаются от поверхности фольги благодаря этому давлению. АО не увлекается потоком паров металла. Наоборот, АО движется в сторону, противоположную движению паров металла, потому что там находится область с максимальным давлением и, следовательно, с максимальным показателем преломления. АО располагается в области, где происходит испарение металла, и находится там все время, пока не иссякнет его энергия, или пока он не прожжет фольгу насквозь. В первом случае в фольге остается характерный кратер. Фотографии подобных кратеров приведены во многих работах. Во втором случае в фольге остается характерное отверстие правильной круглой формы. После того как АО прожжет в фольге отверстие, он выходит из отверстия, так как воздух на противоположной стороне фольги холоднее.

Эксперименты по получению АО в разрядной камере, где в момент разряда происходит выделение из твердых тел углеводородов были проведены совсем недавно [Бычков, 2004]. В качестве твердых тел использовались оргстекло, парафин, воск, канифоль, молотая древесина и их смеси. Схема разрядной камеры показана на рис. 2.2. Здесь разряд происходит в разрядном промежутке 5 между электродами 1 и 2. Разрядная камера образована в пластине из оргстекла, в которой имеется отверстие диаметром 1–2 мм и длиной 3–4 мм. В качестве источника энергии использовался конденсатор емкостью 3,2 мФ, заряженный до напряжения 300–340 В. Макси-

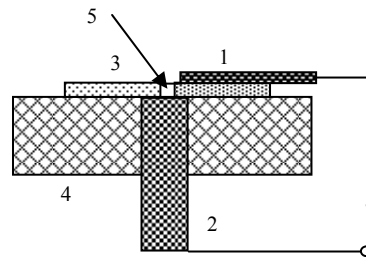


Рис. 2.2. Схема разрядной камеры.

мальное значение тока в импульсе 100–150 А. Импульс тока длительностью около 1,5 мс имел колоколообразную форму.

При разряде возникали АО или, по терминологии авторов, долгоживущие светящиеся образования с временем жизни около 1 с и размером около 1 см. АО вылетал из плазмотрона приблизительно через 45 мс после прекращения разряда. Практически все наблюдаемые АО на протяжении времени своего существования совершали неоднократные соударения с поверхностью экспериментальной установки, покрытой черной бумагой. При расшифровке видеозаписи было видно, что АО испытывали почти абсолютно упругие соударения. Исчезали АО, как правило, внезапно при очередном соприкосновении с поверхностью или в полете.

Изучение АО, полученных при испарении металлов, выполнены в Санкт-Петербурге [Емелин, 1997]. Такие АО в виде ярко светящихся желто-красных шариков диаметром 1–2 мм появляются при эрозийном газовом разряде в том случае, если электроды изготовлены из свинца, олова или алюминия. Их падение на горизонтальную твердую поверхность сопровождается подсакиваниями на высоту в несколько сантиметров. Количество таких подсакиваний может достигать до 50. Высота подсакиваний постепенно уменьшается, но яркость свечения АО при этом не изменяется. На заключительной стадии движения АО подсакивания постепенно переходят в скольжение, затем в качение и остановку. На поверхности стола, на тех его участках, от которых отскакивал АО, остаются следы в виде темных кругов, окруженных светлым осадком. Если поверхность стола деревянная, то в этих местах видны следы обугливания. Свечение АО обычно прекращается внезапно в любой точке его траектории.

Согласно концепции световых пузырей, в рассматриваемых случаях оболочка АО состоит из паров металла и полимеров, показатели преломления которых существенно больше показателя преломления окружающего воздуха (как следует из [Григорьев, 1991], значение $\Delta n = n - 1$ для SO_2 в $\gamma = 2,37$ раз больше Δn для воздуха; $\gamma = 2,04$ для SO_3 , $\gamma = 2,21$ для SH_2 , $\gamma = 2,17$ для C_2H_2 , $\gamma = 1,58$ для CH_4). АО имеет заметный вес. Поэтому он падает на горизонтальный стол под действием силы тяжести. По мере того как АО приближается к поверхности стола, АО нагревает ее, и появляется направленный вверх градиент показателя преломления. Это приводит к тому, что на АО начинает действовать сила, направленная вверх. Чем меньше расстояние между АО и поверхностью стола, тем больше эта сила. В этом отношении рассматриваемая сила аналогична упругой силе, действующей на обычный шарик со стороны поверхности стола, когда шарик падает на его поверхность. Так как запасенная в АО энергия гораздо

больше кинетической энергии обычного шарика, количество скачков АО существенно больше, чем у обычного шарика.

Обугливание участков поверхности стола, от которых отскакивал АО, подтверждает наше предположение о том, что, приближаясь к поверхности стола, АО нагревает эту поверхность.

Внезапное прекращение свечения АО, точно так же, как и внезапное исчезновение ШМ, объясняется их нестабильностью, возникающей при уменьшении ниже некоторого порога интенсивности света, циркулирующего в их оболочке. В этом случае производимое циркулирующим интенсивным светом разделение газовых компонентов оказывается недостаточным для надежного ограничения света в оболочке АО. В результате радиационные потери света в АО возрастают. Это, в свою очередь, влечет дальнейшее уменьшение в разделии и т. д. Обычно при возникновении нестабильности слышен треск или хлопок. Так как скорость света значительно больше скорости звука, после того как свет исчез из АО, в оболочке АО остается сжатое газообразное вещество, расширение которого и вызывает такие звуки.

Объяснение аномального спектра аномальных объектов

Спектры аномальных объектов, генерируемых с помощью разряда в газе, вызванного мощным радиочастотным излучением, исследовались в работе [Bagu, 1980]. Были отмечены следующие особенности спектров АО. Спектр АО соответствует спектру примесей, а не самого газа, в котором получались АО. Спектр АО соответствует в основном спектру углекислого газа, а также содержит некоторые линии металлов, из которых были изготовлены электроды. Цвет АО указывал также на то, что в АО имеются некоторые следы двуокиси азота NO_2 , однако спектр NO_2 невозможно было выделить на фоне спектра CO_2 . Заметим, что показатель преломления углекислого газа $n_{\text{CO}_2} = 1,0004197$, а двуокиси азота $n_{\text{NO}_2} = 1,000515$. В то же самое время показатели преломления воздуха, азота и кислорода, в которых происходило получение АО, находятся в интервале от 1,00025 до 1,00028. Таким образом, спектр АО состоит из тех компонентов газовой смеси, у которых показатель преломления наибольший.

Как показано в [Torchigin, 2004d], увеличение показателя преломления в оболочке ШМ может происходить не только за счет сжатия воздуха, но также и за счет втягивания в оболочку ШМ компонентов газовой смеси с максимальным показателем преломления. При этом в последнем случае требуется меньше энергии света на увеличение показателя преломления на некоторую величину Δn , чем в первом случае. Таким образом, изучение аномальных спектров АО позволило открыть новый тип оптической нелинейности в газах.

Барри описывает следующий парадокс, наблюдаемый в экспериментах с электрическими разрядами в смеси из пропана и воздуха. Он отмечает, что при большом содержании пропана в смеси имеет место взрыв. Это наблюдается и при уменьшении концентрации пропана вплоть до 2,8%. При дальнейшем уменьшении концентрации никаких взрывов не происходит. Однако при концентрации 1,4–1,8% возникает небольшой желто-зеленый огненный шар. Он имеет яркое свечение, его диаметр равен нескольким сантиметрам. Шар совершает быстрое случайное движение по камере и внезапно беззвучно исчезает через 1–2 секунды. Такой огненный шар рассматривался Барри как пример искусственной ШМ, возникающей при атмосферном давлении. Весьма важно, что шар продолжал существовать после прекращения ввода энергии в газовый разряд. Фото такого шара Барри представил в своей книге. Остается только добавить, что показатель преломления пропана существенно выше показателя преломления воздуха. Оболочка шара состоит из пропана. Так как толщина оболочки составляет всего несколько микрон, то пропана в смеси достаточно для формирования оболочки. При концентрациях пропана в диапазоне от 2,8% до 1,8% формирование шара не наблюдается, так как при этом показатель преломления окружающего пространства еще достаточно высок и разность в показателях преломления оболочки и окружающего пространства недостаточна. При концентрациях пропана меньше 1,8% этой разности оказывается достаточно для формирования оболочки ШМ, которая удерживает свет. При концентрациях пропана ниже 1,4% эта разность также уменьшается за счет того, что увеличение показателя преломления оболочки за счет разделения компонентов смеси оказывается неполным, так как плотность молекул в пространстве, непосредственно окружающем оболочку, из которого происходит всасывание молекул, не позволяет сформировать оболочку, состоящую только из одних молекул пропана. По-видимому, в этом случае уже не проявляется самоорганизация интенсивного света, возникающего в газовом разряде и приводящая к появлению самостоятельно существующих аномальных объектов после прекращения газового разряда [Torchigin, 2007].

Из представленного рассмотрения следует, что натуральные ШМ также могут иметь оболочку, содержащую примеси различных паров. Действительно, имеются многие свидетельства того, что такие молнии наблюдаются довольно часто. Появление ШМ связывалось у наблюдателей с отчетливо ощутимыми запахами. Чаще всего эти запахи определялись как запах серы и озона. В нескольких случаях запах сравнивался с запахом двуокиси азота. Все эти газы имеют показатель преломления, у которого Δn приблизительно в два раза больше, чем у обычного воздуха.

Некоторые наблюдения ШМ указывают на возможность того, что первоначальная линейная молния может породить ШМ, ударив в какое-то твердое вещество и испарив его. Появление огненного шара, который катится от дерева, пораженного молнией, достаточно типично [Singer, 1971]. С таким процессом согласуется факт обнаружения смолы в фульгурите от ШМ, возникшей от удара линейной молнии в дерево. В другом сообщении о горящем шаре на земле, который взорвался через полминуты, говорится о дегтеобразных остатках. Эта молния возникла во время чрезвычайно интенсивной грозы. Остаток имел запах серы и был настолько горячим, что обжег руку очевидца через 10 мин после исчезновения шара. От прикосновения к этому веществу его пальцы пожелтели.

Светящиеся шары наблюдались и после ударов молний в металлические сооружения, а в некоторых случаях испарение участков телефонной или антенной проволоки было явно теснейшим образом связано с возникновением шара. Есть свидетельство того, как после чрезвычайно сильного удара молнии в телефонный столб по улице катилась яркая масса диаметром почти 1 м, а следом за ней еще несколько шаров поменьше. Позже было обнаружено, что провод между двумя столбами оборван и не хватает значительного куска.

Взаимодействие аномальных объектов с жидким азотом

Весьма впечатляют эксперименты по взаимодействию АО с жидким азотом [Климов, 1994]. Возникающие при газовом разряде АО движутся в обычной атмосфере к расположенной поблизости кювете с жидким азотом. После прекращения газового разряда наблюдается свечение объема жидкого азота в течение 5 секунд. АО с четкими границами диаметром 0,5–4 мм, яркость которых превосходит фоновое свечение жидкого азота, можно заметить на дне кюветы, на ее внутренних боковых стенках, а также на поверхности жидкого азота. Спектр излучения находится в диапазоне от 400 до 500 нм. Излучение длится в течение 10–30 с, постепенно затухая.

Проникновение АО в жидкий азот может быть объяснено следующим образом. После своего возникновения АО движутся в атмосфере вдоль градиента показателя преломления воздуха, в котором они находятся. Показатель преломления газообразного азота сравним с показателем преломления воздуха (воздух содержит около 80% азота) и составляет $n_1 = 1 + \Delta n_1$ где $\Delta n_1 = 0,000277$ при нормальных условиях и температуре 300 К. В то же самое время температура около поверхности жидкого азота на 220 градусов ниже температуры окружающего пространства. В этом случае Δn_1 для холодного газообразного азота вблизи поверхности жидкого азота в 4 раза больше и, сле-

довательно, $\Delta n_1 = 0,001$. Поэтому имеется значительный градиент показателя преломления, направленный к поверхности жидкого азота, и АО движутся в направлении к этой поверхности. Приблизившись к поверхности, АО начинает испарять жидкий азот точно таким же образом, как он прожигал металлическую фольгу при приближении к ней. Температура слоя газа между АО и поверхностью жидкого азота близка к температуре жидкого азота, и показатель преломления n внутри этого слоя значительно превосходит n окружающего пространства. В результате, стремясь в район с максимальным показателем преломления, АО направляется в наиболее холодный район и «прожигает» отверстие в жидком азоте. Глубина отверстия постепенно увеличивается. В конечном счете АО проникает в жидкий азот полностью и образует вокруг себя шубу из газообразного азота. Повидимому, свечение всего объема жидкого азота объясняется свечением множества АО малого диаметра, проникнувших в жидкий азот. Чем меньше диаметр АО, тем больше его радиационные потери. Поэтому время жизни АО малого диаметра относительно мало (5 с) по сравнению с временем жизни АО большого диаметра (30 с).

Это явление объяснено в [Torchigin, 2004d]. Заметим, что свечение жидкого азота наблюдалось не только при разрядах батареи конденсаторов, но также и при работе обычной мощной лампы-вспышки, применяемой в фотографии. (При этом энергия вспышки составляла 300–600 Дж) [Климов, 1994].

Аномальные объекты в вакуумном разряде

Имеются веские основания полагать, что особенности вакуумных разрядов связаны с появлением АО. Вакуум в разрядном промежутке имеет место только на начальном этапе разряда. В стационарном режиме в разрядном промежутке находятся пары металлов, испарившихся с катода. Как известно, вакуумный разряд может сопровождаться появлением лавин электронов, каждая из которых содержит 10^9 – 10^{11} электронов. Подобные лавины получили название эктонов [Месяц, 2002]. Появление таких лавин может быть объяснено следующим образом.

Интенсивный свет внутри плазмы из паров металла склонен к самоорганизации, в результате которой появляются АО [Torchigin, 2007]. Взаимодействие АО с металлическими поверхностями было исследовано экспериментально [Авраменко, 1994]. Было показано, что АО притягиваются к таким поверхностям. Они могут либо прожечь отверстие в такой поверхности, либо выжечь кратер, если энергии АО недостаточно.

Это явление может быть легко объяснено [Torchigin, 2004d]. Приблизившись к поверхности катода, АО испаряет с поверхности металл, так как АО нагревает поверхность благодаря излучаемому АО свету. Разместившись в области с максимальной плотностью газа, АО испаряет металл до тех пор, пока не иссякнет энергия АО. Испарение металла и нагревание катода сопровождаются обычным явлением термоэлектронной эмиссии, используемом в радиолампах. Когда энергия АО иссякает, АО исчезает и эмиссия прекращается. В результате, находясь около поверхности катода, АО вызывает эмиссию лавины электронов. Заметим, что характер кратеров, формируемых АО при эрозийных газовых разрядах на металлических поверхностях [Авраменко, 1994], и кратеров, образующихся на поверхности катода при вакуумных разрядах [Месяц, 2000], одинаковы. Описание случайного движения огненного шара в экспериментах Планте напоминает описание случайного движения катодного пятна при вакуумных разрядах [Любимов, 1978]. Возможно, АО ответственны не только за появление эктонов, но и за появление катодных пятен.

Поведение аномальных объектов в ультразвуковой струе

Достаточно интересны экспериментальные данные по исследованию поведения АО в неоднородной атмосфере. Схема экспериментальной установки показана на рис. 2.3 [Климов, 1993]. Из рабочей камеры 2 объемом около 2 м^3 был откачан воздух до давления $P_0 = 20\text{--}40$ Торр. После открытия электромагнитного вентиля 4 в камеру врывался атмосферный воздух через сопло 5. Возникал сверхзвуковой поток 3 диаметром 3,6 см,двигающийся со скоростью около 470 м/с на выходе сопла.

Генератор АО представлял собой разрядное пространство в виде усеченного диэлектрического конуса 6 с основаниями 3 и 10 мм, и высотой 30 мм. Внутренняя поверхность конуса покрывалась воском или стеарином. Один из электродов был подсоединен к меньшему основанию, второй электрод в виде кольца был подсоединен к большему основанию. Круглое отверстие во втором электроде обеспечивало выход АО, возникающих в разрядном пространстве при газовом разряде. Скорость АО в той области, где он встречался со сверхзвуковым потоком составляла около 50 м/с. Как следует из фотографии, представленной в статье [Климов, 1993], продукты, возникающие при газовом разряде, попадая в сверхзвуковой поток, разделялись на 3 светящиеся части 7, 8 и 9.

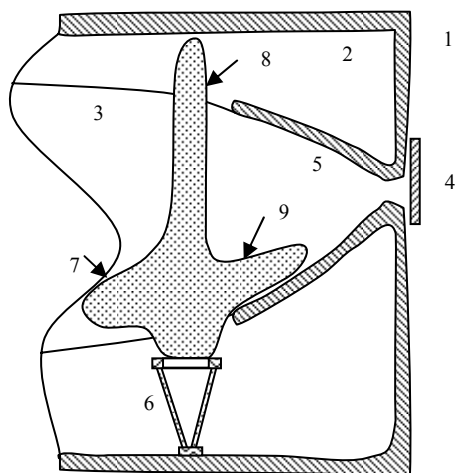


Рис. 2.3. Схематическое представление вылетающих из плазмотрона 6 объектов в сверхзвуковую струю, вытекающую из сопла 5.

Часть 7 состоит из возбужденных изолированных атомов, которые увлекаются потоком. Как и следовало ожидать, эта часть имеет ярко-белый цвет. Авторы отмечают «существование такого странного явления, как растекание плазмы 9 вдоль границы сверхзвуковой струи вверх по направлению к соплу». Если допустить, что часть 9 состоит из АО, то они должны двигаться вдоль градиента показателя преломления той среды, в которой они находятся. В рассматриваемом случае это направление совпадает с направлением градиентов давления

воздуха в сверхзвуковом потоке. Эти градиенты направлены в сторону сопла 5.

Интересно рассмотреть физическую природу части 8. Эта часть длиной 2–3 м остается строго коллимированной, имеет ярко-фиолетовый цвет и диаметр около 1 см. Как показывают измерения, скорость звука в этой части около 1 600 м/с. Это в 5 раз больше скорости звука в воздухе при нормальных условиях. Нетрудно убедиться, что скорость звука возрастает в 5 раз при сжатии воздуха, находящегося при нормальном атмосферном давлении, в 160 раз. Это достигается при давлении около 600 атмосфер [Torchigin 2005b]. В этом случае плотность воздуха также возрастает в 160 раз. При этом показатель преломления сжатого воздуха возрастает до $n = 1,043$.

Рассмотрим механизм, ответственный за такое большое увеличение давления в части 8. Электрический ток, проходящий через разрядный промежуток, вызывает резкое увеличение температуры в промежутке. Но распределение температуры вдоль радиуса конуса неоднородно. Вблизи покрытой воском боковой поверхности температура минимальна, так как испарение воска уменьшает температуру. Так как давление воздуха в различных точках разрядного пространства одинаково, показатель преломления n максимален вблизи боковой поверхности разрядной камеры. Поэтому появляющиеся в разрядном промежутке АО движутся по направлению к боковой поверх-

ности разрядной камеры. Достигнув боковой поверхности, АО сливаются с другими подобными АО и образуют большой АО, размер которого постепенно увеличивается, до тех пор пока диаметр его оболочки не станет равным диаметру разрядного промежутка. Интенсивность света в оболочке постоянно увеличивается благодаря слиянию с оболочкой все новых и новых АО. Это приводит к увеличению электрострикционного давления и, следовательно, давления воздуха внутри оболочки.

Следующее обстоятельство свидетельствует о том, что оболочка получает свет из малых АО в результате слияний. Многочисленные АО малого диаметра (несколько десятков микрометров) имеют большие радиационные потери. Эти потери зависят от длины волны. Чем больше длина волны, тем больше радиационные потери. Это приводит к тому, что накопленное внутри АО световое излучение, относящееся к длинноволновому участку спектра, излучается быстрее. В результате, такие АО приобретают фиолетовый цвет. Это явление объясняет фиолетовый цвет большого АО.

Плотность воздуха и его показатель преломления n в разрядном промежутке постепенно уменьшаются, так как при высокой температуре воздух расширяется и покидает разрядный промежуток. В результате, двигаясь вдоль градиента n , АО покидают разрядный промежуток тоже. Это же относится и к той части оболочки большого АО, которая расположена около большого основания. Эта часть начинает проникать в сверхзвуковой поток, но не увлекается им, так как часть оболочки большого АО, расположенная вблизи малого основания разрядного промежутка, остается в промежутке. Заметим, что диаметр этой части совпадает с диаметром большого основания разрядного промежутка. Часть оболочки большого АО, расположенная около боковых стенок разрядного промежутка, продолжает поглощать малые АО, которые непрерывно появляются во всем объеме разрядной камеры. В этом случае большой АО проявляет себя как единое целое, в оболочке которого циркулирует интенсивный свет во всевозможных направлениях. Такой АО напоминает деформированную ШМ в тот момент, когда она проникает через небольшое отверстие. Если бы время жизни такого АО было достаточно большим, то он после прекращения разряда принял бы шарообразную форму.

Воск в этом эксперименте играет тройную роль. Во-первых, при испарении воска появляются газообразные углеводороды. Они имеют показатель преломления, больший, чем показатель преломления воздуха. Такая смесь благоприятна для генерации АО [Торчигин, 2004d]. Во-вторых, испарение воска обеспечивает в разрядном промежутке существование большого n в течение длительного времени, так как новые порции воска превращаются в пар. Это благоприятно сказыва-

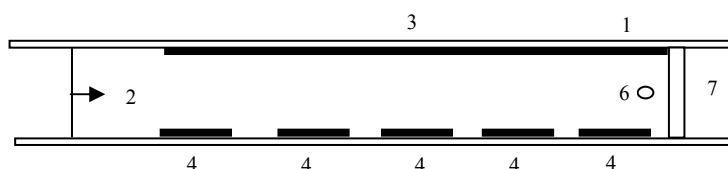


Рис.2.4. Схема эксперимента по изменению параметров ударной волны при прохождении через тлеющий разряд

ется на процессе накопления света в большом АО. В третьих, испарение воска уменьшает температуру вблизи боковых стенок разрядной камеры, что способствует увеличению показателя преломления в этой области, и созданию градиента показателя преломления, направленного в эту область. Такой градиент обеспечивает движение вновь возникших АО в зону, где происходит слияние этих АО с большим АО. В результате интенсивность света в большом АО постепенно увеличивается.

Другой весьма показательный эксперимент по изучению свойств АО связан с анализом отражения ударной звуковой волны, распространяющейся в слабо ионизированном воздухе, от плоской стенки [Мишин, 1992]. Схема экспериментальной установки показана на рис. 2.4. Здесь 1 – рабочая секция ударной трубы с поперечным сечением $10 \times 10 \text{ см}^2$, в которой распространяется ударная волна 2 со скоростью 400–600 м/с с треугольным профилем давления за ее фронтом. В рабочей секции ударной трубы создавался импульсный тлеющий разряд со средней плотностью тока 30 мА/см^2 и длительностью горения около 3 мс. Разряд создавался непосредственно перед приходом ударной волны.

В качестве рабочего газа использовался воздух при давлении 3–30 Торр. Размеры плазменной области составляли $10 \times 10 \times 20 \text{ см}^3$. В плазменной зоне на расстоянии 15 см от ее начала располагалась плоская кварцевая стенка, от которой происходило отражение ударной волны. Давление воздуха измерялось с помощью пьезоэлектрического датчика 6, расположенного на расстоянии 5 см от кварцевой стенки. Как показано в [Мишин, 1992], фиксируемое датчиком давление воздуха за падающей и отраженной волнами меньше в присутствии газового разряда, чем при его отсутствии.

Для объяснения этого аномального явления можно допустить, что в это время появляются многочисленные небольшие АО. Давление внутри АО значительно больше, чем в окружающем пространстве. В результате среднее давление оставшегося воздуха, фиксируемое датчиком, уменьшается. Так же, как и в предыдущих экспериментах, небольшие АО могут сливаться в один большой АО.

Это допущение подтверждается информацией, что «в ходе экспериментов было обнаружено явление возникновения около стенки в области нагретого слоя специфического плазменного образования с необычными параметрами. Его формирование происходило после отражения ударной волны от стенки 2. Сначала это образование охватывало область 3,5 см, но затем оно постепенно сжималось до 2 см».

Аномальные объекты, возникающие при испарении воды

Точно так же, как и в предыдущем эксперименте при испарении воска, при испарении воды создаются благоприятные условия для появления большого АО. Этот АО представляет собой изолированный светящийся шар (рис. 2.5с) диаметр которого приблизительно равен диаметру сосуда, из которого он появляется. Время жизни такого шара составляет 0,3–0,8 с. В экспериментах, описанных в [Егоров, 2002], роль воска выполняет капля воды, помещенная на один из электродов, как показано на рис. 2.5а. Здесь газовый разряд происходит между электродами 2 и 3. Электрод 2 представляет собой медное

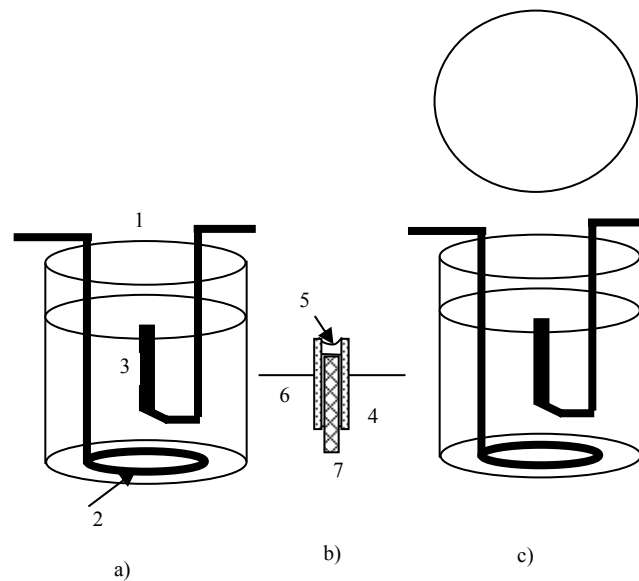


Рис. 2.5. Схема эксперимента по получению автономных объектов в сосуде с водой: а) взаимное расположение электродов в воде; б) структура центрального электрода 3; в) положение и размеры появляющегося автономного объекта.

кольцо, помещенное на дно полиэтиленового сосуда диаметром 18 см. Сосуд наполнен обычной водой. Высота водяного столба 18 см. Структура электрода 3 показана на рис. 2.5b. Здесь кварцевая трубка 4 с металлическим или угольным электродом 7 диаметром 5–6 мм содержит около 0,1 миллилитра воды 5. Трубка возвышается на высоту от 3 до 5 мм над уровнем воды 6 в сосуде.

Аномальные объекты, проникающие через прозрачную стенку

Из представленного рассмотрения можно заключить, что газовый разряд в герметическом сосуде должен быть благоприятен для генерации АО. Действительно, в этом случае плотность газа в сосуде и, следовательно, показатель преломления газа могут только увеличиваться при газовом разряде из-за испарения электродов. Экспериментальное подтверждение этого предположения представлено в [Emelin, 2004]. Схема конструкции, в которой генерируются АО, показана на рис. 2.6. Здесь 1 – полиэтиленовая трубка с прозрачными стенками, наполненная воздухом при нормальных условиях, 2 и 3 – алюминиевые электроды. Внутренний диаметр трубки 20 мм, внешний – 25 мм. Чтобы обеспечить полную герметичность внутренней камеры, около электродов был помещен бандаж.

Энергия для разряда запасалась с батарее конденсаторов емкостью 800 мкФ. Последовательно с разрядным промежутком включалось токоограничивающее сопротивление, которое могло изменяться в пределах от 0 до 400 Ом, и индуктивность, которая могла изменяться от 40 мкГн до 7600 мкГн. Авторы подчеркивают, что для получения при разряде аномальных объектов необходимо выбрать достаточное низкое напряжение на батарее конденсаторов, чтобы при начале разряда попасть в критический режим, характерными признаками которого являются большое падение напряжения на разрядном промежутке, увеличение длительности разряда и прекращение тока раньше, чем вылетит аномальный объект. Разряд производился при токоограничивающем сопротивлении 44 Ом и максимальном напряжении, при

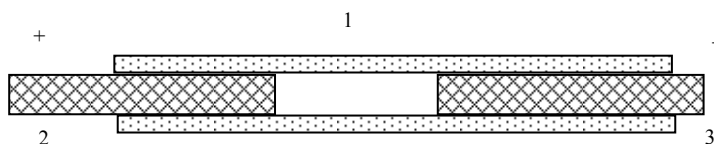


Рис. 2.6. Схема эксперимента по генерации автономных объектов, проникающих через прозрачную стенку сосуда, в котором они были первоначально получены.

котором стенки трубки не подвергались разрушению.

Видеозапись процесса показывает, что после прекращения разряда в трубке, последняя вздувалась и приобретала бочкообразную форму. Внутри трубки было видно слабое свечение, которое внезапно прекращалось. В этот момент несколько светящихся аномальных объектов диаметром около 1 мм появлялись снаружи трубки. Их появление сопровождалось потрескиванием. На нескольких кадрах видеосъемки видно, что АО парят в воздухе, а затем падают. АО, которые падали на поверхность стола, делали несколько прыжков и «исчезали бесследно». Трубка при этом оставалась герметичной.

Имея в виду, что стенки трубки непроницаемы для любых частиц (молекулы, атомы, ионы, электроны), следует признать, что все такие частицы остаются внутри трубки. Что касается света, то он почти беспрепятственно проходит через прозрачные стенки трубки. Процесс проникновения АО через прозрачные стенки трубки аналогичен рассмотренному выше процессу проникновения ШМ через оконные стекла [Торчигин, 2003а].

Тот факт, что АО вылетают из трубки с некоторой задержкой можно объяснить следующим образом. При газовом разряде происходит эрозия электродов и давление в трубке возрастает. Об этом свидетельствует вздутие трубки. После прекращения газового разряда пары конденсируются, и давление в трубке падает. Показатель преломления в трубке при большом давлении паров больше показателя преломления в пространстве вне трубки. В этом случае АО остаются внутри трубки. При уменьшении давления с остыванием электродов, показатель преломления уменьшается и может стать меньше, чем снаружи трубки, так как температура внутри трубки выше, чем снаружи. В тот момент, когда это происходит, АО проникают сквозь прозрачные стенки трубки наружу. Отметим, что оболочка проникших через прозрачную стенку АО состоит из сжатого воздуха, так как снаружи трубки нет ничего, кроме воздуха, а через стеклянные стенки трубки не могут проникнуть никакие частицы изнутри трубки. Поэтому такие АО «исчезают бесследно».

Условия, благоприятные для формирования аномальных объектов

Рассмотренные эксперименты и их объяснение дают возможность приступить к формированию АО с большими значениями запасенной энергии и временем жизни. Для этого следует увеличивать энергию газового разряда и его длительность. Кроме того, необходимо обеспечить непрерывную поставку продуктов, из которых формируется оболочка АО, в область газового разряда таким образом, чтобы мак-

симум показателя преломления оставался в разрядной камере как можно дольше. В этом случае АО не будут покидать разрядную камеру и станут накапливать свет в течение длительного времени.

Весьма интересно сравнить этот вывод, полученный на основе теоретических представлений о физической природе АО, с наиболее благоприятными режимами генерации АО, полученными экспериментально и представленными в [Авраменко, 1994]. Использовался газовый разрядник с разрядным промежутком в форме цилиндра в пластине из органического стекла (полиметилметакрилат). Диаметр цилиндра $D = 1$ мм, его длина $L = 3\text{--}5$ мм. Средняя плотность тока составляла $j = (5\text{--}10) \cdot 10^3$ А/см², напряженность электрического поля в разрядном промежутке составляла $E = (0,8\text{--}1,2) \cdot 10^3$ В/см, максимальный ток был равен 120 А, напряжение в разрядном промежутке 200 В.

Особенностью разрядного тока было то, что он нарастал постепенно. Скорость нарастания не должна была превосходить 10^5 А/с, а время нарастания составляло приблизительно половину всего времени разряда. Скорость нарастания должна быть такой, чтобы имел место дозвуковой ламинарный поток продуктов, появляющихся при сублимации внутренних стенок цилиндра. Распределение разрядного тока по поперечному сечению цилиндра должно быть аксиально-симметричным во все время разряда. Внутренняя поверхность цилиндра должна быть отполирована и изготовлена из материала с малой эффективной энтальпией. Электрическая мощность, вводимая в единицу объема цилиндра, не должна превосходить 5 МВт/см³, а скорость потока продуктов должна быть в интервале $20\text{--}50$ г см⁻²с⁻¹. Если электрическая мощность превышает 5 МВт/см³ или скорость потока продуктов больше 50 г см⁻²с⁻¹, АО не появляются, так как ламинарный поток переходит в турбулентный. При небольшой скорости продуктов (< 10 г см⁻²с⁻¹) длина АО значительно уменьшается.

Нетрудно убедиться, что эти условия благоприятны для того, чтобы описанные выше процессы формирования большого АО имели место. Весьма показательно требование, чтобы внутренние стенки цилиндра были полированными. Полировка имеет значение для процессов, в которых участвует свет.

Следует отметить, что необходимость присутствия влаги во многих других экспериментах можно объяснить необходимостью обеспечить максимальный показатель преломления в разрядном промежутке в течение длительного времени. Испарение влаги ($\Delta n = n - 1 = 0,000235$) решает эту проблему в той или иной степени. Лучшие результаты могут быть достигнуты, если, например, в разрядный промежуток ввести сернистый газ ($\Delta n = 0,00066$), серный ангидрид ($\Delta n = 0,000737$) или сероводород ($\Delta n = 0,000619$). Так как Δn этих газов

значительно больше, чем у водяного пара, то условия для формирования АО будут более благоприятными.

Сингер [Singer, 1971] отмечает, что очевидцы наиболее часто говорят о следующих запахах, остающихся после исчезновения ШМ. Это запах серы (9 случаев), озона ($n = 1,000511$, 10 случаев) или двуокиси азота ($n = 1,000515$, 2 случая). Химику Дмитриеву удалось взять 4 пробы воздуха, через который пролетела ШМ, в пробирки, приготовленные предварительно для других экспериментов. Анализ газа в пробирках показал присутствие озона ($\Delta n = 0,000515$) и двуокиси азота в количествах, которые значительно превосходили их обычную концентрацию в воздухе [Дмитриев, 1967].

Весьма поучительная история о попытках получить искусственную ШМ при разряде аккумуляторной батареи от подводной лодки представлена профессором Такком [Tuck, 2002]. Экспериментаторы в течение нескольких месяцев безуспешно пытались получить искусственную ШМ при разряде мощной аккумуляторной батареи стоимостью два миллиона долларов. В последней попытке разрядный промежуток был окружен целлофановым пакетом, наполненным метаном. Этот эксперимент оказался единственно удачным. «Вырвался язык пламени, сопровождаемый громopodobным грохотом. Позже участники эксперимента вспоминали, как поднялась крыша соседнего здания». В результате был получен световой шар диаметром около 10 см, который был зафиксирован приблизительно на 100 кадрах двух кинокамер, которые снимали это событие.

Объяснение возникновения ШМ в последнем эксперименте таково. Введение в разрядный промежуток метана ($n = 1,000441$ для метана и $n = 1,00027$ для воздуха) позволило формировать оболочку светового пузыря за счет разделения компонентов смеси, а не за счет сжатия воздуха. Легко убедиться, что введение метана в оболочку позволяет увеличить показатель преломления в ней в такой же степени, как сжатие воздуха давлением в 1,5 атмосферы. Для разделения компонентов смеси требуется гораздо меньшая интенсивность света, чем для сжатия воздуха в 1,5 раза.

Имеется другое сообщение из того же самого источника. Снова использовалась батарея от подводной лодки и своеобразный качающийся маятник. Когда маятник проходил через свою нижнюю точку, происходил скользящий контакт с металлической ванной, которая частично была наполнена водой. При этом цепь замыкалась, и через нее проходил ток в несколько десятков тысяч ампер. Из точки контакта вылетали многочисленные небольшие сферические «искры», и парили над водой в течение нескольких секунд. Видеофильм этого эксперимента доступен в интернет по адресу

<http://video.google.co.uk/videoplay?docid=7885018544864978920&q=ball%20lightning&hl=ru>

Легко видеть, что условия этих экспериментов благоприятны для возникновения световых пузырей. Действительно, скользящий контакт вызывал испарение воды в новых местах пространства. В этих местах температура еще не достигла максимума, и, следовательно, плотность газа в этих местах выше, чем в тех, через которые уже прошел большой ток и разогрел их. Возникающие АО перемещаются в места с максимальной плотностью газа. Таким образом, создаются условия для продолжительного накопления света в АО. заслуживают внимания эксперименты, связанные с получением так называемых «долгоживущих плазменных образований», возникающих при взрывах тонких металлических проволок током, получаемым при замыкании батареи электрических конденсаторов [Pirozerski, 2003]. Как можно видеть на многочисленных представленных фотографиях, схема установки аналогична установке [Egorov, 2002], однако ударная волна создается благодаря взрыву, вызванному прохождением тока величиной 40 А через тонкую металлическую проволоку диаметром 0,1 мм в течение 50 мс. Параметры конденсаторной батареи такие же, как и в установке [Egorov, 2002].

Отмечается [Pirozerski, 2003], что параметры возникающих аномальных объектов при взрывах проволок и при электрических разрядах во влажном воздухе приблизительно одинаковы. В обоих экспериментах необходимы определенные предварительные действия по созданию условий для эксперимента. Так необходимо поместить каплю воды в установку на рис.2.5 [Egorov, 2002], либо новую проволоку в установку [Pirozerski, 2003]. Заметим, что диаметр получающихся АО в экспериментах [Urutskoev, 2000a; Egorov, 2002; Pirozerski, 2003] сравним с диаметром сосуда, в котором происходит взрыв. Видеофильм экспериментов можно увидеть на сайте www.balllightning.narod.ru.

Таким образом, рассматриваемая гипотеза позволяет объяснить странное поведение ШМ в природе и представить картину ее возникновения. Она позволяет также определить функции отдельных частей установок, используемых для получения ШМ, и наметить пути увеличения времени жизни ШМ.

Можно предложить следующий простой эксперимент, позволяющий подтвердить справедливость рассматриваемой гипотезы. Надо установить две пластины 8 и 9 с разными температурами, как показано на рис. 2.7. Пластины создают градиент показателя преломления воздуха в горизонтальном направлении и возникающая ШМ должна отклониться к более холодной пластине.

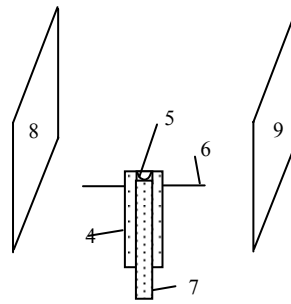


Рис. 2.7. Форма и расположение электродов при получении ШМ в лабораторных условиях. 4 – кварцевая трубка; 5 – капля воды; 6 – поверхность воды в сосуде 7 – второй электрод; 8, 9 – горячая и холодная пластины, которые предлагается установить для отклонения ШМ в сторону холодной пластины.

Исходя из рассмотренных представлений, можно начать изобретать устройства для получения мощных ШМ. Например, на рис. 2.8 показана одна из возможных установок для получения долгоживущих АО с относительно большой запасенной энергией, которые по своим параметрам приближаются к природным ШМ. Здесь к двум металлическим электродам 2 и 3 приложено напряжение от мощного источника, способного выдавать ток в сотни тысяч ампер. Электрод 2 полый. Из полости 1 под высоким давлением поступает жидкость в разрядную камеру 4. Между электродами поддерживается газовый разряд. Испарение жидкости в разрядной камере обеспечивает максимум плотности газа в области разряда, что, в свою очередь, обеспечивает длительное накопление света в возникающем световом пузыре. После окончания разряда световой пузырь покидает разрядную камеру, так как давление в разрядной камере постепенно сравнивается с наружным давлением, а температура в разрядной камере остается выше, чем в окружающем пространстве.

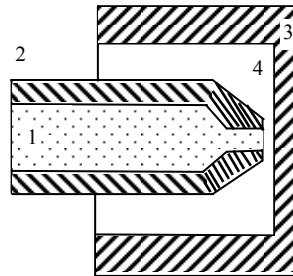


Рис. 2.8. Схема установки для получения долгоживущих автономных объектов.

Современные попытки формирования аномальных объектов

Если просмотреть источники в интернете, найденные по ключевым словам Ball Lightning – шаровая молния, то кроме многочисленных свидетельств очевидцев о наблюдении естественных ШМ, имеется достаточно большое количество сообщений о попытках получения ШМ в лабораторных условиях. Приблизительно половина таких сообщений относится к успешным экспериментам по получению АО в СВЧ печи. С этой целью в камеру СВЧ печи помещается горящая свеча. Высота свечи и ее местоположение в камере подбираются таким образом, чтобы пламя свечи находилось в пучности стоячей волны электрической напряженности СВЧ поля. После этого закрывается передняя дверь СВЧ печи и включается магнетрон. Из пламени свечи образуется светящееся облако, которое поднимается вверх. При этом свеча обычно гаснет, но в некоторых опытах продолжает гореть. Это явление связано с тем, что СВЧ электромагнитное поле нагревает и ионизирует продукты горения свечи, превращая их в плазму. Так как температура плазмы выше температуры окружающего воздуха, то плазма поднимается вверх, выходит из пучности электромагнитного СВЧ поля и тут же исчезает. Однако при некоторых положениях свечи СВЧ поле поддерживает существование плазмы длительное время. Весьма показательны в этом отношении опыты профессора Свена, видеофильм которого представлен на сайте <http://video.google.es/videoplay?docid=-6159124246803732869&q=ball+lightning&total=724&start=20&num=10&so=0&type=search&plindex=9>

Если свечу накрыть перевернутым вверх дном стаканом, так что дно находится несколько выше пламени свечи, то при включении магнетрона около дна стакана можно наблюдать светящееся образование, которое непрерывно изменяет свою форму и существует длительное время (см. видеофильм на сайте <http://video.google.co.uk/videoplay?docid=5007484233116512730>). Перевернутый вверх дном стакан препятствует движению плазмы вверх, и она остается вблизи пучности СВЧ электромагнитного поля. В этом случае свечение плазмы наблюдается все время, пока включен магнетрон. Однако при выключении магнетрона свечение сразу пропадает. Не исключено, что около дна стакана формируется АО с малым временем жизни и малым количеством запасенной энергии. О наличии АО свидетельствует тот факт, что светящееся образование имеет четко очерченные границы. Однако мощности бытовой СВЧ печи в 1 кВт явно недостаточно для получения долгоживущих АО.

Другая группа опытов связана с попытками получить АО при мощном газовом разряде. При этом используются представления о шаровой молнии, высказанные Абрахамсоном и Диннисом [Abrahamson, 2000]. Согласно этим представлениям ШМ существует благодаря окислению кремниевых нано частиц в атмосфере. Такие частицы образуются при ударе обычной линейной молнии в землю в результате реакции в толще земли окислов кремния и углерода. Хотя эти представления не могут объяснить факты движения ШМ против ветра, проникновения через оконные стекла, сопровождения ШМ самолетов, однако они способствуют некоторым успехам при попытках получить искусственные ШМ. Действительно, из этих представлений следует, что для образования ШМ требуется эрозийный газовый разряд, при котором в область ШМ должны поставляться дополнительные продукты из электродов.

Об успешных попытках получить АО в газовом разряде между угольным электродом и чистым кремнием сообщается в работе Пайвы и др. [Paiva, 2007]. Видеофильм о поведении этих объектов можно видеть на сайте <http://www.youtube.com/watch?v=fsu8IaaVsvk>. Эти опыты были повторены голландскими исследователями. Их видеофильм представлен на сайте <http://www.youtube.com/watch?v=QLTPELhKAYM&mode=related&search>. Электронная статья о результатах их экспериментов, озаглавленная «Искусственная шаровая молния, полученная в лаборатории!?» приведена на сайте <http://members.chello.nl/r.dekker49/bolbliksem/bolbliksem.html>. В этой статье имеется 2 видеофильма, при просмотре которых можно убедиться, что время жизни некоторых светящихся шариков составляет 6-8 секунд и что они отскакивают от стола более 10 раз. При этом высота отскоков варьируется, и высота последующего отскока может быть больше предыдущего. Аналогичный фильм представлен американскими исследователями на сайте <http://www.youtube.com/watch?v=T7fUKEGyxS8&NR=1> и испанскими экспериментаторами на сайте <http://www.youtube.com/watch?v=IYSie5YsaOI>.

Подобные эксперименты с другими материалами были выполнены Емелиным и его коллегами 10 лет назад в 1997 году. [Емелин, 1997]. В этой работе сообщалось о светящихся шариках, которые делали более 50 подскоков.

Повторены также опыты Егорова А.И. и Степанова С.И. по получению долгоживущих плазмоедов из стакана с водой [Егоров, 2002]. Ученые из Берлина представили видеофильм о получении подобных объектов на сайте <http://www.youtube.com/watch?v=F2CvTNWBias>. Статья в американском научно-популярном журнале New Scientist с

описанием этих экспериментов доступна по адресу <http://www.newscientist.com/article/dn9293-physicists-create-great-balls-of-fire.html>.

Все перечисленные работы были выполнены в 2006-2007 годах. Перечислено лишь несколько из многочисленных видеофильмов о попытках получить ШМ в лаборатории. Без сомнения в ближайшее время могут появиться новые видеофильмы. Для их просмотра достаточно войти на сайт www.youtube.com и набрать в окне поиска ключевые слова ball lightning.

Таким образом, в настоящее время зарубежные исследователи достигли того уровня, который демонстрировался российскими исследователями 5-10 лет тому назад. Из приведенного выше обзора следует, что зарубежным исследователям предстоит еще много исследовать из того, что уже исследовано в России. Результаты последних работ российских ученых можно посмотреть на сайтах www.balllightning.narod.ru и www.balllightning.50megs.ru. Можно часами разглядывать фотографии и видеофильмы различных АО, полученных при различных условиях. Там же содержатся ссылки на статьи, в которых обсуждаются полученные результаты.

Заключение

Анализ многочисленных экспериментальных данных, полученных в результате двухвековых исследований свойств аномальных объектов, возникающих при попытках получить искусственную ШМ, показывает, что все аномальные свойства этих объектов можно объяснить в предположении, что эти объекты являются световыми пузырями. Таким образом, физическая природа АО и ШМ одинакова, и АО действительно могут рассматриваться как искусственные ШМ с малым временем жизни и относительно малой запасенной энергией. Природные шаровые молнии могут рассматриваться как частный случай более широкого класса явлений с участием световых пузырей. Поэтому приобретает исключительную важность теоретическое обоснование в рамках общепринятых законов физики возможности существования таких пузырей и исследование их свойств.

Глава 3. Физика шаровой молнии

Всем мудрецам не счесть явлений
Вне круга наших представлений.

В. Шекспир «Гамлет»
(перевод авторов)

После того как появилась уверенность, что световые пузыри – это объективная реальность, необходимо было объяснить их существование теоретически, на основе общепринятых физических представлений без привлечения дополнительных допущений. Вообще говоря, это задача физиков-теоретиков. Однако не было уверенности, что можно дожидаться таковых в ближайшем обозримом будущем, и основы теории пришлось разрабатывать самостоятельно. При этом оказались весьма кстати знания по физике, полученные в МФТИ около 50 лет тому назад. Оказалось, что необходимы знания из самых различных областей физики, начиная с оптики, в том числе нелинейной, электродинамики, термодинамики, теории газов, электрических и магнитных явлений, ядерной физики, квантовой механики и теории колебаний.

На первый взгляд, многие проблемы, возникающие при попытке объяснить существование световых пузырей, кажутся неразрешимыми. Только уверенность в том, что световые пузыри существуют, позволила, в конечном счете, получить полное представление о физических процессах в световом пузыре. Оправдал себя подход, в соответствии с которым, если существующие представления не могут объяснить некоторые процессы в световых пузырях, то эти представления следует углублять и развивать. В первую очередь это относится к объяснению возможности для обычного белого света циркулировать в небольшом объеме обычной земной атмосферы без привлечения каких-либо дополнительных средств в виде зеркал, стекол и т. п. Как только эта проблема была разрешена путем привлечения к рассмотрению оптических нелинейных эффектов, возникла сразу другая проблема в связи с аномально большим временем жизни света в световом пузыре, решение которой могло быть найдено только при уверенности, что оно существует. Следующей проблемой было найти объяснение тому факту, что при чрезвычайно большой интенсивности света в световом пузыре не происходит оптический пробой. Все эти проблемы были постепенно без помощи скептиков успешно решены при более тщательном и целенаправленном изучении соответствующих явлений.

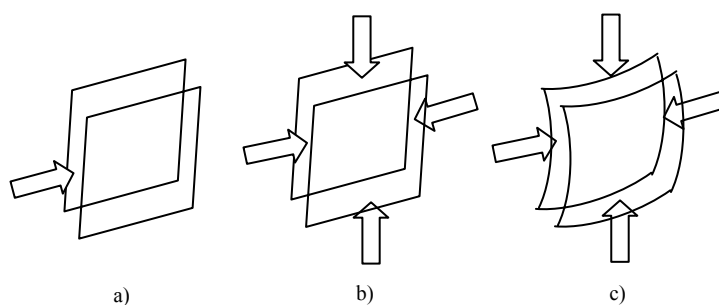


Рис. 3.1. Этапы преобразования фрагмента плоского оптического пространственного солитона в сферический.

Среди известных оптических объектов наиболее близкими к световым пузырям являются оптические некогерентные пространственные солитоны [Aitchinson, 1992]. Такой солитон представляет собой плоский луч некогерентного света, распространяющегося в нелинейной среде, показатель преломления которой линейно увеличивается с увеличением интенсивности света. Подобно рассматривавшимся ранее когерентным солитонам [Хаус, 1988], некогерентный солитон представляет собой устойчивое образование в том смысле, что при небольших изменениях ширины w солитона она возвращается к первоначальной величине по мере распространения луча. Эта ширина определяется интенсивностью света в солитоне. Интерес к некогерентным оптическим пространственным солитонам возник относительно недавно [Segev, 1998], особенно после того, как были получены первые экспериментальные подтверждения их существования [Mitchel, 1996].

Световой пузырь можно рассматривать как обобщение плоского некогерентного оптического пространственного солитона, распространяющегося в оптической нелинейной среде, каковой является обычный атмосферный воздух. Световой пузырь можно получить путем преобразования такого солитона в 2 этапа.

На рис. 3.1а показан фрагмент известного плоского некогерентного солитона. На первом этапе плоский луч интенсивности I , распространяющийся в одном направлении (рис. 3.1а), можно заменить множеством плоских лучей, распространяющихся по всевозможным направлениям и имеющих ту же самую суммарную интенсивность I (рис. 3.1б). Такая замена правомерна, так как при этом суммарная интенсивность света остается неизменной, поскольку интенсивность суперпозиции некогерентных лучей равна суммарной интенсивно-

сти этих лучей. В этом случае воздействие света на нелинейную оптическую среду на рис. 3.1a такое же, как и на рис. 3.1b

На втором этапе кривизна некогерентного пространственного солитона на рис. 3.1b и увеличивается в двух взаимно перпендикулярных направлениях от нуля до некоторой конечной величины R^{-1} (рис. 3.1c). При этом получается сферический пространственный солитон. В отличие от бесконечного плоского пространственного солитона на рис. 3.1b сферический солитон занимает конечную область пространства, и его диаметр равен $2R$. Возможность существования сферических пространственных солитонов или, по нашей терминологии, световых пузырей ранее никем не допускалась и не исследовалась. Если допустить, что шаровые молнии являются экспериментальным подтверждением существования таких солитонов, то появляется уверенность в положительном результате таких исследований.

Так как большинство читателей не знакомо с теорией пространственных солитонов, то для объяснения физических процессов в световых пузырях будем использовать общеизвестные физические понятия и представления, а не обобщать теорию плоских солитонов на солитоны с отличной от нуля кривизной.

Самоограничение светового излучения

При первом знакомстве с концепцией световых пузырей сразу возникают сомнения – можно ли заставить обычный свет, который, как известно, распространяется прямолинейно, циркулировать без применения каких-либо дополнительных средств в сферическом слое воздуха диаметром всего лишь в несколько сантиметров?

У многих вызывает сомнение, что воздух может рассматриваться в качестве нелинейной оптической среды, показатель преломления которой при распространении в ней интенсивного света может быть увеличен до такой степени, что появляется световод, не только предотвращающий дифракционную расходимость света, но и обеспечивающий распространение света по изогнутой траектории.

Эта проблема имеет свою предысторию. Первоначально мы решали обыкновенную прикладную задачу, которая не имеет никакого отношения к проблеме ШМ. Мы изучали свойства оптических стеклянных резонаторов для волн типа шепчущей галереи. Обычно в качестве резонатора использовался стеклянный шарик диаметром в несколько десятков микрометров. Световая волна типа шепчущей галереи может быть представлена как волна, которая циркулирует внутри шарика вдоль его экватора непосредственно вблизи поверхности шарика. Эта волна не может вырваться из шарика из-за явления полного внутреннего отражения на границе между стеклянной поверхностью

шарика и окружающим пространством. Добротность Q такого резонатора зависит от качества поверхности шарика. В первые минуты после изготовления $Q > 10^{10}$. Однако Q уменьшается во времени приблизительно на 2 порядка из-за деградации поверхности шарика, вызванной наличием влаги в окружающем воздухе. Решение этой проблемы хорошо известно. Подобно тому как световолокно защищают стеклянной оболочкой, показатель преломления которой меньше показателя преломления световолокна, шарик также следует поместить в стеклянную оболочку. Показатель преломления этой оболочки также должен быть меньше показателя преломления стекла шарика. Однако в этом случае потери света, связанные с излучением света из шарика в свободное пространство, могут быть значительны, если разность Δn между показателями преломления шарика и оболочки невелика.

Изучая зависимость необходимой разности Δn от диаметра шарика, к своему удивлению мы получили, что однопроцентной разности $\Delta n/n$ достаточно для шариков диаметром в несколько сантиметров. [Torchigin, 2003b; 2005c]. Это заключение было ценно для нас, так как доступная нам технология производства неоднородного стекла позволяла изменять показатель преломления не более, чем на 1%. В то время никаких мыслей о ШМ не было.

Гораздо позже, вспомнив о том, что нелинейные оптические эффекты увеличивают показатель преломления в той области, по которой распространяется интенсивный свет, мы заинтересовались — нельзя ли получить нашу неоднородную оптическую среду из полностью однородной оптической среды, запустив в нее интенсивный свет и заставив его циркулировать по сферической поверхности во всевозможных направлениях. В принципе, не было особых причин отвергать такую возможность. Более того, такая возможность уже была хорошо исследована для плоских световых волн.

Было известно, что плоская волна, распространяясь в нелинейной оптической среде, увеличивает показатель преломления в тех областях, по которым она распространяется, и образует таким образом планарный световод, который предотвращает ее дифракционную расходимость. Такая система из плоской световой волны и образованного ею планарного световода представляет собой пространственный солитон. Свойства таких солитонов были уже хорошо изучены. Мы же предположили, что кривизна таких плоских пространственных солитонов может быть отлична от нуля. Эти предположения невозможно было проверить экспериментально, так как отсутствуют средства для создания необходимых начальных условий, при которых внутри однородного стекла должны появиться волны шепчущей галереи, циркулирующие внутри некоторого сферического слоя.

Позднее возникла мысль, что необходимые начальные условия могут быть созданы не в стекле, а в другой нелинейной оптической среде. Такой средой является обычная атмосфера, а начальные условия иногда создаются при разрядах обычных линейных молний. В 2002 году была выдвинута гипотеза, согласно которой шаровые молнии являются экспериментальным подтверждением наших предположений, что в однородной нелинейной оптической среде могут существовать сферические оптические солитоны [Торчигин, 2002].

Природа электрострикционного давления в газах

При распространении света в оптической среде часть его энергии переходит в оптическую среду. В оптической среде эта энергия существует в форме механической энергии, появляющейся при сжатии среды. Этот эффект хорошо известен в оптике и ответствен за другой известный оптический эффект вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна [Ландсберг, 1976].

После появления мощных рубиновых лазеров в 60-х годах прошлого столетия было замечено, что при прохождении интенсивных световых лучей через стеклянную пластину в последней остаются тонкие прямолинейные следы в виде нитей в тех местах, по которым распространялось мощное излучение. Анализ показал, что эти нити представляют собой области с нарушенной структурой стекла. Такое нарушение возникает в результате чрезвычайно сильного сжатия стекла. Это сжатие оказывается необратимым, и после снятия давления в стекле остаются остаточные деформации. На наш взгляд, термин «электрострикционное сжатие» более правильно отражает суть явления, чем общепринятый термин «электрострикционное давление». Поэтому в дальнейшем мы будем пользоваться этим термином, хотя в литературе мы его не встречали.

Анализ доступных энциклопедий, учебников, справочников и физических словарей показал, что оптический электрострикционный эффект все еще мало известен и часто понимается неправильно. Возможно, это является одной из причин, по которой ранее не рассматривалась гипотеза об оптической природе ШМ. Например, многие исследователи полагают, что электрострикционное сжатие появляется только в районе, где имеет место неоднородность в интенсивности света [Biruykov, 2001], и, следовательно, электрострикционное сжатие отсутствует в районах, по которым распространяется свет одинаковой интенсивности.

Давление при сжатии может достигать сотен тысяч атмосфер, а при сжатии газов их показатель преломления увеличивается пропорционально степени сжатия σ . Поэтому есть все основания полагать, что воздух в сферической пленке может быть сжат до такой степени,

что он будет надежно ограничивать циркулирующий в пленке свет. Показатель преломления воздуха при нормальных условиях $n_0 = 1 + 2,7 \cdot 10^{-4}$. При сжатии воздуха в σ раз показатель воздуха становится равным $n = 1 + 2,7 \cdot 10^{-4}\sigma$. Например, при $\sigma = 100$ показатель преломления воздуха в сферической пленке на 2,7% больше показателя преломления окружающего пространства. Этого более чем достаточно для надежного ограничения циркулирующего в пленке света.

Стабильность шаровой молнии

После того как выяснилось, что тонкий слой сильно сжатого воздуха может использоваться как световод, надежно ограничивающий циркуляцию света, возникла новая задача – объяснить устойчивость такого слоя. Одно дело, когда свет циркулирует в некоторой предварительно изготовленной пленке. В этом случае имеет место фиксированная линейная система, в которой циркулирующий свет не изменяет ее параметры. Совершенно другое дело, когда свет циркулирует в пленке, созданной самим же светом, и мы имеем дело с нелинейными эффектами, связанными с самовоздействием света.

На первый взгляд, совершенно невозможно объяснить стабильность светового пузыря. Действительно, циркулирующий свет стремится расширяться, сжатый газ также стремится расширяться, и непонятно, каковы механизмы, препятствующие этим тенденциям. Оказывается, что явление «электрострикционного давления» ответственно за возникновение одного из таких механизмов. Для более образного представления процессов в пленке светового пузыря введем термин «электрострикционное сжатие» вместо общепринятого термина «электрострикционное давление». При этом имеется в виду, что интенсивный свет стремится приблизить молекулы газа друг к другу, то есть сжать газ. Иными словами, газ, в котором распространяется интенсивный свет, начинает напоминать растянутую резиновую пленку, в которой молекулы также стремятся приблизиться друг к другу. Таким образом, имеется, по крайней мере, одно явление, которое может воспрепятствовать бесконтрольному расширению света и воздуха. Можно надеяться, что подобно тому, как растянутая резиновая оболочка воздушного шарика препятствует расширению заключенного в нее сжатого воздуха, так стремящиеся приблизиться друг к другу молекулы воздуха в сферической пленке будут препятствовать расширению воздуха и света.

С другой стороны, известно, что свет обладает импульсом, который при циркуляции света в оболочке светового пузыря изменяет свое направление. При этом должны иметься силы, обеспечивающие такое изменение импульса. Так как свет циркулирует по ок-

ружности, то эти силы должны быть направлены к центру. Они могут действовать только со стороны пленки сжатого воздуха. Этими силами являются упомянутые выше силы электрострикционного сжатия, возникающие из-за стремления молекул воздуха приблизиться друг к другу. Эти силы действуют по касательной к поверхности сферической пленки. Равнодействующие этих сил образуют силы, направленные к центру сферы. Именно они обеспечивают изменение импульса циркулирующего в пленке света. В свою очередь, согласно третьему закону Ньютона со стороны света на пленку действуют центробежные силы, которые стремятся увеличить радиус пленки. Эти силы уравниваются силами электрострикционного сжатия, которые стремятся уменьшить радиус пленки.

Произведенные оценки с использованием существующих формул показывают, что такого уравнивания не происходит. Центробежные силы оказываются больше, чем силы электрострикционного сжатия. В этом случае электрострикционное сжатие не может ограничить циркулирующий в световом пузыре свет, то есть свет не может сам себя ограничить. Этот вывод соответствует интуитивному представлению, что свет стремится распространяться прямолинейно, то есть стремится расширить сферический слой. Сжатый в оболочке светового пузыря воздух также стремится расшириться, поэтому в пузыре отсутствует стационарное состояние. Этот же вывод следует из анализа общей энергии света и воздуха. Действительно, с увеличением объема энергия содержащегося в нем газа уменьшается. Энергия света при уменьшении диэлектрической постоянной среды, в которой он распространяется, также уменьшается. В этом случае отсутствует минимум общей энергии, который необходим для возникновения устойчивого стационарного состояния. Эти соображения были основным аргументом оппонентов, опровергающим существование световых пузырей.

Казалось бы, эти оценки полностью опровергают возможность существования световых пузырей. Однако они существуют. Более того, используя понятие о световых пузырях и анализируя имеющиеся экспериментальные данные, мы уже открыли несколько новых оптических явлений, в частности, новый тип оптической нелинейности. Поэтому требовалось найти ошибку в приведенном рассмотрении.

Так как ошибочное звено в цепи этих рассуждений отсутствовало, то ошибку следовало искать в самой постановке задачи. Чтобы показать, что от постановки задачи многое зависит, приведем простейший пример. Энергия плоского конденсатора емкостью $C = \epsilon S/h$, где S – площадь пластин, h – расстояние между ними, заряженного до напряжения $U = Q/C$, где Q – заряд на конденсаторе, определяется либо

выражением $E=Q^2/2C$, либо выражением $E=CU^2/2$. Так как $U=Q/C$, то первое выражение следует из второго и наоборот. При увеличении расстояния между пластинами изолированного конденсатора на δh его емкость уменьшается на величину $-C\delta h/h$, а заряд на конденсаторе сохраняется. Тогда из первого выражения следует, что запасенная в конденсаторе энергия увеличивается на положительную величину $E\delta h/h$. Это означает, что внешние силы совершают положительную механическую работу против сил электростатического притяжения между пластинами. Этот вывод соответствует широко известному положению, что противоположные заряды притягиваются друг к другу.

Подсоединим теперь пластины к источнику постоянного напряжения U , напряжение которого равно напряжению между пластинами. При этом заряд Q на конденсаторе останется прежним. При увеличении расстояния между пластинами напряжение на конденсаторе остается неизменным, так как он подсоединен к источнику постоянного напряжения. Однако в этом случае в соответствии с вторым выражением энергия конденсатора изменяется на ту же величину $E\delta h/h$, но с противоположным знаком. Это означает, что пластины отталкиваются друг от друга. Таким образом, изменив условия эксперимента, мы получили противоположный результат. Далеко не каждый оппонент может указать на ошибку в приведенных рассуждениях. Однако почти у всех этот результат вызывает чувство протеста.

Оказывается, что во втором случае необходимо рассматривать изменение энергии в системе, состоящей из конденсатора и источника постоянного напряжения. При увеличении расстояния между пластинами на δh заряд на конденсаторе уменьшается на величину $Q\delta h/h$, так как уменьшается емкость конденсатора при постоянном напряжении. Часть заряда стекает в источник постоянного напряжения. При этом энергия источника увеличивается на $QU\delta h/h = E\delta h/h$. Таким образом, в рассматриваемом случае при увеличении расстояния между пластинами на δh энергия конденсатора уменьшается на $E\delta h/h$, а энергия источника напряжения увеличивается на ту же величину. В результате энергия системы остается без изменения. Из этого следует, что работа внешних сил по раздвиганию пластин равна нулю, и, следовательно, действующая между пластинами сила равна нулю. Этот вывод также не может удовлетворить большинство оппонентов, однако указать на ошибочное звено в рассуждениях могут немногие.

Мы так подробно остановились на элементарных примерах, рассматриваемых в задачниках для поступающих в ВУЗы, чтобы показать, что, казалось бы, очевидный довод, состоящий из короткой цепочки не поддающихся сомнениям умозаключений, может оказаться ошибочным. Для рассматриваемого случая известен правильный от-

вет, основанный на многовековых опытах с электричеством. Пластины, имеющие разноименные заряды, должны притягиваться друг к другу. При заранее известном ответе не составляет труда отыскать правильное решение. Приведем его.

Представим, что конденсатор соединен с источником постоянного напряжения через некоторое сопротивление R . В том случае, если это сопротивление близко к бесконечности, мы имеем первый случай изолированного конденсатора. Если сопротивление близко к нулю, то имеем второй случай, при котором конденсатор соединен с источником постоянного напряжения. В промежуточном случае, когда сопротивление имеет некоторое конечное значение, при раздвигании пластин конденсатора через это сопротивление протекает ток и на нем выделяется энергия. При этом полученный выше нулевой баланс энергии, вводимой в систему внешними силами, раздвигающими пластины, становится положительным. Это означает, что пластины притягиваются друг к другу. При этом, пока течет ток, напряжение на конденсаторе отличается от напряжения постоянного источника тока. Напряжение на конденсаторе постепенно уменьшается во времени по экспоненциальному закону с постоянной времени $T=RC$. В конечном счете оно станет равным напряжению источника напряжения. Описанные выше 2 крайних случая полностью соответствуют приведенному описанию. В первом случае $T=\infty$ и после раздвигания пластин напряжение на конденсаторе увеличивается и остается неизменным. Во втором случае T близко к нулю. После раздвигания пластин напряжение на конденсаторе увеличивается, но затем оно начинает экспоненциально уменьшаться и стремиться к напряжению источника питания. При этом притяжение между пластинами постепенно уменьшается пропорционально заряду (или напряжению) на конденсаторе. Никаких чудес при этом не происходит.

Отдельного теоретического рассмотрения заслуживает гипотетический предельный случай, когда $R=0$. На таком сопротивлении не может выделяться энергия, и, следовательно, работа внешних сил снова равна нулю. Оказывается, что этот вывод далек от действительности. Рассмотрим сначала известный классический парадокс, которому имеется объяснение. Подсоединим к конденсатору емкости C с зарядом Q точно такой же конденсатор с нулевым зарядом. В результате получим конденсатор емкости $2C$ с зарядом Q . Энергия до подсоединения равна $\frac{1}{2}Q^2/C$, а после подсоединения равна $\frac{1}{2}Q^2/2C$, то есть уменьшилась в 2 раза. Спрашивается, куда исчезла энергия? Ответ на этот вопрос прост. Рассматривается система без потерь. Такая система не достигает стационарного состояния. Применительно к рассматриваемому случаю при подсоединении второго конденсатора в системе возникнут незатухающие колебания с частотой $\omega=(LC)^{1/2}$,

где L – индуктивность соединительных проводов. При таких колебаниях заряд из первого конденсатора полностью перетекает во второй, а затем обратно – из второго в первый. В некоторый момент времени заряды на конденсаторах будут одинаковы и равны $Q/2$. При этом общая энергия конденсаторов будет в 2 раза меньше их общей энергии в тот момент времени, когда заряд полностью сосредоточен в одном конденсаторе. Спрашивается – куда исчезает энергия в момент, когда напряжение на конденсаторах одинаково? Ответ прост. В этом момент максимален ток через индуктивность, и энергия сосредоточена в магнитном поле.

Эти простейшие примеры приведены для того, чтобы показать, что все не так просто. Анализ процессов в системе без потерь при медленном изменении емкости конденсатора приведен в [Torchigin, 2005a]. Показано, что энергия изолированной системы при медленном изменении емкости конденсатора пропорциональна $C^{1/2}$. Так как емкость конденсатора пропорциональна диэлектрической постоянной ϵ среды между его пластинами, то из этого результата следует, что энергия диэлектрика в переменном электрическом поле пропорциональна $\epsilon^{-1/2}$. Так как показатель преломления оптической среды $n = \epsilon^{1/2}$, то энергия света в изолированной оптической среде обратно пропорциональна ее показателю преломления.

Возникает законный вопрос – для какой системы справедливы приведенные выше рассуждения о нестабильности светового пузыря. Оказалось, что они справедливы для случая, когда изменение энергии света при увеличении радиуса сферы не принимается во внимание. Рассматривалась неизолированная система, в которой предполагалось наличие внешнего постоянного источника света. Это не соответствует ситуации в световом пузыре. Следует рассматривать ситуацию, при которой световой пузырь является изолированной системой, состоящей из сжатого воздуха и циркулирующего в нем света.

Энергия такой системы состоит из энергии света и энергии среды. При этом последняя появилась при распространении в среде света, то есть часть энергии света перешла в оптическую среду. Как уже упоминалось, при распространении света происходит сжатие среды, и, следовательно, изменяется ее показатель преломления. Таким образом, энергия среды существует в виде механической энергии, возникающей при сжатии среды. При переходе части энергии света в энергию оптической среды количество фотонов в свете остается неизменным, так как отсутствуют механизмы, ответственные за поглощение фотонов. Тогда при уменьшении энергии света должна уменьшаться его частота, так как энергия каждого фотона пропорциональна его частоте. При этом длина волны света оказы-

вается адиабатическим инвариантом, который остается неизменным при медленном изменении параметров системы.

Это легко может быть объяснено, так как любое сколь угодно малое изменение длины волны λ плоской волны, вызванное изменением показателя преломления во времени, приводит к значительному изменению фазы волны во всем пространстве. Это невозможно физически, так как малые изменения показателя преломления во времени приводят к совершенно новому распределению поля световой волны в пространстве [Торчигин, 1996].

Так как длина волны при изменении показателя преломления остается постоянной, то неизменно произведение ωn , которое обратно пропорционально длине волны. При неизменном количестве фотонов частота ω пропорциональна полной энергии света E . Тогда произведение En также является адиабатическим инвариантом.

Был проведен эксперимент с целью зафиксировать изменение частоты световой волны при изменении показателя преломления n стекла, в котором она распространяется [Торчигин, 2003f]. Эксперимент полностью подтвердил полученные выводы. При этом оказалось, что главным фактором, который ограничивает максимальный сдвиг частоты, является время жизни световой волны, которое составляло в эксперименте несколько десятков наносекунд. Время жизни света в ШМ на 7–8 порядков больше.

Физический эффект, при котором увеличивается энергия света при уменьшении во времени показателя преломления среды, в которой свет распространяется, был положен в основу патента США [Торчигин, 2004e]. В этом патенте объемом около 100 страниц описываются всевозможные акустооптические приборы, в которых происходит преобразование длины волны света и усиление света по мощности за счет энергии акустических волн. В частности, предлагаются параметрические генераторы света, в которых в качестве накачки используется акустическая волна, обеспечивающая модуляцию показателя преломления оптической среды. В этом случае механическая энергия упругих колебаний среды непосредственно превращается в энергию световых волн. Практическая реализация этих предложений сдерживается малой жизнью света в современных оптических средах. Возможно, использование для этих целей ШМ, где время жизни света неизмеримо больше, откроет возможности практического применения предложенных преобразователей света.

Другим весьма интересным применением рассмотренного эффекта было исследование распространения светового импульса в световолокне. Так как при распространении света происходит сжатие стекла, то часть энергии импульса передается в стекло. При восстановлении стеклом своей формы энергия упругого сжатия не поступа-

ет обратно в световой импульс, так как импульс уже покинул место сжатия. В идеальном стекле без потерь количество фотонов в импульсе остается неизменным. Так как энергия импульса при его распространении постепенно уменьшается, то такое уменьшение происходит за счет уменьшения частоты фотонов. В результате световой импульс подвержен красному смещению [Torchigin, 2003g]. Этот результат был обобщен на распространение света во Вселенной от далеких звезд и галактик. Как легко убедиться по справочникам, плотность межзвездного вещества на столько же порядков меньше плотности стекла, на сколько порядков время распространения света от звезд больше времени распространения света в световолокне. Поэтому красное смещение может быть вызвано не только эффектом Доплера, возникающим при удалении звезд и галактик от Земли, а указанным эффектом. При этом весьма просто и естественно объясняется тот факт, что чем дальше расположена галактика, тем с большей скоростью она удаляется от Земли. Действительно, чем дальше галактика, тем больший путь проходит свет от галактики до Земли и тем больше красное смещение, вызванное постепенным уменьшением энергии фотонов.

Энергия оптической среды (прозрачного диэлектрика) в изолированной системе в поле световой волны (в переменном электрическом поле) обратно пропорциональна n , то есть $\varepsilon^{1/2}$. Отсюда следует, что энергия света увеличивается при уменьшении n . Энергия сжатого газа уменьшается при уменьшении его плотности и, следовательно, его показателя преломления n . Таким образом энергия светового пузыря состоит из двух слагаемых, одно из которых увеличивается, а другое – уменьшается. При этом появляется надежда получить минимум суммарной энергии при некотором n и, следовательно, стабильное стационарное состояние. Столь подробное рассмотрение примеров с энергией конденсатора приведено специально для того, чтобы лучше был понят принятый подход к анализу стабильности световых пузырей. Этот вопрос имеет принципиальный характер, так как помогает читателям преодолеть интуитивное предубеждение в нестабильности световых пузырей.

Анализируя условие термодинамического равновесия между сжатым в оболочке газом и циркулирующим светом, можно определить условия, при которых имеет место минимум суммарной энергии. Это было проделано в [Torchigin, 2005a]. В ситуации, когда общая энергия светового пузыря минимальна, он не может ни расшириться, ни сжаться. Используя известное выражение, можно сказать, что световой пузырь находится в потенциальной яме. Для расширения света требуется энергии больше, чем может ему предоставить сжатый газ. Следует подчеркнуть, что условия стабильного светового пузыря бы-

ли выведены из чисто энергетических соображений без каких-либо допущений относительно внутренних сил в световом пузыре. Как известно, энергетические соображения дают наиболее надежный результат. Например энергетические соображения позволяют сразу отвергнуть вечный двигатель, не вдаваясь в особенности его строения.

Было показано, что состояние равновесия достигается при условии, когда электрострикционное сжатие, вызванное циркулирующим светом, равно давлению сжатого воздуха в оболочке светового пузыря. При этом выражение для электрострикционного сжатия в изолированной системе оказалось отличным от общепринятого, выведенного для неизолированной системы с внешним источником света. В состоянии равновесия энергия сжатого газа приблизительно в $n-1$ раз меньше энергии циркулирующего света. Таким образом, с увеличением запасенной в ШМ энергии увеличивается доля энергии, запасенной в сжатом газе. Только в долгоживущих ШМ, где степень сжатия газа близка к предельной, энергия сжатого газа может достигать 5% от энергии циркулирующего света.

Мы далеки от мысли, что проведенное рассмотрение на основе энергетических соображений является доказательством стабильности светового пузыря. Более полувека физики изучают проявления неустойчивости плазмы в установках типа ТОКАМАК и открывают все новые механизмы, приводящие к ее неустойчивости. Основное доказательство стабильности световых пузырей – это их существование в природе. Знание ответа в задаче о силах притяжения пластин конденсатора позволило избежать поспешных выводов относительно сил, действующих между пластинами. Аналогичным образом, знание о существовании световых пузырей в природе позволило опровергнуть неопровержимые, на первый взгляд, доводы о том, что существование таких пузырей в принципе невозможно. Для этого не потребовалось ни изобретать новых теорий, ни новых методов исследований. Достаточно было просто более внимательно рассмотреть вопросы, изучаемые при подготовке к поступлению в ВУЗ. Такой анализ мог быть выполнен много лет тому назад.

Одна из основных проблем, которая до сих пор не могла быть разрешима в рамках представлений о ШМ, как о некотором га-

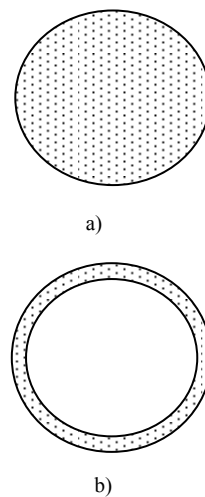


Рис. 3.2. Распределение давления внутри сферической оболочки: а) оболочка футбольного мяча; б) оболочка светового пузыря

зообразном образовании, это объяснение существования ШМ как единого целого, которое восстанавливает свою сферическую форму после различных деформаций. Имея в виду, что ШМ представляет собой устойчивый световой пузырь, это свойство ШМ может быть легко объяснено. Действительно, как известно, бесформенная замкнутая однородная оболочка, имеющая поверхность площадью S , будучи накачана газом, приобретает форму тела, объем которого максимален. Это шар. Примером может служить оболочка футбольного мяча.

Ситуация с оболочкой светового пузыря несколько сложнее. В отличие от оболочки футбольного мяча, где избыточное давление воздуха имеет место во всем объеме, ограниченном оболочкой (рис. 3.2a), давление воздуха в оболочке ШМ имеет место только в тонком замкнутом сферическом слое толщиной h (рис. 3.2b). Такой слой может быть сформирован в объекте, образованном двумя бесформенными оболочками, которые связаны между собой множеством нитей одинаковой длины h , как показано на рис. 3.3. Будучи накачан, такой объект приобретает форму шара, но твердость такого шара существенно меньше, чем твердость футбольного мяча. Как показано в [Торчигин, 2007] твердость оболочки на рисунке 3.2b в $(h/R)^2$ раз меньше, чем твердость шара на рисунке 3.2a. Например, если $h=10$ μm и $R=10$ см, то $(h/R)^2 = 10^{-8}$. Вот почему световой пузырь легко деформируется под действием внешних слабых сил, возникающих при его проникновении через малые отверстия.

Если ШМ расположена в области с неоднородным показателем преломления, но эта неоднородность характеризуется во всей области одинаковым градиентом показателя преломления, то ШМ движется вдоль этого градиента без деформации. Если градиент показателя преломления в рассматриваемой области неодинаков, то различные участки поверхности ШМ испытывают действие различных сил и движение ШМ сопровождается ее деформацией.

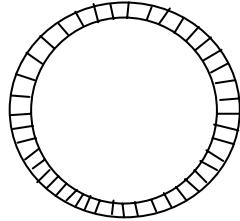


Рис. 3.3. Пример оболочки, напоминающей оболочку светового пузыря.

Поскольку интенсивность света и плотность световой энергии в оболочке светового пузыря неизменны во времени, также, как и энергия света, то объем оболочки постоянен во времени. Толщина оболочки определяется интенсивностью циркулирующего в ней света и также не изменяется во времени. В этом случае площадь оболочки неизменна во времени и не зависит от ее формы. Этого нельзя сказать об объ-

еме, который ограничивается оболочкой. Так как давление воздуха в этом объеме такое же, как и вне оболочки, деформация оболочки не оказывает влияния на давление в этом объеме.

Время жизни

На первый взгляд, трудно себе представить, что время жизни света в воздухе может составлять несколько секунд. Действительно, при нормальных условиях слой воздуха толщиной 1 см рассеивает $2,7 \cdot 10^{-7}$ часть энергии белого света, проходящего через этот слой. [Ландсберг, 1976]. В этом случае интенсивность света уменьшается в $e^{2,7} \approx 15$ раз при прохождении светом 100 км. Свет преодолевает 100 км за 0,3 мс. Это время должно быть сравнимо с временем жизни ШМ. На самом деле время жизни ШМ на 4 порядка выше. Однако сходство в поведении световых пузырей и ШМ настолько поразительно, что появилась настоятельная необходимость найти механизм, ответственный за увеличение времени жизни света внутри ШМ. Такой механизм был найден. Более того, было найдено два механизма.

Зависимость времени жизни света в сжатом воздухе от степени сжатия была рассмотрена в [Torchigin, 2005c] в предположении, что состояние воздуха описывается уравнением Ван дер Вальса. Эта зависимость показана на рис. 3.4. Как видно из рисунка, время жизни света сначала уменьшается и достигает минимума при степени сжатия около 18 дБ (80 раз). При степени сжатия около 22,5 дБ (180 раз) время жизни света восстанавливает свое значение. При дальнейшем сжатии происходит значительное увеличение времени жизни света. Разумеется, уравнение Ван-дер-Ваальса не совсем точно при таких высоких давлениях. Это не столь важно, так как мы ставим задачу выявить только механизмы, приводящие к значительному увеличению времени жизни света в слое сильно сжатого воздуха.

Как видно из рис. 3.5, плот-

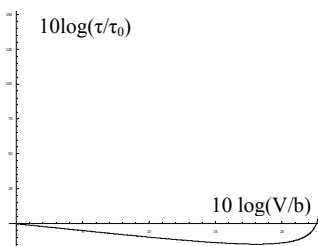


Рис. 3.4. Зависимость времени жизни света в газе от степени его сжатия.

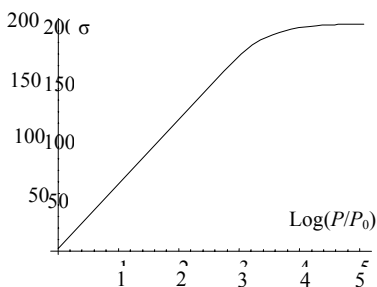


Рис. 3.5. Зависимость степени сжатия σ воздуха от давления P .

ность воздуха, которая пропорциональна степени его сжатия $\sigma(P)$, увеличивается очень медленно при увеличении давления воздуха при $P \gg 10^3 P_0$, где P_0 – нормальное атмосферное давление. В результате рассеяние света достигает первоначальной величины при плотности световой энергии с оболочке светового пузыря $W_L = W_0 \approx 10^{10}$ Дж/м³. Рассеяние света при $W_L > W_0$ может быть на несколько порядков меньше, чем при $W_L = 0$. Эти соображения были использованы в [Торчигин, 2003а] для определения величины электрострикционного давления внутри слоя сжатого воздуха в ШМ. Оказалось, что увеличение времени жизни света на 4 порядка имеет место при давлении воздуха в оболочке светового пузыря $P_L \approx 30$ ГПа.

Этот результат справедлив, если рассматриваемый эффект является единственным эффектом, ответственным за увеличение времени жизни света. Позднее был выявлен другой механизм, приводящий к значительному увеличению времени жизни света в слое сжатого газа. Оказалось, что молекулярное рассеяние света внутри тонкой пленки, которая, по-существу, является планарным световодом, принципиально отличается от рассеяния света в 3-мерном пространстве, для которого справедлива исходная формула для рассеяния света в пространстве. В том случае, если рассеянный некоторой неоднородностью свет в планарном световоде остается при этом в нем, то такой свет нельзя считать рассеянным. Он продолжает распространяться в световоде, только в другом направлении. Разумеется, такой свет продолжает создавать электрострикционное давление.

Как известно, планарные световоды являются основой современной интегральной оптики, в которой, в отличие от обычной объемной оптики, где свет распространяется в 3-мерном пространстве, свет распространяется в тонкой пленке, и измерение, перпендикулярное поверхности пленки, не используется. В интегральной оптике находят успешное применение множество приборов, в которых используются «неоднородности» в виде различных интегрально-оптических устройств. Использование на практике таких «неоднородностей», как канальные световоды, резонаторы, ответвители, линзы, решетки и т. п., свидетельствует о том, что рассеиваемый «неоднородностями» свет практически полностью остается в планарном световоде.

Второй эффект является доминирующим в увеличении времени жизни света в аномальных объектах, в которых время жизни света составляет доли секунды, а плотность световой энергии недостаточна для сжатия газа до такой степени, при которой начинает увеличиваться время жизни света в газе. Время жизни света в аномальных объектах на 2–3 порядка больше, чем время жизни обычного света в земной атмосфере. Из этого можно сделать вывод, что второй эффект

приводит к увеличению на 2–3 порядка времени жизни света в тонком слое сжатого газа. Заметим, что действие второго эффекта в обычных планарных световодах, применяемых в интегральной оптике, не зависит от интенсивности света. Наоборот, в тонких пленках из сжатого газа в световых пузырях увеличение интенсивности циркулирующего света приводит к увеличению давления газа и, следовательно, к увеличению показателя преломления сжатого газа. Это способствует тому, что свойства таких световодов удерживать распространяющийся в них свет улучшаются при увеличении его интенсивности.

Электрострикционное давление в аномальных объектах может быть незначительным, а необходимое увеличение показателя преломления внутри пленки может иметь место благодаря разделению компонентов газовой смеси таким образом, что молекулы компонента с максимальным показателем преломления n втягиваются в оболочку аномального объекта и таким образом увеличивают n внутри нее [Torchigin, 2004d]. Кроме того, необходимое увеличение показателя преломления внутри оболочки аномального объекта может быть получено в низкотемпературной плазме. Показано, что интенсивный свет вытесняет электроны из оболочки, в которой он циркулирует, увеличивая тем самым разность между показателем преломления оболочки и показателем преломления окружающего ее пространства [Torchigin, 2005a].

С учетом второго эффекта приведенные ранее результаты для давления сжатого в оболочке ШМ воздуха, при котором время жизни света возрастает на 4 порядка, следует изменить. Действие второго эффекта приводит к тому, что оказывается достаточным увеличение времени жизни света на 1–2 порядка благодаря первому эффекту. Совместное действие обоих эффектов приведет к результирующему увеличению времени жизни света на 4 порядка. Увеличение времени жизни света на 1–2 порядка благодаря первому эффекту имеет место при давлении воздуха 0,3–3 ГПа.

Некоторыми физиками высказывалось опасение, что чрезвычайно высокая интенсивность света в оболочке светового пузыря может вызвать оптический пробой. Однако более тщательное изучение этой проблемы показывает, что оптический пробой может возникнуть только при определенных параметрах сжатого воздуха [Райзер, 1980]. При этом оптический пробой вообще невозможен при давлениях более 30 атмосфер. В световом пузыре давление воздуха значительно больше, так что указанные опасения не имеют оснований.

Эффект увеличения показателя преломления газовой смеси благодаря разделению ее компонентов

Используя тот же подход, что и при анализе устойчивости световых пузырей, было рассмотрено условие термодинамического равновесия газовой смеси, в которой распространяется интенсивный свет [Torchigin, 2004d]. Для простоты рассматривалась смесь, состоящая только из двух компонентов. Для разделения компонентов смеси в интенсивном световом луче требуется энергия, пропорциональная увеличению энтропии ΔS газовой смеси при разделении компонентов [Нащокин, 1969]. При адиабатическом процессе, когда никакой теплоты не поступает в систему, $\Delta S = 0$. Именно такой процесс имеет место в рассматриваемой ситуации. Это означает, что изменение энергии газовой смеси при разделении ее компонентов близко к нулю. В этом случае свет небольшой интенсивности может вызвать полное разделение газовой смеси. С другой стороны, при полном разделении, когда только молекулы с наибольшим показателем преломления оказываются в районах, по которым распространяется интенсивный свет, увеличение показателя преломления равно разности показателей преломления рассматриваемых компонент. Это означает, что при относительно небольшой интенсивности света I_M можно получить такое изменение Δn , которое сравнимо с изменением, вызываемым электрострикционным сжатием P_C , равным давлению воздуха при нормальных условиях P_0 . Электрострикционное сжатие $P_C = P_0$ достигается при плотности энергии света $W_L = 10^5$ Дж/м³. Это соответствует интенсивности света $I_L = W_L c = 3 \cdot 10^9$ Вт/см².

Интенсивность света I_M , которая требуется для разделения газовой смеси и увеличения показателя преломления, зависит от степени «адиабатичности» процесса разделения. Как следует из экспериментов, интенсивность света при газовом разряде оказывается достаточной для разделения появляющихся при разряде газов. В этом случае I_M меньше I_L на несколько порядков, и, следовательно, степень нелинейности газовой смеси возрастает в такой же степени.

Эффект увеличения показателя преломления в плазме

Как известно, диэлектрическая постоянная в плазме зависит от концентрации электронов n_e [Райзер, 1980]. Следует различать плазму во время газового разряда и после его завершения. В первом случае имеет место стационарный процесс, при котором рекомбинация плазмы компенсируется ионизацией атомов воздуха из-за протекания тока при газовом разряде. Во втором случае концентрация плазмы постепенно уменьшается. Показано, что время жизни плазмы после

прекращения газового разряда составляет лишь несколько микросекунд [Капица, 1955]. Вот почему все теории, в которых плазма используется для объяснения свойств ШМ, озабочены поиском объяснения большого времени жизни ШМ.

Для световых пузырей для такого беспокойства нет оснований, так как ШМ вообще может не содержать плазму после возникновения. Определенно, ШМ не содержит никакой плазмы после проникновения в помещение через оконное стекло, так как плазма не может просачиваться через стекло. Напротив, нет никаких сомнений, что плазма существует во время возникновения ШМ и это может играть существенную роль в процессе генерации ШМ.

В предположении, что все атомы газа ионизированы и, следовательно, количество свободных электронов равно количеству атомов газа и равно $n_e = 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, при нормальных условиях и для длины волны света $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$ показатель преломления такой полностью ионизированной плазмы меньше 1 на 1,6%. Так как интенсивный свет стремится увеличить показатель преломления в пространстве, в котором он распространяется, то свободные электроны, которые уменьшают показатель преломления, выталкиваются из этого пространства. Электроны притягивают к себе положительно заряженные ионы, которые таким образом также покидают это пространство. Они замещаются в оболочке нейтральными атомами. В результате плазма выталкивается из области, по которой распространяется интенсивный свет. [Torchigin, 2005a]

Например, можно представить себе ситуацию, при которой снаружи оболочки светового пузыря имеется нейтральная плазма, показатель преломления которой n меньше на 0,8% показателя преломления воздуха при нормальных условиях. При такой ситуации разница в показателях преломления оболочки и окружающей среды в 50 раз больше,

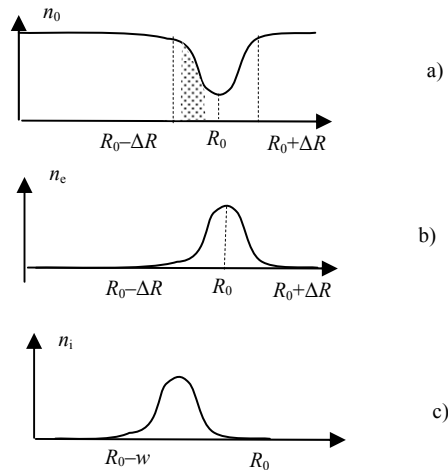


Рис. 3.6. Зависимость параметров плазмы от расстояния до центра: а) показатель преломления; б) концентрация электронов; в) концентрация ионов.

чем можно получить за счет разделения компонентов газовой смеси.

Зависимости показателя преломления n , а также концентрации электронов n_e и ионов n_i от расстояния r от центра оболочки показаны на рис. 3.6. Сферический слой, в котором распространяется интенсивный свет, заштрихован.

Энергия, требуемая для выталкивания плазмы из оболочки светового пузыря, минимальна, так как плазма остается нейтральной. Такая ситуация напоминает разделение молекул газовой смеси, при которой молекулы компонента с минимальным показателем преломления n выталкиваются из оболочки. Район $R_0 - \Delta R < r < R_0 + \Delta R$ на рис. 3.6 представляет собой туннель [Тамир, 1991] который ограничивает свет, циркулирующий внутри оболочки, и предотвращает его излучение в свободное пространство. Свет концентрируется в районе вблизи R_0 .

Так как масса электронов значительно меньше массы ионов, то электроны покидают область с интенсивным светом раньше ионов. Однако они не могут удалиться от оболочки на значительное расстояние, так как притягиваются положительно заряженными ионами. В результате образуется сферический двойной слой, у которого наружная поверхность заряжена отрицательно.

Этот вывод подтверждается результатами экспериментальных исследований аномальных объектов, полученных при газовых разрядах [Sadduloviciu, 2000]. Показанный на рис. 3.6 двойной слой был измерен и представлен на рисунках 4 и 5 в [Sadduloviciu, 2000]. Как и в проведенном выше рассмотрении, внешний слой является отрицательным, а внутренний – положительным.

К сожалению, такая ситуация не может продолжаться в течение длительного времени после прекращения газового разряда, так как сразу же начинается рекомбинация плазмы.

Заряженная шаровая молния

Можно представить себе ситуацию, показанную на рис. 3.7. Здесь оболочка из тонкого сферического слоя сжатого воздуха обеспечивает ограничение циркулирующего в ней интенсивного света. Свет обеспечивает ограничение слоя электронов внутри оболочки от расширения из-за сил взаимного отталкивания, как показано на рис. 3.7. Так как электроны внутри оболочки уменьшили бы n , они выталкиваются из оболочки. Что касается ионов, то в рассматриваемом случае они вообще отсутствуют, так как рассматривается отрицательно заряженный световой пузырь.

Таким образом, ШМ может ограничивать сосредоточенные внутри оболочки отрицательные заряды, и, следовательно, могут сущест-

вывать отрицательно заряженные ШМ. Такие ШМ, как и любые другие заряженные объекты, могут притягиваться к металлическим предметам, если при этом не вступают в действие другие факторы.

Если световой пузырь имеет отрицательный заряд, как показано на рис. 3.7b, расположенные внутри его оболочки электроны стремятся расширяться и создают давление ΔP_E на внутреннюю поверхность оболочки. Точно так же, как давление ΔP_L , производимое циркулирующим в оболочке светом, давление ΔP_E уменьшает электрострикционное сжатие.

Если по каким-либо причинам в оболочке ШМ появится дыра в виде области, в которой отсутствует интенсивный свет, сжатые электроны вырвутся из оболочки наружу в свободное пространство. Это событие будет сопровождаться взрывом и сильным электромагнитным возмущением. Запасенная энергия

Как было выше показано, время жизни светового пузыря увеличивается на 4 порядка при давлении воздуха около 1 ГПа по сравнению с временем жизни белого света в земной атмосфере. Плотность энергии света при этом равна $90 \cdot 10^3$ Дж/см³. Объем оболочки светового пузыря диаметром 20 см и толщиной 10 мкм равен приблизительно 1 см³. В этом случае в пузыре запасено 90 кДж энергии света. Это согласуется с оценками средней энергии ШМ, равной 10^5 – 10^6 Дж.

Между прочим, Емелин в заключении своей статьи [Emelin, 2004] пишет: «Сравнение аномальных объектов, полученных на больших и малых установках, показывает, что их параметры, такие как время жизни, плотность энергии и плотность энергии в разрядном промежутке прямо связаны между собой. Отношения объема объекта к объему разрядного промежутка различаются лишь немного и приблизительно равны 100. Экстраполируя эти данные на ШМ диаметром 5 см с временем жизни 10–100 с, получим следующие параметры: плотность энергии 1–10 кДж/см³, полная энергия ШМ 0.1–10 МДж, плотность энергии в разрядном промежутке 0.1–1 МДж/см³, объем разрядного промежутка около 1 см³. Эти параметры близки к параметрам природных ШМ». Что касается плотности энергии, то Емелин и др. предполагают, что энергия распределена по всему объему шара.

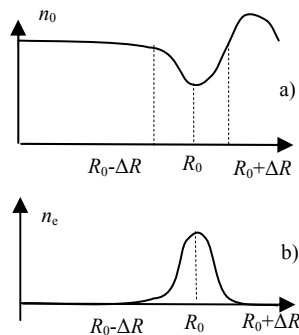


Рис. 3.7. Зависимость параметров плазмы от расстояния до центра:
а) показатель преломления;
б) концентрация электронов.

На самом деле энергия сконцентрирована в тонком сферическом слое, и, следовательно, плотность энергии значительно выше.

Таким образом, энергия света оказывается достаточно большой, и нет необходимости привлекать для объяснения явления ШМ дополнительные внешние источники энергии [Капица, 1955].

Тот факт, что давление воздуха в оболочке ШМ достаточно велико, подтверждается и экспериментальными исследованиями параметров аномальных объектов. В работе [Климов, 1993] сообщается, что измеренная скорость звука в оболочке фиолетового АО (рис. 2.3) равна 1 500 м/с. Определив параметры воздуха, при которых имеет место такая скорость звука, мы получили, что при этом степень сжатия воздуха $\sigma @ 160$. Такое сжатие достигается при давлении около 600 атмосфер, или 0,06 ГПа. При этом показатель преломления воздуха возрастает до $n = 1,043$.

Скорость шаровой молнии

Показано [Torchigin, 2004a], что скорость светового пузыря пропорциональна произведению его диаметра и градиента показателя преломления атмосферы. Чем больше диаметр светового пузыря, тем больше его скорость. Этот вывод может быть использован для проверки правильности гипотезы об оптической природе ШМ. Там же рассмотрена также степень неоднородности атмосферы, производимой летящим самолетом. Избыточное давление воздуха Δp вблизи передней кромки крыла самолета, где скорость воздуха относительно земли максимальна и равна скорости самолета u , определяется следующим выражением: $\Delta p = \rho u^2/2$, где ρ – плотность воздуха и $\rho \cong 1 \text{ кг/м}^3$. При скорости самолета $u = 720 \text{ км/час} = 200 \text{ м/с}$ получим $\Delta p = 2 \cdot 10^4 \text{ Па} \cong 0,2 \text{ атмосферы}$. Показатель преломления воздуха при нормальном атмосферном давлении определяется выражением $n = 1 + \Delta n$, где $\Delta n = 2,7 \cdot 10^{-4}$. Увеличение давления воздуха на 0,2 атмосферы приводит к увеличению показателя преломления воздуха на $0,2\Delta n \cong 0,54 \cdot 10^{-4}$. Чтобы ШМ двигалась со скоростью самолета, неоднородность воздуха должна быть следующей: $\Delta n_D = u/(c/4) \cong 2,66 \cdot 10^{-6}$. Полагая, что градиент показателя преломления убывает обратно пропорционально увеличению расстояния до самолета, получим, что самолет может поймать ШМ, расположенные на расстоянии $S \cong D(\Delta n/\Delta n_D) \cong 20D$. При $D = 0,1 \text{ м}$ получим $S = 2 \text{ м}$. Разумеется, это очень грубые оценки, которые дают только порядок величины. Но они показывают, что летящий самолет притягивает к себе все ШМ, расположенные непосредственно спереди, а также справа, слева, сверху и снизу.

Самоорганизация интенсивного света в газовых смесях

Рассмотрим более подробно процесс появления световых пузырей в разрядном промежутке [Torchigin, 2007]. Пусть имеется флуктуация плотности газа, появившаяся в результате хаотического движения молекул газа. Подобные флуктуации постоянно возникают в газе, и они ответственны за известный оптический эффект молекулярного рассеяния света. Пусть для простоты флуктуация по форме представляет собой шар радиуса r_0 , который существенно больше длины волны света. Так как показатель преломления n газа пропорционален его плотности, зависимость n от расстояния r , измеряемого от центра шара, может быть представлена кривой показанной на рис. 3.8а.

Пусть сферический слой толщиной Δr является переходным слоем, в котором n уменьшается линейно от $n_0 + \Delta n$ внутри шара до n_0 вне его. Пусть интенсивный свет, излучаемый возбужденными атомами, однороден в районе, где расположена флуктуация. Это означает, что не существует какого-либо предпочтительного направления и плотность световой энергии во всех точках одинакова. Такие предположения значительно упрощают рассмотрение, так как интенсивность света может зависеть только от расстояния r .

Траектории световых лучей, распространяющихся в поперечном сечении шара плоскостью $z = 0$, показаны на рис. 3.9. Аналогичная картина име-

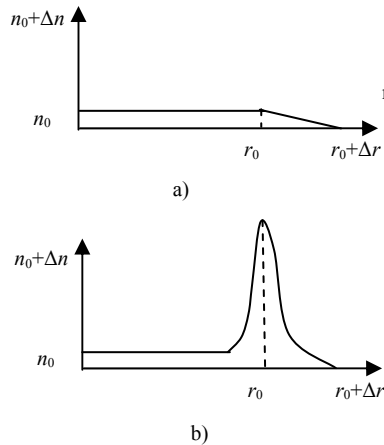


Рис. 3.8. Зависимость показателя преломления от расстояния до центра флуктуации плотности воздуха: а) начальный этап при зарождении флуктуации; б) после сжатия воздуха интенсивным светом в граничном слое.

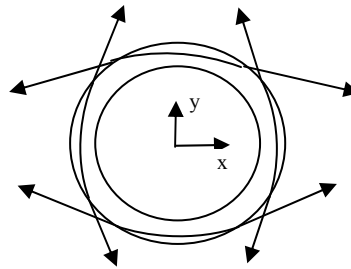


Рис. 3.9. Траектория световых лучей, распространяющихся в граничном слое.

ет место в любом другом диаметральном поперечном сечении из-за центральной симметрии рассматриваемой конфигурации. Как известно, любой луч света, распространяющийся в неоднородной оптической среде, изгибается в направлении градиента показателя преломления. Чем дальше луч распространяется в среде, тем больше его изгиб. На рис. 3.9 это относится к лучам, которые пересекают переходной слой толщиной Δr . Будем рассматривать лучи, которые пересекают этот слой перпендикулярно радиусу, так как в этом случае лучи распространяются в переходном слое наибольшее время.

Ясно, что изгиб лучей по направлению к центру шара приводит к увеличению интенсивности света в переходном слое. Действительно, в этом случае в любом поперечном сечении переходного слоя плотность световых лучей тем больше, чем дальше находится каждый луч в переходном слое. Увеличение интенсивности света в переходном слое пропорционально длине траектории лучей, находящихся в переходном слое.

Увеличение интенсивности света в переходном слое вызывает увеличение показателя преломления n в нем, если оптическая среда нелинейна. В свою очередь, увеличение показателя преломления n вызывает больший изгиб входящих в переходной слой лучей и, следовательно, увеличение интенсивности света в переходном слое и т. д. В результате может появиться световой пузырь, для которого характер зависимости $\Delta n(r)$ показан на рис. 3.8b.

В качестве иллюстрации на рисунке 3.10 показана зависимость интенсивности I_T в переходном слое от фоновой интенсивности I_0 . Легко видеть, что I_T растет более быстро, чем I_0 . Это объясняется тем, что увеличение I_0 сопровождается увеличением длины траектории света в переходном слое. Когда эта длина становится равной длине окружности, траектория становится замкнутой, и световой луч может

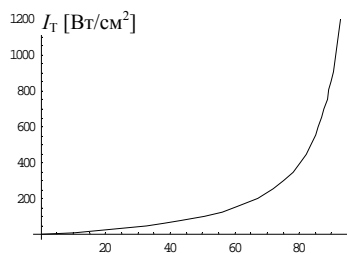


Рис. 3.10. Зависимость интенсивности I_T в переходном слое от фоновой интенсивности I_0 .

циркулировать в переходном слое. В этом случае длина его траектории в переходном слое многократно возрастает. Переходной слой выступает в качестве планарного световода, кривизна которого отлична от нуля. Как известно, такие световоды также могут направлять и ограничивать введенный в них свет. Такой свет может циркулировать в световоде в течение некоторого времени после прекращения

газового разряда, когда интенсивность фонового света I_0 становится равной нулю. Эта ситуация имеет место для аномальных объектов с заметным временем жизни.

При рассмотрении циркуляции света в световоде целесообразно перейти от лучевого подхода к волновому. В этом случае следует рассматривать волны типа шепчущей галереи, циркулирующие во всевозможных направлениях в переходном слое. Такие волны широко используются в оптических резонаторах [Spillane, 2002]. В качестве такого резонатора используется стеклянный шарик диаметром в несколько десятков микрон. Показатель преломления стекла приблизительно равен $n \approx 1,45$. В этом случае разница в показателях преломления оболочки и окружающего пространства $\Delta n \approx 0,45$. Это очень большая разница, которая обеспечивает надежное ограничение световых волн в шарике. Ранее было показано, что величины $\Delta n \approx 0,01$ достаточно для надежного ограничения света в шарике радиусом несколько сантиметров, и чем больше разница, тем лучше ограничение. Этот вывод совпадает с выводом, полученным выше при использовании лучевого подхода.

Следует добавить одно уточнение. Из рассмотрения на основе волнового подхода следует, что ограничение света улучшается непрерывно при увеличении интенсивности фонового излучения и никаких скачков не наблюдается в тот момент, когда траектория светового луча в переходном слое становится замкнутой.

Если световые пузыри исчезают сразу после прекращения газового разряда, интенсивность света I_T в переходном слое недостаточно высока, чтобы обеспечить малые радиационные потери. Тем не менее самоорганизация интенсивного света в этом случае также имеет место, и случайная флуктуация плотности воздуха преобразуется в световой пузырь. Интенсивность света I_T в переходном слое может существенно превосходить фоновую интенсивность I_0 .

Процесс накопления световой энергии в оболочке шаровой молнии

Плотность энергии света в области газового разряда может быть оценена следующим образом. В соответствии с законом Стефана-Больцмана общая объемная плотность равновесной радиации определяется следующим выражением: $W_L = aT^4$, где $a = 7,56 \cdot 10^{-16} \text{ Дж м}^{-3} \text{ К}^{-4}$. При $T = 3 \cdot 10^4 \text{ К}$ получим $W_L = 612 \text{ Дж/м}^3$. Это существенно меньше, чем требуется для того, чтобы увеличить $\Delta n = n_0 - 1$ в несколько раз, где $n_0 = 1,000277$ – показатель преломления воздуха при нормальных условиях. Такое увеличение необходимо для того, чтобы получить надежное ограничение света, циркулирующего в оболочке светового

пузыря. Должны быть какие-то другие механизмы, обеспечивающие увеличение плотности световой энергии. Один из таких механизмов был рассмотрен в [Torchigin, 2005c], где было показано, что около 10% энергии света E , излучаемого возбужденными атомами, находящимися в оболочке светового пузыря, начинает циркулировать в оболочке. Таким образом, запасенная в оболочке энергия света увеличивается линейно во времени. Плотность световой энергии линейно увеличивается в 1,1 раза за каждый период циркуляции световых волн $\tau \approx 10^{-10}$ с. Если процесс накопления энергии продолжается несколько миллисекунд, энергия светового пузыря возрастает на 6 порядков.

Этот вывод подтверждается оптимальными условиями для генерации АО, полученными опытным путем. Так, время, в течение которого существуют оптимальные условия для генерации АО, должно быть как можно более длительным. Высокая температура в области газового разряда приводит к тому, что давление воздуха в этом районе возрастает. Воздух начинает расширяться, и его плотность уменьшается. Двигаясь в направлении, где плотность воздуха максимальна, световой пузырь покидает район разряда, и процесс накопления света в световом пузыре прекращается. Необходимо предпринять какие-то меры, чтобы световой пузырь оставался в зоне разряда. Опытным путем экспериментаторы нашли выход. Это так называемый эрозийный газовый разряд, при котором в процессе разряда испаряется некоторое вещество, нанесенное на электроды, либо сами электроды. Если в зону разряда вводить дополнительное вещество с достаточно большой скоростью, то результирующая плотность вещества в области разряда может иметь максимум, несмотря на то что из этого района постоянно выносятся вещества.

Существует еще один механизм, который обеспечивает накопление световой энергии внутри светового пузыря. Накопление связано со свойством пространственного оптического солитона втягивать внутрь себя световые лучи, распространяющиеся параллельно на некотором небольшом расстоянии от него. Этот же механизм обеспечивает трансформацию плоского светового луча, распространяющегося в нелинейной среде, в устойчивый пространственный солитон [Хаус, 1988].

Рассмотрим сначала это свойство на примере известного классического пространственного плоского солитона. Показано, что световой луч, поперечные размеры которого равны w вдоль оси x и бесконечности вдоль оси y , распространяющийся вдоль оси z , приобретает стабильный профиль интенсивности. Такой луч получил название пространственного солитона. [Хаус, 1988].

На рис. 3.11а показано, как профиль светового луча, представленный точками, постепенно преобразуется в устойчивый стационарный профиль. Профиль светового луча постепенно сужается, а его интенсивность увеличивается. Один из таких профилей представлен пунктирной кривой. Сплошная кривая соответствует стационарному профилю.

Если имеется некоторый фон в виде дополнительного светового луча, распространяющегося вдоль оси z , то этот луч увеличивает интенсивность света в солитоне. На рис. 3.11b такой луч показан в виде небольшого выступа на профиле суммарной интенсивности, представленном кривой в виде точек. Тогда в соответствии с указанными свойствами солитона этот фоновый луч будет втягиваться в пространственный солитон, и ширина w результирующего солитона будет уменьшаться. Некоторый промежуточный профиль показан на рис. 3.11b пунктирной кривой, а стационарный профиль – сплошной кривой. Как видно из рисунка, форма стационарного профиля не зависит от предыстории.

Если энергия фоновой радиации возобновляется непрерывно из-за радиации атомов, возбуждаемых при газовом разряде, мощность волны в пространственном солитоне будет непрерывно возрастать.

Следует подчеркнуть, что эта ситуация принципиально отличается от ситуации, при которой та же самая фоновая волна распространяется в неоднородной линейной оптической среде, в которой распределение показателя преломления полностью совпадает с распределением, созданным в однородной нелинейной среде пространственным солитоном.

В качестве иллюстрации траектории световых лучей для первого случая показаны на рис. 3.12а. Как видно из рисунка, максимальное отклонение световых лучей от плоскости $x = 0$ не зависит от того, как долго лучи распространяются вдоль оси z . Траектории световых лу-

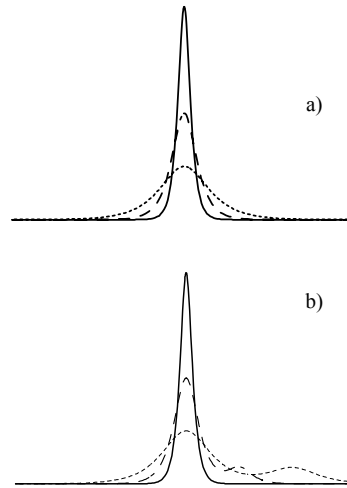


Рис. 3.11. Изменение профиля луча, распространяющегося в нелинейной среде: а) широкий луч приближается к стационарному профилю; б) луч, являющийся суммой двух лучей, приближается к стационарному профилю.

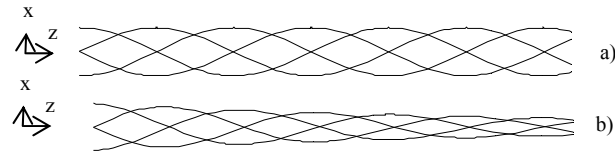


Рис. 3.12. Траектории лучей в неоднородной оптической среде: а) линейная среда; б) нелинейная среда.

чей для второго случая показаны на рис. 3.12b. В этом случае максимальные отклонения лучей от плоскости $x = 0$ уменьшаются по мере того, как лучи распространяются вдоль оси z . Эти отклонения стремятся к некоторому постоянному значению при $z \rightarrow \infty$.

В отличие от первого случая, при котором распределение показателя преломления в пространстве $n(x, y, z)$ постоянно и не зависит от световых волн, во втором случае $n(x, y, z)$ зависит от распределения интенсивности и в пространственном солитоне, и в фоновых лучах. Иными словами, фоновые лучи увеличивают показатель преломления в районах, по которым распространяются. В результате, они концентрируются в районе, где n максимален. Если фоновые лучи возникают постоянно в тех областях, по которым распространяется пространственный солитон, то они точно таким же образом поглощаются этим солитоном, и мощность световой волны в солитоне непрерывно увеличивается. Такой же эффект возможен для светового пузыря, который можно рассматривать как обобщение плоского некогерентного оптического солитона.

Таким образом, появившись в газовом разряде в результате неустойчивости интенсивного света, распространяющегося в газовой смеси [Торчигин, 2004b], световой пузырь втягивает в свою оболочку не только молекулы газового компонента с максимальным показателем преломления n . Световой пузырь втягивает также и энергию света, излучаемого возбужденными атомами в его оболочке, а также энергию фоновых волн, распространяющихся около его оболочки. Интенсивный свет, циркулирующий в оболочке светового пузыря, обеспечивает существование оболочки с увеличенным показателем преломления n , а оболочка обеспечивает циркуляцию интенсивного света в ней. Интенсивный свет втягивает в оболочку молекулы смеси с максимальным показателем преломления n , а оболочка, в свою очередь, втягивает в себя окружающие ее фоновые световые волны.

Из приведенного рассмотрения следует, что световой пузырь является превосходным аккумулятором световой энергии. Процесс накопления световой энергии заканчивается, если энергия, всасываемая за один период вращения луча, равна потерям энергии за то же время.

Если благоприятные условия для всасывания энергии сохраняются в течение длительного времени, плотность энергии внутри светового пузыря может значительно превзойти плотность энергии в окружающем пространстве.

Следует иметь в виду, что потери энергии в световом пузыре (как радиационные, так и из-за молекулярного рассеяния) уменьшаются с увеличением интенсивности света в нем. В этом случае возможна ситуация, при которой энергия, поступающая в световой пузырь за один период циркуляции света, больше энергии, которая покидает световой пузырь за это время, и имеет место постоянное увеличение энергии света в световом пузыре. Возможно, этот эффект имеет место в природных ШМ. При этом обычный солнечный свет используется в качестве фоновых световых волн, которые втягиваются в ШМ. Имеются свидетельства, что природные ШМ наблюдались в солнечный день, когда не было никакой грозы.

Возникает вопрос: до какой степени может увеличиваться интенсивность света в оболочке светового пузыря? Первоначально предполагалось, что максимальная интенсивность света определяется оптическим пробоем сжатого воздуха. Однако более тщательное изучение этого вопроса показало, что при давлении воздуха более 30 атмосфер оптический пробой невозможен. Поэтому в настоящее время не известны те ограничивающие факторы, которые определяют максимальную энергию, которая может быть запасена в световом пузыре.

Хранение световой энергии является чрезвычайно трудной проблемой. Энергия света может быть сохранена в оптических резонаторах. Но время хранения в лучшем случае составляет только несколько миллисекунд. Как следует из наблюдений природных ШМ, время хранения света в ШМ может составлять, по крайней мере, несколько минут.

Взаимодействие двух световых пузырей

Поперечные размеры флуктуаций плотности газа, которые являются зародышами будущих световых пузырей, гораздо меньше диаметров некоторых световых пузырей, наблюдаемых в экспериментах. Результаты исследований взаимодействия световых пузырей с жидким азотом показывают, что диаметр световых пузырей может не превышать нескольких десятков микрометров. В тех же экспериментах зафиксированы световые пузыри, у которых диаметр сравним с размерами установки, в которой они получаются [Климов, 1994]. Механизм появления больших световых пузырей из малых рассмотрен в последней работе авторов [Torchigin, 2007]. Показано, что световые

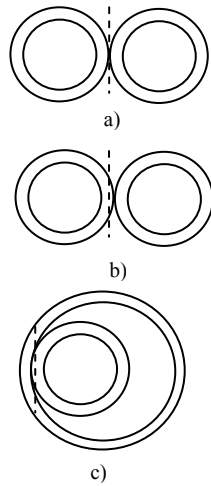


Рис. 3.13. Соприкосновение световых пузырей.

пузыри могут объединяться при соприкосновении. При этом размер результирующего пузыря возрастает.

Покажем, что стационарное состояние двух идентичных соприкасающихся световых пузырей (рис. 3.13а) неустойчиво. Действительно, пусть произошло некоторое небольшое отклонение от идентичности, при котором интенсивность света в правом пузыре оказалась больше, чем в левом. В этом случае плотность воздуха в оболочке правого пузыря увеличивается, и граница между лучами, распространяющимися направо, и лучами, распространяющимися налево, сдвигается влево, как показано на рис. 3.13б пунктирной линией. Часть циркулирующего в левом пузыре света переходит в правый пузырь, и первоначальный дисбаланс увеличивается. В конечном счете весь свет из левого пузыря переходит в правый. Сжатый

воздух в левом пузыре остается, так как переходные процессы, связанные со светом, происходят приблизительно в 10^6 раз быстрее переходных процессов, связанных со сжатием воздуха. Первые определяются скоростью света c , во второе время как вторые задаются скоростью звука u . Как известно, $c/u \approx 10^6$.

Потеряв производимое светом электрострикционное сжатие, сжатый воздух в левом пузыре начинает расширяться. Что касается правого пузыря, то увеличение интенсивности света сопровождается увеличением давления воздуха в оболочке путем всасывания в нее дополнительных молекул воздуха из окружающего пространства. При этом диаметр пузыря может увеличиться.

Легко убедиться, что пара соприкасающихся световых пузырей разного диаметра и с одинаковой интенсивностью света в их оболочках тоже являются неустойчивой. Свет переходит в пузырь с большим диаметром. Это же справедливо для пузырей, показанных на рисунке 3.13с. Таким образом, в результате многократных слияний световых пузырей может получиться один большой пузырь. При этом может быть слышно характерное жужжание или треск из-за многочисленных расширений сжатого воздуха после исчезновения пузырей.

Можно привести следующие доводы в пользу того, что слияние световых пузырей действительно имеет место. Световые пузыри минимального диаметра характеризуются разными радиационными по-

терями для разных длин волн. Эти потери зависят от отношения d/λ , где d – диаметр пузыря, λ – длина волны циркулирующего в нем света, в том случае, если это отношение равно нескольким десяткам [Ораевский, 2002]. В результате в пузырях малого диаметра световые волны, расположенные вблизи красного участка спектра, покидают световой пузырь быстрее, чем световые волны, расположенные вблизи синего. Поэтому жидкий азот с проникшими в него небольшими световыми пузырями светится сине-зеленым светом [Климов, 1994]. Так как источником света, циркулирующего в световом пузыре большого диаметра, служат световые пузыри малого диаметра, то спектр излучения большого пузыря должен быть сдвинут в сторону синего участка спектра. Действительно, оболочка большого светового пузыря в экспериментах [Климов, 1993] светится фиолетовым цветом.

Возникновение шаровых молний

Зная природу ШМ, имеет смысл рассмотреть ситуации, при которых может появляться ШМ при ударах обычной линейной молнии. Известно, что число электрических разрядов между облаками, приблизительно на 2 порядка больше, чем электрических разрядов между облаками и землей [Имянитов, 1980]. Но появление ШМ при электрических разрядах на землю изучено гораздо лучше.

Основная проблема состоит в том, чтобы определить те условия, при которых свет, распространяющийся обычно прямолинейно, стал распространяться по замкнутым траекториям внутри тонкого сферического слоя сжатого воздуха. Аналогия с формированием мыльного пузыря из мыльной пленки может оказаться при этом весьма полезной. Как известно, мыльный пузырь возникает в том случае, если мыльной пленке тем или иным образом удастся придать форму, близкую к замкнутой поверхности. В оптике известны пространственные солитоны, представляющие собой устойчивую плоскую бесконечную пленку интенсивного света, распространяющегося в однородной нелинейной среде, показатель преломления которой зависит от интенсивности света [Хаус, 1988]. Можно себе представить, что эта пленка свернута в бесконечную цилиндрическую поверхность, ось которой перпендикулярна направлению распространения света. В этом случае свет циркулирует перпендикулярно образуящей этой поверхности (рис. 3.14). Далее, вместо бесконеч-

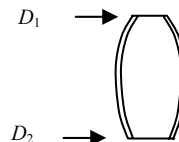


Рис. 3.14. Бочкообразный волноводный слой.

ной цилиндрической пленки можно рассмотреть пленку в виде бочкообразной поверхности вращения конечной длины, в которой свет концентрируется на участке с максимальным диаметром. Наконец, подобно тому, как схлопывается отверстие в мыльной пленке при формировании мыльного пузыря, можно себе представить схлопывание двух отверстий на краях бочкообразной пленки и образование светового пузыря [Торчигин, 2004а]. Рассмотрим, каким образом подобная картина может быть реализована при возникновении ШМ в природе.

При ударе обычной молнии образуется цилиндрическая ударная волна за счет большого тока, протекающего в стволе молнии. При этом температура воздуха повышается до 25 000–30 000 градусов, а длительность тока составляет около 100 мкс [Базелян, 2001]. Давление воздуха в скачке уплотнения (СУ) этой волны достигает 0,3 ГПа, плотность воздуха приблизительно в 10 раз превосходит плотность воздуха при нормальных условиях, а скорость расширения цилиндрической волны приблизительно в 50 раз превосходит скорость звука в атмосфере и достигает $1,6 \cdot 10^4$ м/с. При этом показатель преломления воздуха в СУ равен $n \cong 1,0027$. Этого вполне достаточно, чтобы образовать из СУ тонкопленочный цилиндрический световод, который полностью ограничивает свет, циркулирующий вокруг оси цилиндра диаметром 10 см – типичным диаметром ШМ. За одну микросекунду свет совершает около 1 000 оборотов вокруг оси цилиндра. При этом радиус цилиндра увеличивается на 1,6 см. Как показывают оценки, плотности энергии, излучаемой нагретым газом в СУ, явно недостаточно, чтобы сформировать сгусток энергии в сотни килоджоулей [Торчигин, 2004а].

Можно представить себе следующие процессы, которые могут протекать последовательно и/или параллельно и приводить к накоплению энергии в СУ с последующим образованием ШМ:

- 1) накопление в СУ световой энергии во времени;
- 2) концентрация световой энергии в области около максимального диаметра бочкообразного цилиндрического слоя (БЦС);
- 3) самосжатие толщины БЦС;
- 4) схлопывание двух отверстий в БЦС, приводящее к возникновению сферического слоя.

Первый процесс можно понять, если иметь в виду, что СУ является оптически прозрачным [Райзер, 1980]. При этом плотность световой энергии возрастет в 1 000 раз за одну микросекунду, так как при каждом обороте к циркулирующей вокруг оси цилиндра энергии света добавляется энергия излучения нагретого воздуха. Энергия излучения нагретого воздуха в СУ восстанавливается за счет протекания по нему тока линейной молнии.

Второй процесс связан с особенностями распространения световых волн типа шепчущей галереи в БЦС (рис. 3.15), форма которого изменяется во времени [Торчигин, 2004а]. При этом энергия света, распределенная в БЦС длиной в несколько сотен метров может быть сконцентрирована на участке длиной в доли метра.

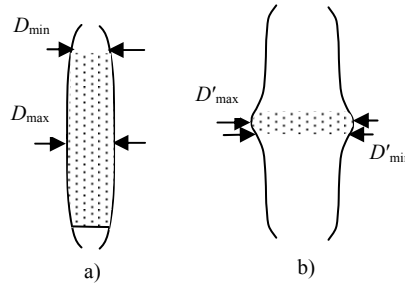


Рис. 3.15. Сжатие излучения в осевом направлении.

Третий процесс самосжатия толщины БЦС, в котором свет циркулирует по замкнутым траекториям, является аналогом известного процесса самофокусировки интенсивного лазерного луча, распространяющегося прямолинейно. В обоих случаях свет, распространяющийся по периферийным участкам, отклоняется в сторону, где показатель преломления максимален. В БЦС показатель преломления максимален в середине слоя. Самофокусировка и самосжатие происходят до той степени, пока толщина излучения не станет сравнима с длиной световой волны. В БЦС толщина слоя уменьшается с нескольких сантиметров до нескольких микрометров, то есть на 4 порядка. Во столько же раз возрастает плотность световой энергии. Аналогичные процессы имеют место в пространственных солитонах, когда их толщина стремится к стационарному значению. Совместное действие этих процессов может привести к необходимому увеличению плотности световой энергии в СУ.

Оценим время самосжатия, так как необходимо убедиться, что это время достаточно мало и свет не успеет значительно рассеяться. Будем предполагать, что наиболее далеко отстоящие от середины цилиндрического слоя участки излучения находятся в неоднородной среде, в которой градиент показателя преломления направлен к середине цилиндрического слоя и равен $g_n = 2\Delta n/h$, где $\Delta n \cong 10^{-6}$ – максимальное увеличение показателя преломления в середине слоя, $h \cong 3$ см – толщина цилиндрического слоя. Из уравнения эйконала следует, что $d^2h/dt^2 = 2g_n c^2$. В этом случае периферийные участки достигнут середины за время $t = c^{-1}(h/2g_n)^{1/2} \cong 0,4$ мкс. Это значительно меньше времени жизни излучения в воздухе.

Четвертый процесс схлопывания двух отверстий в БЦС не сопровождается концентрацией световой энергии, но является весьма важным при формировании ШМ. Как при формировании мыльного пузыря необходимо получить заготовку, приближающуюся по форме к форме мыльного пузыря, так и при формировании световых пузырей

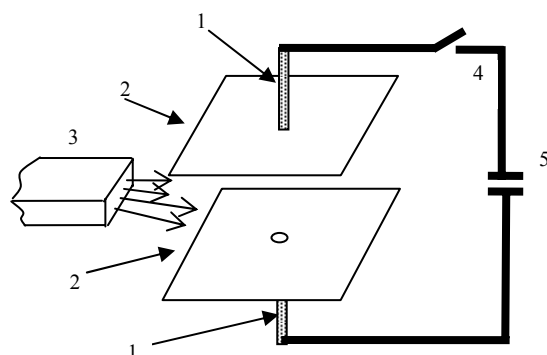


Рис. 3.16. Схема установки для генерации шаровых молний в лаборатории. 1 – электроды, 2 – пластины, 3 – сопло для подачи струи легкого газа в середину межэлектродного промежутка, 4 – конденсаторная батарея, 5 – рубильник.

чения такой заготовки, то есть для получения ШМ в лаборатории. В первую очередь необходимо обеспечить получение БЦС, то есть предпринять меры, чтобы бочкообразность БЦС увеличивалась во времени. Для этого необходимо, чтобы скорость СУ на краях БЦС была меньше, чем в середине. С этой целью вблизи верхнего и нижнего оснований БЦС могут быть расположены некоторые средства, которые замедляют скорость СУ. В лабораторной установке, показанной на рис. 3.16, это некие параллельные пластины 1 около электродов 2, между которыми происходит электрический разряд. Электрический разряд между электродами порождает ударную цилиндрическую волну, скачок уплотнения которой находится на поверхности увеличивающегося в диаметре цилиндра, ось которого совпадает с линией, соединяющей торцы электродов 1. Из-за вязкости воздуха скорость увеличения диаметра СУ вблизи поверхностей 2 меньше, чем в средней области между плоскостями 1. Это приводит к образованию бочкообразного СУ. Кроме того, в области вблизи максимального диаметра БЦС могут быть расположены вещества, которые увеличивают скорость СУ. Это любые газы или газовые смеси, молекулярная масса которых меньше молекулярной массы воздуха [Григорьев, 1991], в частности, водяные пары. На рис. 3.16 показано сопло 3, через которое в межэлектродный промежуток вдувается легкая газовая смесь.

Этой же цели можно достичь, если в области вблизи плоскостей 1 вдувать газы с большим Δn , например углеводороды или сероводород. К сожалению, в лабораторной установке нельзя получить разря-

необходимо получить соответствующую заготовку, то есть явно выраженный БЦС. В том и другом случаях силы, стремящиеся сблизить молекулы в пленке, уменьшают размер дыры в оболочке, что в конечном счете приводит к ее схлопыванию.

Рассмотрим средства, которые могут быть использованы для целенаправленного полу-

ды длиной в километры, как это имеет место в природе. При этом не проявляет себя в полной мере процесс концентрации световой энергии на участке СУ вблизи максимального диаметра, как показано на рисунке 3.15.

Приведенные соображения позволяют объяснить удачные попытки [Егоров, 2002] получить ШМ в лабораторных условиях. При этом в качестве одного из электродов использовалась поверхность воды, налитой в полиэтиленовую емкость 1 (рис. 2.5a). В качестве второго электрода использовался угольный стержень 3. Между первым и вторым электродами располагалось около 0,1 мл воды 5 (рис. 2.5b), на расстоянии 3–8 мм от поверхности воды в полиэтиленовой емкости. Легкий газ между электродами в виде водяного пара получается из-за испарения воды при электрическом разряде конденсаторной батареи емкостью 600 мкФ, заряженной до 5 кВ. При этом, как отмечается авторами, существует оптимальная разность потенциалов между электродами. По-видимому, это связано с режимом испарения воды, помещенной на угольный стержень. При достаточно большом напряжении происходит ее разбрызгивание.

Форма используемых электродов в этих экспериментах такова, что на начальном этапе вместо цилиндрической ударной волны возникает полусферическая. При этом показатель преломления в СУ увеличивается не только за счет его сжатия в СУ, но и за счет увеличения его количества при испарении воды. Скорость распространения СУ в радиальных направлениях уменьшается около поверхности жидкости. В результате максимальный диаметр СУ оказывается выше поверхности жидкости. В этом случае имеется только одно отверстие в СУ, которое схлопывается под действием сжимающих газ сил, возникающих под действием интенсивного света. Таким же образом схлопывается отверстие в мыльном пузыре под действием сил поверхностного натяжения в мыльной пленке.

Из анализа многочисленных фотографий на сайте можно сделать вывод, что во многих случаях схлопывание отверстия не происходит. Время жизни получающегося объекта оказывается меньше, чем длительность процессов, приводящих к схлопыванию. Однако и в промежуточных состояниях АО видна четкая граница между его поверхностью и окружающим пространством. Эта граница формируется циркулирующим в оболочке АО светом, так как только на резкой границе свет может испытывать полное внутреннее отражение от изогнутой поверхности.

В условиях экспериментов [Егоров, 2002] энергия конденсаторной батареи составляла 7,5 кДж. Этого явно недостаточно. Энергия долгоживущих ШМ, в которых интенсивный свет сжимает воздух в такой степени, что потери света в нем значительно уменьшаются,

должна быть значительно больше [Торчигин, 2003а]. При этом могут использоваться многократные разряды, при которых первый разряд испаряет воду и подготавливает СУ, а последующие вкачивают в СУ дополнительную энергию света. Подобные пульсирующие разряды часто наблюдаются в природе [Вагг, 1980].

Заметим, что вода в том или ином виде присутствует во всех известных опытах по искусственному получению ШМ. Вода используется при формировании долгоживущих плазмонидов [Егоров, 2002] с помощью электрического разряда. Вода используется также при получении светящихся шарообразных образований при электровзрыве тонких проволок большим током, получаемым при разряде конденсаторной батареи [Уруцкоев, 2000а].

Заключение.

Заканчивая главу о физике шаровой молнии, можно отметить, что гипотеза о существовании в природе световых пузырей не противоречит общепринятым законам физики. Показано, что в световом пузыре имеет место минимум общей энергии циркулирующего в оболочке света и сжатого газа.

В отличие от общепринятых представлений, по которым энергия поля световой волны пропорциональна диэлектрической постоянной ϵ оптической среды, в которой она распространяется, показано, что в изолированной системе энергия поля световой волны обратно пропорциональна показателю преломления n этой среды.

Показана несостоятельность «очевидных» доводов о том, что световые пузыри не могут существовать, так как они не могут быть устойчивыми.

Глава 4. Шаровые молнии и естественный радиоактивный распад

Писать следует о том, что знаешь хорошо, либо

о том, чего никто не знает.

Аркадий и Борис Стругацкие

После того как изучены физические условия в оболочке ШМ, возникает естественное желание использовать их для пользы дела. При изучении в Интернете различных источников, доступных по ключевым словам «ball lightning» – шаровая молния, довольно часто в этих источниках встречается термин «cold fusion» – «холодный ядерный синтез» (ХЯС) и термин «Low Energy Nuclear Reactions – LENR» – «низкотемпературные ядерные реакции» (НЯР). Для обозначения этого явления используются и другие термины. Например, в 2006 году была проведена 14-я Российская конференция по холодной трансмутации ядер химических элементов и шаровой молнии. В октябре 2008 года намечается очередная конференция в Дагомысе. Термин «трансмутация ядер химических элементов» выражает те же явления, что и вышеприведенные термины. Обратим внимание, что в названии конференции термин шаровая молния соседствует с приведенными терминами. Полагая, что связь между этими терминами не случайна, мы познакомились с соответствующей проблематикой.

Оказалось, что термин холодный ядерный синтез возник относительно недавно. В 1989 году физик из Великобритании Мартин Флейшманн и его американский ученик и коллега Стенли Понс опубликовали статью, в которой сообщалось, что при электролизе при комнатной температуре палладиевых электродов в тяжелой воде выделяется избыточная энергия. Они предположили, что источником этой энергии является реакция синтеза ядер дейтерия.

Это открытие взбудоражило научный мир, так как известные проекты создания реакторов для осуществления реакций ядерного синтеза чрезвычайно дороги. Например, в настоящее время реализуется проект создания Международного Термоядерного Экспериментального Реактора (ITER), в котором синтез ядер дейтерия предполагается осуществлять в высокотемпературной плазме, удерживаемой сильным магнитным полем. В течение ближайших 6–7 лет предполагается построить вблизи Марселя экспериментальную установку, стоимость которой составляет около 13 млрд. долларов. Поэтому легко понять тот интерес, который был проявлен к альтернативному способу осуществления реакций ядерного синтеза. В России в эти

исследования включились РНЦ «Курчатовский институт», Объединенный институт ядерных исследований, Арзамасский ВНИИЭФ, Новосибирский ИЯФ СО РАН, Институт физической химии РАН и др.

К сожалению, довольно быстро выяснилось, что возлагаемые на ХЯС надежды не оправдываются. Оказалось, что интенсивность ядерных реакций настолько мала, что требуются значительные усилия, чтобы зафиксировать само появление избыточной энергии. Кроме того, эксперименты по осуществлению ХЯС характеризуются слабой воспроизводимостью. В результате, у многих физиков сложилось скептическое отношение к возможности использования ХЯС в практических целях. Это привело к тому, что большинство физических журналов не принимают к публикации статьи по тематике ХЯС. Тем не менее ежегодно проводятся международные конференции по ХЯС, в которых участвуют несколько сотен ученых из всех промышленно развитых стран мира. Некоторые из представленных докладов доступны через Интернет по адресу www.lenr-safr.org. При этом тематика конференций расширена. Рассматриваются всевозможные низкотемпературные ядерные реакции (НЯР), а не только реакции ХЯС.

Чтобы не вызывать излишних нареканий, в дальнейшем мы будем рассматривать НЯР, при этом имея в виду, что реакции ХЯС, если они существуют, являются небольшим частным случаем НЯР. Что касается НЯР, то их существование не подвергается сомнениям. Безусловно, естественный радиоактивный распад, открытый в конце 19 века, является типичной НЯР. Проблема лишь в том, как ускорить эти реакции. Один из возможных способов ускорения реализован в атомной бомбе. Второй - в атомных реакторах.

В результате проведенных исследований доступной литературы, в которой упоминаются НЯР и ШМ, у нас сложилось определенное представление о возможных механизмах НЯР. Действительно, зная специфические физические условия внутри ШМ, можно предположить, что они благоприятны для НЯР. В чем же эта специфика? Во-первых, это чрезвычайно сильное сжатие газа – до такой степени, при которой молекулы газа оказываются плотно упакованными, что приводит к значительному увеличению времени жизни света в таком газе. Во-вторых, это относительно большое время существования сжатого газа. В-третьих, это относительно быстрое возникновение сильно сжатого газа. Эти обстоятельства послужили основой для гипотезы, что для осуществления НЯР благоприятен быстроприготовленный сильно сжатый газ плотно упакованных молекул.

Анализ физических условий в экспериментах, сопровожаемых низкотемпературными ядерными реакциями

Имея в виду приведенные теоретические выводы, проанализируем условия известных нам успешных экспериментов, в которых наблюдались НЯР. Оказалось, что во всех экспериментах имел место быстро приготовленный газ плотно упакованных молекул (БППУМ). При этом такой газ существует относительно длительное время, достаточное для «накопления» взаимодействия. Это условие выполняется в шаровой молнии, где циркулирующий интенсивный свет препятствует расширению газа, а также при эрозийных разрядах, при которых испарение новых порций вещества поддерживает в газе высокое давление. Эти два условия взаимосвязаны, так как эрозийный разряд благоприятен для образования шаровых молний. Оказалось, что и в других успешных экспериментах по осуществлению НЯР имеет место БППУМ. Приведем некоторые из этих экспериментов.

На первый взгляд, никакого БППУМ не возникает в классических опытах Понса и Флейшмана по электролизу палладиевых электродов в тяжелой воде. Действительно, так казалось в течение 14 лет. В 2003 году, в результате четырнадцатилетних исследований были установлены следующие факты [Storms, 2003]. Во-первых, области, в которых имеет место ядерная активность, лежат на поверхности катода, а не внутри металла, как предполагалось ранее. Во-вторых, эти области существуют в дендритах, или нанокристаллах, расположенных на поверхности электрода, а не на самой поверхности. Был сделан вывод, что единственным необходимым для НЯР условием является существование небольших изолированных доменов материала. Это могут быть растущие на поверхности электрода дендриты, либо определенного размера вкрапления в палладиевом электроде, либо зерна другого материала на палладиевом электроде. На этих неоднородностях могут происходить эрозийные разряды.

Эти выводы подтверждаются в статье Шпака [Szpak, 2003], в которой показано, что НЯР сопровождаются появлением на поверхности электрода «горячих пятен» и микровзрывов. Оценено, что каждый микровзрыв сопровождается ядерной реакцией, в которой участвует от 10^4 до 10^9 ядер. Не исключено, что причиной микровзрыва является исчезновение миниатюрной шаровой молнии, которая появилась в результате локального эрозийного разряда. Используемый при этом термин миниатюрная шаровая молния обозначает то же, что и принятый нами термин аномальный объект (АО). В дальнейшем будем использовать уже принятый термин, хотя в иностранной лите-

ратуре более часто используется термин миниатюрная шаровая молния.

О наблюдении АО в условиях классических экспериментов Понса и Флейшмана неоднократно сообщал японский исследователь Матsumото [Matsumoto, 1992, 1994, 1995, 2001].

Выполненный Е. Левисом анализ поверхностей тех катодов, с поверхности которых наблюдалось появление АО, показывает, что эти катоды подверглись сильной эрозии [Lewis, 2003]. Это свидетельствует о том, что появление АО сопровождается эрозийным разрядом, как это наблюдается в многочисленных экспериментах по получению АО с помощью эрозийного газового разряда [Avramenko, 1994]. Таким образом, к настоящему времени достоверно установлено, что НЯР в условиях классического эксперимента сопровождается появлением БПГПУМ.

БПГПУМ появляется также в кавитационных пузырьках, создаваемых в жидкости интенсивной акустической волной. Известно, что давление в таких пузырьках при их сжатии может достигать нескольких тысяч атмосфер. В опытах Кладова, выполненных в 1998–2001 годах, показано, что в таких пузырьках протекают реакции НЯР [Kladov, 1998, 2000, 2001]. Аналогичные более тщательные опыты были проведены группой Талейярхана в 2004 году [Taleyarkhan, 2004]. В настоящее время эта группа финансируется Управлением перспективных оборонных исследований Министерства обороны США (DARPA).

Вывод о том, что БПГПУМ, получаемый при взрывах, сопровождающихся эрозией материала, благоприятен для осуществления НЯР, подтверждается исследованиями украинских ученых С. В. Адаменко, А. С. Адаменко и В. И. Высоцкого, которые использовали для суперкомпрессии вещества мощный импульс электронов с энергией около 1 килоджоуля [Adamenko, 2004].

Казалось бы, БПГПУМ отсутствует в экспериментах Корреа при получении избыточной энергии в вакуумном разряде [Carrel, 1996]. Однако работы других исследователей, в частности, Шолдерса, показали, что вакуумный разряд сопровождается появлением так называемых экзотических вакуумных объектов и трансмутацией элементов [Shoulders, 2005]. Фактически такие объекты представляют собой АО, а оболочка АО, в которой циркулирует интенсивный свет, состоит из паров металла, испарившегося с катода вакуумной трубки. Таким образом, БПГПУМ состоит в этом случае из молекул металла. Это же справедливо для экспериментов Солина по плавке циркония в вакууме электронным лучом [Solin, 2001].

Заметим, что работы Шолдерса, которые относятся к области, не признаваемой официальной наукой, позволяют объяснить существо-

вание эктонов – лавин электронов, возникающих при вакуумном разряде [Месяц, 2000] и изучаемых официальной наукой. Если возникновение лавины еще можно как-то объяснить без привлечения АО, то в рамках обычных представлений трудно найти причины, приводящие к исчезновению лавины. Как показано в главе 2, привлечение АО к рассмотрению явлений при вакуумном разряде, позволяет объяснить как появление, так и исчезновение лавин, а также сам факт их существования. Привлечение к рассмотрению АО позволяет также объяснить появление избыточной энергии в опытах Корреа происходящими при этом НЯР. Трансмутация элементов при НЯР зафиксирована в опытах Шолдерса. Таким образом, введение в рассмотрение АО позволяет согласовать и найти объяснение, казалось, совершенно разным экспериментам.

О генерации избыточной энергии с помощью так называемых энергоемких плазменных образований сообщается также в работе Р. Ф. Авраменко и его коллег [Avramenko, 1994]. В этом случае наблюдается появление АО при эрозийном газовом разряде. О трансмутации элементов при взрыве титановой проволоочки при разряде батареи конденсаторов с запасенной энергией 50 кДж сообщается также в работе Уруцкого [Уруцкий, 2000а]. Отмечается, что такие взрывы сопровождаются появлением «шарообразных плазменных образований», которые представляют одну из разновидностей шаровых молний. Кстати, в экспериментах Уруцкого впервые экспериментально зафиксирован факт быстрого появления световых пузырей. Оказалось, что при съемке высокоскоростной кинокамерой световой пузырь появляется так быстро, что на одном кадре его нет, а на следующем он уже полностью сформирован.

Таким образом, во всех известных нам экспериментах по успешному осуществлению реакций НЯР, сопровождаемых либо генерацией избыточной энергии, либо трансмутацией элементов, в том или ином виде присутствует БППУМ.

Наблюдение появляющихся при этом шаровых молний свидетельствует о том, что физические условия в шаровых молниях благоприятны для проведения НЯР. Зная природу шаровой молнии, эти условия можно создать в лаборатории. Известно, что эксперименты по осуществлению реакций НЯР характеризуются слабой воспроизводимостью. Невысокая воспроизводимость имеет место также в экспериментах по получению шаровых молний, так как экспериментаторам неизвестна их физическая природа. Целенаправленное использование эрозийного газового разряда позволяет устранить указанный недостаток и приступить к целенаправленному осуществлению НЯР.

Как при этом изменится жизнь на земле, описал американский футуролог Артур Кларк [Clarke, 1992].

Теоретические предпосылки возможности ускорения естественного радиоактивного распада

Будем рассматривать поведения модели «газа идентичных осцилляторов». В этой модели ядра представлены осцилляторами, которые при приближении друг к другу обмениваются некоторой энергией. Эта энергия зависит от следующих трех параметров:

- сила взаимодействия;
- время взаимодействия;
- разность фаз колебаний взаимодействующих осцилляторов. При этом сила взаимодействия максимальна, когда разность фаз равна $\pi/2$, и минимальна, когда разность фаз равна 0 или π .

При горячем ядерном синтезе в водородной бомбе или в установках типа ТОКАМАК температура плазмы составляет сотни миллионов градусов. В этих условиях сила взаимодействия при столкновении ядер велика, а время взаимодействия мало. При НЯР сила взаимодействия чрезвычайно мала, а время взаимодействия возрастает приблизительно на 10 порядков. Но оказывается, что этого недостаточно. Можно предположить, что при многократных взаимодействиях результат может постепенно накапливаться.

Однако анализ показал, что вероятность заметного накопления энергии в одном из осцилляторов в газе случайно сталкивающихся с произвольными фазами осцилляторов пренебрежимо мала. Действительно, вероятность того, что K последовательных столкновений окажутся благоприятными для накопления действия, равна 2^{-K} . Для накопления заметного действия величина K должна измеряться миллионами. В этом случае указанная вероятность пренебрежимо мала.

Можно было ожидать, что эффект накопления имеет место в твердых телах и жидкостях, где взаимное расположение ядер в определенной степени фиксировано. Тогда вероятность того, что имеются области, где некоторое ядро окружено ядрами с необходимыми фазами колебаний для перекачки энергии в это ядро, достаточно велика. Однако приведенный ниже анализ показывает, что в твердых телах и жидкостях система взаимодействующих осцилляторов находится в стационарном состоянии, в котором фазы всех осцилляторов одинаковы. При этом взаимодействие между осцилляторами отсутствует. Такое взаимодействие могло бы иметь место, если бы стационарное состояние было нарушено, например, если бы фазы колебаний всех осцилляторов стали случайными.

Именно такая ситуация имеет место в быстро приготовленном газе из плотно упакованных молекул. Это состояние отличается от обычного газа тем, что, с одной стороны, молекулы не могут двигать-

ся хаотически, как в обычном газе. С другой стороны, фазы осцилляторов после резкого сжатия газа некоторое время еще остаются случайными. Это время определяется временем, в течение которого система взаимосвязанных осцилляторов переходит в стационарное состояние. Наличие НЯР свидетельствует о том, что это время может быть больше времени сжатия газа.

Рассмотрим возможные пути, которые могли бы вести к объяснению возможности ускорения естественного радиоактивного распада, оставаясь в рамках общепризнанных физических понятий и законов. Энергия взаимодействия между ядрами при относительно низкой температуре чрезвычайно мала по сравнению с энергией самих ядер. Но это справедливо для одного акта взаимодействия между ядрами. А в газе каждое ядро подвергается многочисленным слабым взаимодействиям со стороны других ядер, и, вообще говоря, нельзя исключить ситуацию, при которой имеет место накопление результатов многочисленных взаимодействий. Превосходным прибором для накопления взаимодействий служит высокочастотный осциллятор, в котором время жизни колебаний больше, чем время, в течение которого осуществляется накопление.

Любое ядро является подобным осциллятором. В соответствии с современными представлениями ядерной физики «в ядре, рассматриваемом в виде капли [Pik-Pichak, 1998], существуют колебания с периодом $\tau_n = 10^{-21}$ с и амплитудой 0,1–0,2 от радиуса ядра». Что касается времени жизни колебаний, то оно на много порядков превосходит возможное время накопления. Благодаря туннельному эффекту волновая функция вне ядра отлична от нуля. Это обстоятельство используется для объяснения спонтанного распада ядер. Квадрат амплитуды волновой функции обратно пропорционален периоду полураспада ядер. Таким образом, если одно ядро оказывается в том месте, где волновая функция другого ядра отлична от нуля, то между такими ядрами начинается взаимодействие. Сила этого взаимодействия зависит от того, насколько близко находятся ядра друг от друга.

Точно такие же слова могут быть сказаны о взаимодействии двух осцилляторов, например, о двух идентичных стеклянных шариках, в которых циркулируют световые волны типа шепчущей галереи. Из теории известно, что в таких резонаторах имеются неизбежные радиационные потери, так как вокруг боковой поверхности каждого шарика существует сферический слой, который можно рассматривать как туннель. При прохождении через туннель световая волна постепенно уменьшается по амплитуде. Прошедшее через туннель поле световой волны возбуждает световые волны, которые могут распространяться в свободном пространстве. Эти волны уносят из осцилля-

тора часть его энергии. При этом говорят, что осциллятор имеет радиационные потери.

О возможном механизме радиоактивного распада

Как известно, введение в рассмотрение осцилляторов позволило Планку, Эйнштейну, Дебаю и другим физикам разработать совершенно новый подход к объяснению многих физических явлений. Поскольку классический осциллятор представлялся в виде некоторой механической колебательной системы, дальнейшие исследования в этом направлении привели к появлению отдела физики, названного квантовой механикой, хотя он оперирует с волнами, представленными волновыми функциями. После изучения природы шаровой молнии интересно рассмотреть последствия наличия в микромире еще одного типа осцилляторов, аналогов осцилляторам, представленными самоограниченными оптическими волнами типа шепчущей галереи. Время жизни такого осциллятора принципиально ограничено из-за неизбежных радиационных потерь, присущих волнам типа шепчущей галереи. В соответствии с принятой терминологией такой осциллятор можно рассматривать как оптический сферический солитон (ОСС). ОСС представляет собой осциллятор в котором колеблется одна или несколько самоограниченных световых волн типа шепчущей галереи. В отличие от обычных линейных оптических резонаторов для волн типа шепчущей галереи, например, в виде стеклянного шарика [Spillane, 2002], в которых может циркулировать волна любой амплитуды, ОСС могут существовать только в том случае, если амплитуда циркулирующей волны превосходит некоторый порог. Когда из-за неизбежных радиационных потерь амплитуда волны становится ниже этого порога, ОСС становится нестабильным и исчезает точно таким же образом, как исчезает световой пузырь.

То же самое происходит и с ядрами химических элементов. Они внезапно прекращают свое существование, распадаясь и образуя другие ядра и частицы. Это явление было открыто в конце 19 века и получило название естественного радиоактивного распада. Так как это явление напоминает существование и исчезновение световых пузырей, представляет интерес рассмотреть это сходство более подробно. Это тем более интересно, поскольку и световые пузыри и ядра представляются волнами. Сходство в природе туннельного эффекта для световых волн в оптике и для волновой функции в квантовой механике настолько сильно, что первый эффект обычно используется для иллюстрации второго [Vihman, 1967]. Поэтому не исключено, что волновая функция тоже может быть типа шепчущей галереи. Разумеется, волновая функция также удовлетворяет нелинейному волново-

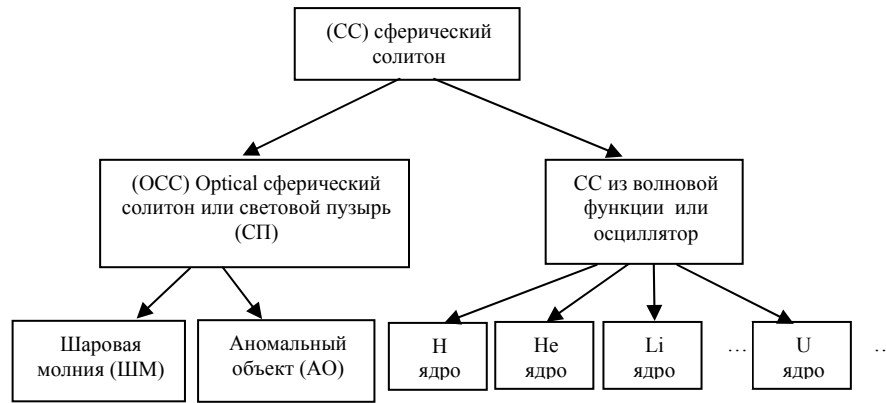


Рис. 4.1 Иерархия различных форм сферических солитонов и их обозначения

му уравнению Шредингера. В этом случае сходство становится полным и все результаты, полученные для волн типа шепчущей галереи [Torchigin 2003, 2004, 2005, 2007], являющиеся основой теории световых пузырей, могут быть применены и к волновым функциям. В частности, подобно тому, как существуют самоограниченные световые волны, возможно существование самоограниченных волновых функций в непонятной пока нелинейной среде.

Иерархия различных форм сферических солитонов представлена на Рис. 4.1. До настоящего времени мы рассматривали левую часть рисунка, где ОСС является абстрактным понятием или теоретической моделью ШМ. Физической реализацией для них являются шаровые молнии или аномальные объекты. Правая часть рисунка представляет частные случаи сферических солитонов (СС), в которых волновая функция представлена самоограниченной волной типа шепчущей галереи. Ядра различных химических элементов являются представителями этого типа СС в природе. Представляет интерес рассмотреть следствия такого допущения. Подобно ОСС, в которых интенсивность световой волны постепенно уменьшается во времени из-за неизбежных световых потерь, присущих волнам типа шепчущей галереи, мы должны допустить, что самоограниченная волновая функция тоже постепенно уменьшается во времени. При этом квадрат модуля волновой функции характеризует плотность энергии, а не плотность вероятности, как это обычно имеется в виду. Заметим, что из этих допущений следует, что подобно тому, как шаровая молния испускает из себя энергию в виде света, ядра также испускают из себя энергию в окружающее ядра пространство. Это пространство заполнено

энергией, которая, сконцентрировавшись каким-то образом, может снова превратиться в ядро, точно так же, как из света благодаря рассмотренному явлению самоорганизации может возникнуть световой пузырь.

Казалось бы, эти допущения противоречат экспериментальным фактам, согласно которым энергия любого ядра неизменна. Кроме того, при этих допущениях все ядра должны были бы быть стабильными в течение всей их жизни, а затем распасться одновременно, когда их энергия станет ниже определенного порога. Оказалось, что эти опасения лишены оснований.

Действительно, рассматривая ядра как специфические сферические пространственные солитоны, мы должны согласиться, что ядра взаимодействуют друг с другом, то есть обмениваются энергией. Отсюда следует, что энергии ядер распределены в некотором узком интервале. Когда энергия некоторых ядер становится ниже некоторого порога, они распадаются и исчезают из множества одинаковых взаимодействующих ядер. Так как исчезают ядра с энергией, которая меньше средней, то средняя энергия оставшихся ядер увеличивается. Этот сдвиг средней энергии компенсируется непрерывным и монотонным уменьшением энергии во времени всех оставшихся ядер из-за радиационных потерь. В результате средняя энергия ядер остается неизменной. Внешние проявления радиоактивного распада при этом полностью совпадают с наблюдаемыми экспериментально. Этот вывод справедлив только в том случае, если система ядер находится в стационарном состоянии. Если каким-то образом стационарное состояние нарушено, то в это время скорость радиоактивного распада может быть иной.

Следует отметить, что взаимодействие множества осцилляторов в настоящее время хорошо изучено в других областях, в частности, в радиотехнике и оптике. Поэтому нам остается лишь применить полученные результаты к новой области.

Особенности взаимодействие множества идентичных осцилляторов

Рассматриваемые осцилляторы характеризуются тем, что запасенная в каждом изолированном от других осцилляторе энергия постепенно убывает из-за радиационных потерь. В результате, все осцилляторы находятся в общем поле, создаваемом всеми осцилляторами. Радиационные потери оптического осциллятора, в котором циркулирует световая волна типа шепчущей галереи, определяются параметром $N = 2\pi r_0/\lambda$, где r_0 – радиус сферы, λ – длина световой волны. Как показано в [Ораевский, 2002], определяемая радиационными потерями добротность резонатора для стеклянного шарика с $N = 2000$, равна $Q = 10^{400}$. Энергия колебаний в резонаторе уменьшается экспоненци-

ально в соответствии с выражением: $dE/E = -\gamma t$, где $\gamma = 2\omega/Q$. Полагая для световой волны $\omega = 10^{15} \text{ с}^{-1}$, получим, что время жизни света, определяемое только радиационными потерями, составляет невообразимо большую величину, равную 10^{378} годам.

Рассмотрим теперь взаимодействие между множеством хаотически движущихся одинаковых нелинейных осцилляторов, в которых запасенная энергия постепенно убывает во времени. Подобно молекулам газа в закрытом сосуде,

осцилляторы могут случайно сталкиваться друг с другом. При этом каждый осциллятор может при столкновении либо приобретать, либо терять какую-то энергию. В конечном счете в осцилляторах наступит некоторое стационарное распределение энергии осцилляторов.

Так как в системе имеет место уменьшение количества нелинейных осцилляторов, то указанное распределение следовало бы назвать псевдостационарным. Исчезновение осцилляторов с энергией ниже некоторого порога E_{th} сопровождается увеличением средней энергии оставшихся осцилляторов $\langle E \rangle$ на $(E_0 - E_{th})/N$, где $N \gg 1$ – количество осцилляторов в системе. Если количество исчезновений в секунду равно λN , то средняя энергия увеличивается в секунду на $\lambda(E_0 - E_{th})$. Это увеличение компенсируется уменьшением общей энергии системы из-за неизбежных радиационных потерь в каждом осцилляторе.

Таким образом, постепенное уменьшение энергии в каждом осцилляторе преобразуется в последовательность дискретных уменьшений энергии системы за счет исчезновения осцилляторов. Скорость постоянного уменьшения общей энергии в стационарном режиме должна согласовываться со скоростью уменьшения количества осцилляторов, которая определяется известной формулой $dN/N = -\lambda dt$, где N – общее количество осцилляторов в системе, λ – вероятность исчезновения осциллятора за одну секунду. Так как общая энергия системы пропорциональна количеству осцилляторов в ней, то $dN/N = dE/E$, то в стационарном состоянии $\lambda = \gamma$. Заметим, γ , определяется только скоростью уменьшения запасенной в осцилляторе энергии и не зависит ни от внутренних параметров осциллятора, ни от параметров, характеризующих столкновение, таких как коэффициент связи k , длительность столкновения τ_R , частота столкновений. Этот вывод справедлив для стационарного состояния, когда средняя скорость

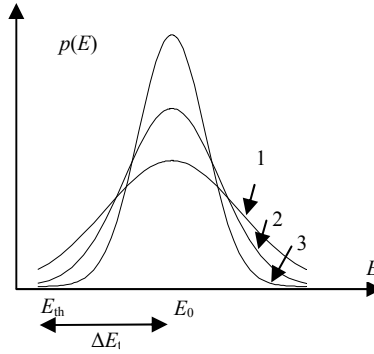


Рис. 4.2. Плотность вероятности появления осцилляторов с энергией E .

постепенного уменьшения общей энергии равна средней скорости дискретных уменьшений энергии.

Покажем, что это стационарное состояние стабильно. Пусть кривая 1 на рис. 4.2 представляет распределение плотности вероятности для осциллятора иметь энергию E . Площадь под этой кривой равна 1. Кривая имеет максимум при $E = E_0$, а ее ширина зависит от коэффициента связи между осцилляторами при их столкновении. Если энергия некоторого осциллятора становится равной E_{th} , то осциллятор исчезает. Чем меньше разность между E_0 и E_{th} , тем больше вероятность исчезновения осцилляторов.

Пусть максимальное количество осцилляторов имеет место при $E = E_1$, где $E_1 < E_0$, то есть кривая 1 сдвинута влево. В этом случае, как следует из рис. 4.2, интенсивность исчезновения осцилляторов повышается по сравнению с интенсивностью в стационарном состоянии, когда $E = E_0$. Как было показано, исчезновение каждого осциллятора сопровождается увеличением средней энергии оставшихся осцилляторов на $\Delta E/N$, где $\Delta E = E_1 - E_{th}$. Чем больше интенсивность исчезновения, тем больше интенсивность увеличения средней энергии оставшихся осцилляторов. В результате, E_1 увеличивается. Это приводит к сдвигу кривой 1 вправо, и интенсивность исчезновения осцилляторов с энергией E_{th} уменьшается. Такой процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто стационарное состояние. Аналогично можно рассмотреть и случай $E_1 > E_0$.

Следует отметить, что рассмотрение справедливо для любой формы кривой 1. Например, те же рассуждения могли бы быть повторены для кривых 2 и 3. Это означает, что вывод о справедливости соотношения $\lambda = \gamma$ не зависит от коэффициента связи. Заметим, что количество осцилляторов, которые исчезают, когда их энергия становится равной E_{th} , не зависит не только от вероятности $p(E_{th})$, но также и от частоты столкновений. Вероятность $p(E_0)$ сравнима по величине с $p(E_{th})$ на рис. 4.2 только из иллюстративных соображений. На самом деле $p(E_0)$ на много порядков больше $p(E_{th})$.

В предположении, что энергия осциллятора постоянна, получим $\gamma = 0$, и, следовательно, $\lambda = 0$ из соотношения $\lambda = \gamma$. В этом случае интенсивность исчезновения осцилляторов уменьшается во времени и стремится к нулю при приближении системы к стационарному состоянию при $t \rightarrow \infty$. Скорость радиоактивного распада при этом постепенно уменьшается и стремится к нулю, что противоречит экспериментальным наблюдениям.

Заметим, что проведенное рассмотрение не справедливо для переходных процессов. Для иллюстрации рассмотрим несколько примеров. Предположим, что коэффициент связи k становится равным нулю при $t = 0$. В такой ситуации взаимодействие между осцилляторами прекращается, и энергия каждого осциллятора стремится к E_{th} независимо. Общая энергия всей системы постепенно уменьшается, и максимум кривой 1 на рис. 4.2 движется по направлению к E_{th} . В этом случае вероятность исчезновения осцилляторов повышается с увеличением времени. Энергия осцилляторов, которые будут исчезать во время t , равна $E = E_{th} \exp(\gamma t)$.

В качестве иллюстрации кривая 1 на рис. 4.3 показывает зависимость dN/dt от t в стационарном состоянии, когда $\gamma = \lambda$, кривая 2 показывает ту же самую зависимость, когда коэффициент связи становится равным нулю при $t = 0$. Кривая 3 характеризует ту же зависимость в предположении, что связь между резонаторами более сильная, чем для кривой 1. Таким образом, если бы кривые, подобные зависимостям 2 и 3, могли быть получены экспериментально, можно было бы оценить среднее значение ширины кривой 2 и вычислить значение коэффициента связи между осцилляторами.

Взаимодействие двух связанных осцилляторов

Теория связанных осцилляторов хорошо разработана и используется во многих совершенно разных приложениях. Приведем основные ее результаты, используемые в дальнейшем рассмотрении. В простейшем случае система, состоящая из двух одинаковых связанных осцилляторов имеет 2 собственные частоты $\omega_1 = (1 + k)\omega$ и $\omega_2 = (1 - k)\omega$, которым соответствуют симметричное $\{a_1 = \exp(j\omega_1 t), a_2 = \exp(j\omega_1 t)\}$ и антисимметричное $\{a_1 = \exp(j\omega_2 t), a_2 = -\exp(j\omega_2 t)\}$ собственные решения, где a_1 и a_2 — амплитуды колебаний соответ-

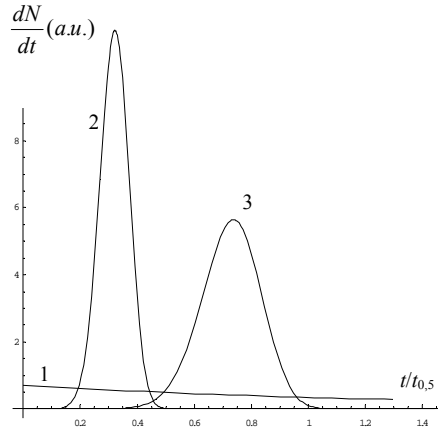


Рис. 4.3. Зависимость скорости радиоактивного распада от времени: 1 — естественный распад; 2 — если слабое взаимодействие между осцилляторами исчезло; 3 — если сильное взаимодействие между осцилляторами исчезло.

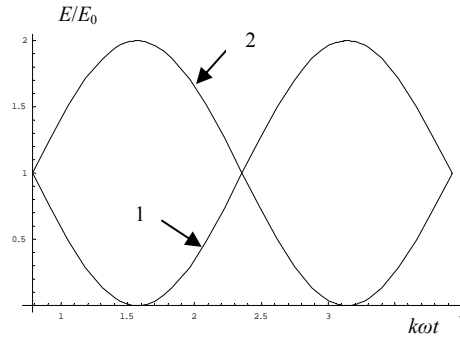


Рис. 4.4. Зависимость энергии связанных осцилляторов от времени: 1 – энергия первого осциллятора; 2 – энергия второго осциллятора.

колебаний, то $E_1(t) \sim \cos^2(\Omega t)$, $E_2 \sim \sin^2(\Omega t)$, где $E_1(t)$, $E_2(t)$ – энергии, запасенные, соответственно, в осцилляторах 1 и 2. Легко видеть, что $E_1(t) + E_2(t) = \text{const}$. Зависимости от времени энергий двух связанных осцилляторов при оптимальных фазовых соотношениях показаны на рис. 4.4.

Как показано в [Хаус, 1988], заметное взаимодействие между двумя осцилляторами с собственными частотами ω_a и ω_b , имеет место, если справедливо следующее условие $(\omega_a - \omega_b)/\omega_a < k$. Так как коэффициент связи k для ядер чрезвычайно мал, разница между собственными частотами любых двух неодинаковых ядер настолько велика, что указанное условие не выполняется. Таким образом, заметное взаимодействие может быть только между одинаковыми ядрами.

Заметим, что передача энергии между двумя идентичными ядрами зависит от фазовых соотношений между их колебаниями. Передача энергии отсутствует только в собственных решениях, в которых фазы одинаковы для симметричного собственного решения и отличаются на π для антисимметричного. Скорость передачи энергии максимальна, если амплитуды колебаний одинаковы, а их фазы отличаются на $\pi/2$. Первое условие выполняется для ядер. Второе условие может оказаться справедливым случайно. Вообще, передача энергии имеет место при любой разности фаз φ . Однако при этом амплитуда биений может изменяться от нуля (когда разность фаз равна 0 или π) до максимальной. Передача энергии имеет место при любом значении коэффициента связи k , но скорость передачи пропорциональна k .

венно в первом и втором осцилляторах. Любая линейная комбинация этих собственных решений также описывает возможные колебания в осцилляторах. Любое решение описывает биения, амплитуда и фаза которых зависят от начальных условий при $t = 0$. Например, если $a_1(0) = 1$, $a_2(0) = 0$, то $a_1(t) = \cos(\Omega t)$, $a_2(t) = \sin(\Omega t)$, где Ω – частота биений, которая не зависит от начальных условий. Так как запасенная в осцилляторе энергия пропорциональна квадрату амплитуды

Можно заключить, что заметное взаимодействие между осцилляторами возможно на любом расстоянии при условии, что длительность взаимодействия сравнима с периодом биений $\tau_b \cong 2\pi/\Omega = 2\pi/(k\omega) = \tau_n/k$.

Что касается коэффициента связи k , то некоторую информацию о его величине можно получить из экспериментально наблюдаемого параметра $\tau_{\text{НЯР}}$, который определяет время, необходимое для осуществления НЯР. Обычно $\tau_{\text{НЯР}}$ находится в интервале от 10^{-6} до 10^{-3} с. Период биений на 1–2 порядка больше $\tau_{\text{НЯР}}$, и, следовательно, τ_b находится в интервале от 10^{-5} до 10^{-1} с. Имея в виду, что $\tau_n \approx 10^{-21}$ с, получим, что $k = \tau_n/\tau_b \approx 10^{-20} - 10^{-16}$. Разумеется, эти оценки – лишь иллюстрация того, как чрезвычайно малый коэффициент связи может привести к заметному результату за разумное время.

Следует иметь в виду, что ядра, рассматриваемые как осцилляторы, являются типичными «нелинейными колебательными системами». Это означает, что свойства ядер зависят от амплитуды колебаний. В нашем примере за время $0,01\tau_b$ энергия колебаний возрастает в одном ядре на 12% и настолько же уменьшается в другом ядре. Разность в амплитудах может стать настолько большой, что нарушится стационарное состояние ядер, и система из двух связанных ядер может перейти в новое состояние, характеризующееся новым локальным минимумом общей энергии, который меньше предыдущего. При этом выделяется избыточная энергия. Например, может произойти синтез двух ядер дейтерия. Напротив, для тяжелых ядер, например, урана, может произойти ядерная реакция деления. В любом случае собственные частоты осцилляторов после реакции становятся различными, и их взаимодействие прекращается. Таким образом, любая НЯР может осуществляться только между одинаковыми ядрами.

Следует отметить, что нестабильное состояние ядра давно используется в ядерной физике для объяснения того факта, что медленный нейтрон может расщепить ядро ^{235}U лучше, чем быстрый нейтрон. В отличие от быстрого нейтрона, медленный нейтрон может быть поглощен ядром, оно становится нестабильным и расщепляется в результате этой нестабильности. Нестабильные состояния могут появляться не только под действием медленных нейтронов, но и в результате длительного взаимодействия двух идентичных ядер.

Взаимодействие множества осцилляторов

Довольно просто представить в уме картину взаимодействия двух ядер, находящихся друг около друга в течение длительного времени. Но как такая картина может быть реализована? При оптимальных фазовых соотношениях степень взаимодействия R определяется выражением: $R = \Delta E/E_0 = 2\Omega\tau = 2\omega k\tau$, где $\Delta E/E_0 \ll 1$ – относительное

изменение энергии за время τ . Из этого соотношения следует, что R максимально, когда произведение $k\tau$ максимально при наиболее благоприятных фазовых соотношениях. Коэффициент связи k может быть увеличен путем уменьшения расстояния r между осцилляторами. Наиболее радикальный способ уменьшить r – это увеличить плотность взаимодействующих осцилляторов.

Казалось бы, жидкости или твердые тела являются наиболее подходящими кандидатами для осуществления в них НЯР. Однако оказывается, что в этих условиях множество связанных осцилляторов находится в стационарном состоянии и разность фаз колебаний смежных осцилляторов равна нулю. Взаимодействие множества взаимно связанных осцилляторов достаточно хорошо изучено в радиотехнике, так как множество взаимно связанных осцилляторов в виде связанных LC контуров используется в высококачественных радиоприемниках.

Ядра в жидкостях или твердых телах, рассматриваемые как связанные осцилляторы, образуют специфическую трехмерную линию передачи, в которой любое отклонение от стационарного состояния в любом осцилляторе сразу начинает распространяться во всех направлениях через цепочку смежных осцилляторов. Чем больше коэффициент связи между осцилляторами, тем выше скорость распространения возмущения. В стационарном состоянии обмен энергией между осцилляторами отсутствует. Иными словами, осцилляторы синхронны между собой. Разумеется, имеются некоторые отклонения от стационарного состояния, связанные с тепловым движением атомов, но эти возмущения не могут привести к резкому возрастанию амплитуды некоторого осциллятора. Подобно тому, как случайное движение молекул газа не может привести к резкому увеличению плотности газа, небольшие случайные фазовые сдвиги не могут привести к значительному увеличению амплитуды колебаний. Любое увеличение амплитуды в осцилляторе, или плотности газа вызывает немедленное рассеяние. Таким образом, жидкости или твердые тела не позволяют накопить результат взаимодействия, так как фазовые соотношения между соседними ядрами далеки от требуемых.

Рандомизация фаз в газе случайно сталкивающихся осцилляторов

Совершенно другая ситуация имеет место во множестве движущихся осцилляторов, представленных атомами газа при нормальных условиях. В этом случае время столкновения осцилляторов значительно меньше времени свободного движения между двумя последовательными столкновениями. Каждое столкновение сопровождается появлением системы, состоящей из двух связанных осцилляторов. В такой системе изменяется ее собственная частота ω в диапазоне (1 –

$k)\omega < \omega < (1 + k)\omega$. Изменение собственной частоты приводит к изменению фаз осцилляторов по сравнению с фазой изолированного осциллятора с собственной частотой ω .

Изменение фаз осцилляторов может быть как положительным, так и отрицательным в зависимости от начальных фаз взаимодействующих осцилляторов. Если колебания осцилляторов симметричны, то изменение положительное, и наоборот. Общий фазовый сдвиг на одно столкновение зависит от силы (величины k) и времени взаимодействия. Чем меньше расстояние между взаимодействующими ядрами, тем больше фазовый сдвиг при одном столкновении. Таким образом, в отличие от системы неподвижных взаимодействующих осцилляторов, где имеют место определенные фиксированные фазовые соотношения между смежными в пространстве осцилляторами, стационарное состояние системы хаотически движущихся и сталкивающихся осцилляторов характеризуется случайными фазами каждого осциллятора.

Как известно, каждая молекула сталкивается с другими молекулами газа при нормальных условиях около 10^9 раз в секунду. Если время накопления действия R сравнимо с временем жизни АО, то есть с 1 мс, то накопление имеет место при 10^6 последовательных столкновениях. Легко убедиться, что если фазовые соотношения при каждом столкновении случайны, то вероятность того, что благоприятные столкновения значительно преобладают над неблагоприятными, пренебрежимо мала. Этот вывод не зависит от давления и температуры газа.

Эффект многократного длительного взаимодействия.

Предположим, что газ сжат так сильно, что молекулы газа плотно упакованы в такой степени, что объем, в расчете на одну молекулу, равен объему молекулы. При этом в газе плотно упакованных молекул возникает эффект, который приводит к возможности значительного накопления результата взаимодействия R . В отличие от газа при нормальных условиях, где каждая молекула сталкивается каждый следующий раз с новой молекулой и вероятность столкновения в ближайшем будущем с прежней молекулой чрезвычайно низка, поведение молекулы в газе плотно упакованных молекул совершенно другое. Каждая молекула колеблется в окружении одних и тех же молекул, которые не позволяют ей двигаться свободно. В этом случае два идентичных смежных ядра могут многократно взаимодействовать между собой и накапливать результат взаимодействия R .

Рассмотрим, каким образом однородный газ плотно упакованных молекул может быть использован для осуществления НЯР. Фазы колебаний в однородном газе плотно упакованных молекул случайны,

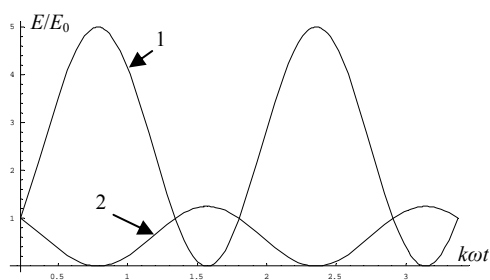


Рис. 4.5. Зависимость энергии в 5 взаимодействующих осцилляторах от времени: 1 – энергия осциллятора, окруженного 4 другими осцилляторами; 2 – энергия каждого из этих осцилляторов.

осциллятору, равна $p = 2^{-K}$. Например, если $K = 6$, то $p = 1,6 \cdot 10^{-2}$. Поскольку общее число осцилляторов $N \cong 10^{20} \text{ см}^{-3}$, количество таких областей весьма велико.

Обобщая результаты, полученные при рассмотрении взаимодействия двух осцилляторов, на 5 осцилляторов, один из которых расположен в точке с координатами $(x = 0, y = 0)$ и окружен четырьмя другими, расположенными в точках с координатами: $(x = 0, y = 1)$, $(x = 0, y = -1)$, $(x = 1, y = 0)$, $(x = -1, y = 0)$, получим зависимости энергии осцилляторов от времени, показанные на рис. 4.5. Предполагается, что энергии всех осцилляторов при $t = 0$ одинаковы, а фаза колебаний в первом осцилляторе отстает на $\pi/2$ от фазы других осцилляторов. Как следует из рис. 4.5, максимальная энергия в первом осцилляторе увеличивается в 2,5 раза, а период биений уменьшается в 2 раза по сравнению с рисунком 4.4. Скорость увеличения энергии в первом осцилляторе при $t = 0$ на рис. 4.5 в 8,9 раза больше, чем на рис. 4.4. Это означает, что действие 4 соседних осцилляторов в 8,9 раза сильнее, чем действие одного осциллятора.

Возможно, что достаточно трудно обеспечить оптимальные условия для осуществления НЯР и они могут реализоваться только при чрезвычайно благоприятных фазовых соотношениях. Например, если допустить, что вероятность чрезвычайно благоприятных фазовых соотношений между двумя смежными осцилляторами равна $p = 0,1$, а не $p = 0,5$, то вероятность чрезвычайно благоприятных фазовых соотношений для осуществления НЯР в системе из $K + 1$ осцилляторов равна 10^{-K} . Чем больше K , тем более благоприятные условия могут быть получены для осуществления НЯР, но вероятность таких условий уменьшается с ростом K .

по крайней мере, непосредственно после резкого сжатия. При этом весьма велика вероятность, что может быть сформирована область, где происходит НЯР. Действительно, если осциллятор окружен K идентичными осцилляторами, то вероятность того, что фазы всех этих осцилляторов благоприятны для передачи энергии центральному осциллятору, равна $p = 2^{-K}$. Например, если $K = 6$, то $p = 1,6 \cdot 10^{-2}$. Поскольку общее число осцилляторов $N \cong 10^{20} \text{ см}^{-3}$, количество таких областей весьма велико.

Если различать стационарное состояние, при котором фазы всех осцилляторов одинаковы и обмены энергией между осцилляторами отсутствуют и, следовательно, НЯР не могут происходить, и неравновесную ситуацию, при которой фазы осцилляторов не пришли в стационарное состояние, и, следовательно, НЯР могут иметь место, то следует ввести временную константу τ_R , которая характеризует скорость, с которой достигается стационарное состояние.

Однако прежде надо отыскать некоторый механизм, приводящий к диссипации энергии системы в неравновесном состоянии, так как в равновесном состоянии энергия системы должна быть минимальна. Действие этого механизма определяет величину указанной временной константы. Например, в газах, эта константа значительно отличается для разных механизмов. Для полной релаксации (затухания) появившихся по тем или иным причинам отклонений энергии молекул от средней тепловой необходимо лишь 1–2 столкновения для поступательно-поступательной релаксации, 4–5 – для вращательно-вращательной, 10^{20} – для колебательно-поступательной и 10^{22} – для колебательно-колебательной [Любитов, 1998].

Так как собственная частота системы двух связанных осцилляторов с синфазными колебаниями уменьшается при сближении осцилляторов, то, как следует из соотношений Менли-Роу, энергия такой системы уменьшается. Это означает, что осцилляторы притягиваются друг к другу. В результате в твердом теле или жидкости, состоящем из таких осцилляторов, возникают силы сжатия, что приводит к возникновению упругих колебаний с соответствующей диссипацией энергии. К сожалению, нам не известна физическая природа этих сил притяжения. Мы можем утешаться лишь тем, что физическая природа сил тяготения также не известна. Возможно, эти силы имеют одинаковое происхождение. Имеются некоторые основания для такого предположения. Как известно, электромагнитная волна, распространяющаяся в однородной среде, не имеет массы. Однако ограниченное некоторой областью электромагнитное излучение приобретает массу, равную E/c^2 , где E – энергия этого излучения. Такое излучение подвержено действию сил тяготения. Поэтому естественно предположить, что масса ядра появляется из-за ограничения в пространстве ее волновой функции. «Радиационные потери» волновых функций ядер обеспечивают их притяжение между собой. Заметим, что представление ядра (а также других частиц) волной в виде самоограниченной волновой функции разрешает известную проблему дуальности в квантовой физике.

Значение временной константы τ_R определяет длительность, которая может быть рекомендована как благоприятная длительность для осуществления НЯР. Длительность взрыва составляет несколько

микросекунд, а время жизни АО равно нескольким миллисекундам. Так как выход НЯР из АО значительно больше, чем при взрыве, можно сделать вывод, что, по крайней мере, $\tau_R > 10^{-6}$ с.

Как следует из представленных теоретических соображений, условия, благоприятные для большого выхода реакций НЯР, совпадают с условиями, которые наблюдаются при успешных попытках осуществления НЯР. Во-первых, сжатие газа должно быть настолько сильным, чтобы молекулы газа оказались плотно упакованными. Во-вторых, они должны оставаться плотно упакованными в течение длительного времени. В третьих, длительность переходного процесса по сжатию газа должна быть не больше τ_R . Суммируя все эти три условия, можно сказать, что для осуществления реакций НЯР необходим быстроприготовленный долгоживущий газ плотно упакованных молекул (БДГПУМ).

Так как максимальный коэффициент связи между ядрами k_{\max} ограничен, НЯР могут быть осуществлены, если время взаимодействия между ядрами больше определенного нижнего предела τ_{\min} . Если длительность взаимодействия меньше τ_{\min} , НЯР невозможна. Сплошная кривая на рис. 4.6 показывает зависимость интенсивности НЯР от времени в предположении, что газ сжимается мгновенно при $t = 0$. Кривая получена на основе следующих качественных рассуждений. Время τ_1 — это минимальное время, которое требуется, чтобы накопить действие при допущении, что НЯР происходят при оптимальных фазовых соотношениях между взаимодействующими ядрами. Так как вероятность таких соотношений мала, интенсивность НЯР близка к нулю. С увеличением времени взаимодействия требуемый результат взаимодействия достигается при фазовых соотношениях,

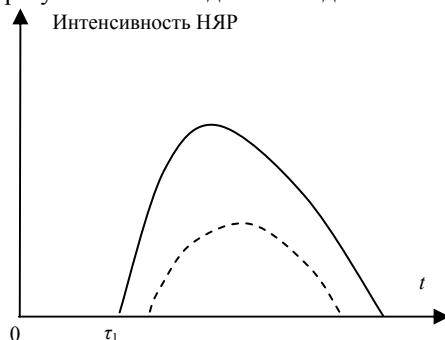


Рис. 4.6. Зависимость интенсивности НЯР от времени. Сплошная кривая — мгновенное сжатие; пунктирная кривая — постепенное сжатие.

которые несколько отличаются от оптимальных. Вероятность таких фазовых соотношений больше, и, следовательно, интенсивность НЯР также больше. При дальнейшем увеличении времени взаимодействия интенсивность НЯР может начать уменьшаться, потому что в результате переходных процессов происходит выравнивание фаз в смежных осцилляторах, и обмен энергией между ними прекращается.

Если сжатие газа происходит не мгновенно, то зависимость интенсивности НЯР от времени описывается кривой, показанной на рис. 4.6 пунктирной линией. Можно отметить следующие особенности этой зависимости. Задержка, после которой начинается НЯР, увеличивается из-за переходных процессов, которые имеют место во время сжатия газа. Эти переходные процессы, при которых выравниваются фазы всех осцилляторов, не позволяют получить оптимальные фазовые соотношения для осуществления НЯР при $t > \tau_1$. Максимум кривой уменьшается. Следует подчеркнуть, что интенсивность НЯР всегда равна нулю при $t < \tau_1$ и, следовательно, всегда требуется длительное сжатие.

Если скорость переходных процессов больше скорости сжатия, то интенсивность НЯР близка к нулю, так как система находится в квазистационарном состоянии, при котором обмен энергией между осцилляторами практически отсутствует.

Таким образом, физические условия внутри оболочки АО в момент его возникновения являются наиболее благоприятными для осуществления НЯР. Как следует из представленного ниже обзора удачных попыток осуществления НЯР, оболочка АО является, по-видимому, единственным объектом, который обеспечивает необходимые физические условия, при которых время взаимодействия $t > \tau_1$.

Экспериментальные данные, свидетельствующие об изменении скорости радиоактивного распада при изменении внешних условий

В соответствии с существующими представлениями «константа λ является одной из важнейших характеристик радиоактивного ядра: λ не зависит ни от физических и химических условий, таких как температура, давление, концентрация, химический состав, ни от возраста радиоактивного ядра» [Encyclopedia of Physics, 1993]. В наших обозначениях это относится к константе γ , которая определяется внутренними свойствами ядра и не изменяется под действием внешних сил. В энциклопедии это относится к константе λ , которая может быть определена экспериментально. В любом стационарном состоянии $\lambda = \gamma$. Однако эти константы могут различаться во время переходных процессов.

Имеется достаточно много как старых, так и новых, как теоретических, так и экспериментальных работ, которые свидетельствуют о возможности изменения скорости радиоактивного распада. Например, недавно было показано, что наибольшей стабильностью в изобарном ряду, то есть среди элементов с одинаковым атомным весом, отличается атом с минимальной энергией. При этом принимается во внимание не только энергия ядра, но и относительно небольшая до-

бавка энергии электронной оболочки атома. Эта энергия равна 13,6 эВ для атома водорода и нескольким тысячам электрон-вольт для атомов с $Z > 20$, где Z – число протонов в атоме. Эта добавка на 3–4 порядка меньше энергии ядра, равной $931,5 \cdot Z$ МэВ. Современная точность измерения масс атомов равна около 1 000 эВ. Таким образом, в настоящее время энергия атома может быть измерена с учетом энергии электронной оболочки. Анализ доступных экспериментальных данных [Audi, 1995] показал, что стабильность атома имеет место только при минимуме его энергии. Такие условия, как «минимум массы ядра» или «максимум энергии связи» оказываются несостоятельными [Уруцкий, 2004].

Этот результат легко объясним на основе рассмотренного подхода. Действительно, непрерывное медленное уменьшение запасенной в атоме энергии приводит к тому, что атом переходит в новое стационарное состояние с меньшей энергией. Такое состояние имеется для всех атомов в изобарном ряду, кроме атома с минимальной запасенной энергией. Для этого атома уменьшение энергии должно быть неизмеримо большим, чтобы он мог перейти в состояние, относящееся к другому изобарному ряду. Время, необходимое для такого уменьшения, также должно быть неизмеримо большим. Иными словами, время полураспада такого атома должно быть неизмеримо большим, то есть он должен быть практически стабильным.

Из этого заключения можно вывести несколько важных следствий. Во-первых, атом и его электронная оболочка представляют собой единое целое, и следует принимать во внимание их общую энергию. Во-вторых, разность $E_0 - E_{th}$ относительно мала по сравнению с E_0 . В третьих, полная ионизация атома уменьшает эту разность значительно, поскольку энергия ионизации сравнима с разностью энергии атомов в изобарном ряду. Как следствие, полная ионизация атома должна заметно изменить его период полураспада.

Эксперименты [Jung, 1992], [Bosch, 1996] подтверждают этот вывод. Показано, что период полураспада полностью ионизированного атома ^{187}Re уменьшается в 10^9 раз по сравнению с нейтральным атомом (период полураспада уменьшается с $4,3 \cdot 10^{10}$ лет до 33 лет).

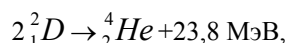
Влияние электрического поля атома на вероятность бета-распада рассмотрено детально в обзорных монографиях [Джелепов, 1956], [Джелепов, 1972], где также представлены экспериментальные данные. Влияние изменений электронной оболочки атома на β -распад ядра трития подробно рассмотрено в работах [Акулов, 2003], [Мамырин, 2004], где приведены также убедительные данные экспериментов.

Представленный подход, при котором ядро рассматривается как сферический самоограниченный солитон, в котором из-за радиаци-

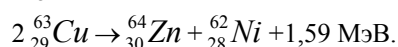
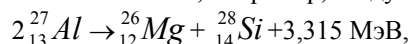
онных потерь постоянно уменьшается запасенная в нем энергия, дает возможность связать естественную радиоактивность с постоянным уменьшением энергии ядра. Случайность естественного радиоактивного распада может быть объяснена не какими-то неизвестными процессами внутри ядра, а случайными процессами вне ядра, при условии, что запасенная энергия в ядре постепенно уменьшается. Если принять, что энергия ядра постоянна, то при принятом подходе скорость радиоактивного распада должна постепенно уменьшаться. Тот факт, что внешние условия могут влиять на скорость радиоактивного распада, подтверждает право на существование представленного подхода.

Возможные типы низкотемпературных ядерных реакций

Из проведенного рассмотрения следует, что только идентичные ядра могут вступать в НЯР. При этом, чем меньше разность между запасенной в ядрах энергией до реакции и после нее, тем меньше выход избыточной энергии, однако тем легче создать условия для осуществления такой реакции. Какие же типы НЯР могут быть осуществлены путем накопления взаимодействия между смежными ядрами? Минимальная избыточная энергия имеет место в том случае, когда после реакции сохраняется общее количество протонов и нейтронов. Поэтому рассмотрим возможные реакции, в которых выполняется это условие, подобно тому как в химических реакциях для каждого элемента выполняется условие сохранения количества участвующих в реакции атомов. Подобно классической реакции синтеза ядер дейтерия



можно написать, например, следующие реакции:



Избыточная энергия определяется разностью суммарных дефектов масс ΔM между исходными и результирующими продуктами. В соответствии с [Григорьев, 1991] значения ΔM для рассматриваемых ядер таковы:

$$\Delta M \text{ для } {}^{27}_{13}Al - 17,194 \text{ МэВ},$$

$$\Delta M \text{ для } {}^{26}_{12}Mg - 16,212 \text{ МэВ},$$

$$\Delta M \text{ для } {}^{28}_{14}Si - 21,491 \text{ МэВ},$$

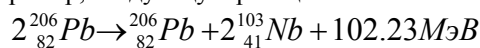
$$\Delta M \text{ для } {}^{63}_{29}Cu - 65,578 \text{ МэВ},$$

ΔM для ${}^{64}_{30}\text{Zn}$ – 66,001 МэВ,

ΔM для ${}^{62}_{28}\text{Ni}$ – 66,745 МэВ.

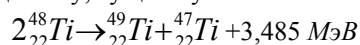
Заметим, что левая сторона в записи реакций начинается с коэффициента 2. Это означает, что в реакции могут участвовать только идентичные ядра. Первая приведенная реакция с дейтерием является реакцией синтеза. Однако этого нельзя сказать относительно второй и третьей реакций, так как до и после реакции существует по 2 ядра.

После анализа ΔM для некоторых тяжелых ядер, можно написать, например, следующую реакцию:

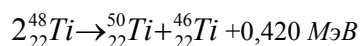


Это типичная реакция радиоактивного распада с выделением около 100 МэВ дополнительной энергии. Фактически происходит расщепление ядра Pb на 2 одинаковых ядра Nb с помощью другого ядра Pb с выделением избыточной энергии. Разумеется, расщепление может происходить и на неидентичные ядра. Таким образом, при НЯР может происходить синтез ядер, их расщепление, а также трансмутация элементов, при которой 2 одинаковых ядра превращаются в различные ядра. Приведенные примеры являются только иллюстрацией. Для реальных ядерных реакций, имеющих практическое применение, необходимо, чтобы в левой части были стабильные изотопы, встречающиеся в природе. Кроме того, из общих соображений следует, что чем меньше выделяемая при реакции избыточная энергия, тем проще такая реакция может быть осуществлена, так как с уменьшением избыточной энергии уменьшается энергия связи разделяющихся при этом компонентов. Кроме того, чем меньше время жизни ядра и разность $E_0 - E_{\text{th}}$, тем проще осуществить НЯР. Анализ возможных НЯР – это задача ядерной физики.

Изменение пропорции изотопов природного титана в титановой проволочке [Уруцкоев, 2000а] может рассматриваться как подтверждение приведенных соображений. Действительно, в АО, полученном при взрыве титановой проволочки с природной пропорцией содержания изотопов титана, содержание изотопа Ti^{48} уменьшалось с 72% до 62%, процент изотопов Ti^{46} , Ti^{47} , Ti^{49} , Ti^{50} увеличивался с 8% до 10%, с 6% до 8%, с 10% до 12%, с 6% до 8%, соответственно. Повидимому, существует много НЯР, подобных



или



В первом случае один нейтрон переходит из одного ядра в другое, а во втором случае переходят два нейтрона.

Возможно, подобные реакции используют колонии микробиологических культур в радиоактивных отходах с относительно малым временем жизни. Имеются сообщения, что в таких средах возможна трансмутация элементов. Кроме того, заметно увеличивается скорость радиоактивного распада [Vysotskii, 2003]. При этом нет ни взрывов, ни интенсивного света, ни аномальных объектов. В соответствии с нашими представлениями малое время жизни можно объяснить двумя причинами. Либо разность $\Delta E = E_0 - E_{th}$ в них относительно мала, либо они характеризуются относительно большими радиационными потерями, при которых внутренняя энергия ядра убывает быстрее, чем в обычных стабильных ядрах. Любое из этих явлений благоприятно для увеличения скорости радиоактивного распада.

Можно себе представить микроустановку в виде бактерии, которая может нарушать стационарное фазовое соотношение между смежными осцилляторами, путем резкого сближения осцилляторов. В результате изменения коэффициента связи между осцилляторами их собственная частота изменяется. Это вызывает фазовый сдвиг колебаний в этих осцилляторах относительно фазы колебаний в стационарном состоянии. Когда сдвиг достигнет $\pi/2$, бактерия приближает осциллятор с измененной фазой к другим осцилляторам со стационарной фазой. В результате, из осциллятора с измененной фазой может откачиваться энергия в осцилляторы со стационарной фазой в соответствии с рис. 4.5. Таким образом бактерия ускоряет скорость уменьшения запасенной в ядре энергии. Бактерия обеспечивает уменьшение энергии ядра до значения E_{th} , при котором ядро распадается, то есть происходит НЯР. Выделяющуюся при этом энергию бактерия использует для жизнедеятельности.

Как правило, коэффициенты связи между обычными ядрами настолько малы, что этого ускорения оказывается недостаточно для осуществления НЯР. Но для ядер с относительно малым периодом полураспада ситуация может быть иной. В этом случае амплитуда их волновой функции вне ядер значительно больше, и, следовательно, коэффициент связи между осцилляторами значительно больше. Только радиоактивные отходы с относительно малым временем жизни содержат такие ядра. Ядра природных элементов с относительно малым временем жизни не существуют, так как они давно распались. Радиоактивными отходами воспользовались бактерии, которые научились использовать НЯР для своей жизни раньше, чем люди. Повидимому, среди бактерий не было физиков-теоретиков, доказывающих, что такие реакции невозможны.

Выводы

Распространение процессов и явлений, происходящих в шаровой молнии, на ядра элементов позволяет объяснить явление естественной радиоактивности. При этом следует допустить, что, подобно тому как запасенная в шаровой молнии энергия постепенно уменьшается и шаровая молния становится нестабильной, энергия ядра постепенно уменьшается во времени, оно становится нестабильным и распадается. Показано, что при учете взаимодействия ядер такое допущение не противоречит надежным экспериментальным данным, согласно которым средняя энергия ядра не зависит от времени. Приведены экспериментальные данные, подтверждающие полученные выводы и свидетельствующие о том, что внешние условия могут влиять на скорость радиоактивного распада.

В предположении, что радиоактивный распад является одним из проявлений низкотемпературных ядерных реакций, предпринята попытка найти средства, позволяющие увеличить скорость радиоактивного распада. С этой целью ядро представлено в виде нелинейного осциллятора с конечным временем жизни и рассмотрено взаимодействие множества таких идентичных осцилляторов. Показано, что для заметного уменьшения энергии некоторого осциллятора надо сначала рандомизировать фазы идентичных осцилляторов, а затем их по возможности быстро плотно упаковать, чтобы сохранялось в течение относительно длительного времени взаимное расположение осцилляторов. Полученные выводы могут быть использованы не только для осуществления ядерных реакций распада, но и для ядерных реакций, при которых происходит трансмутация элементов. Показано, что такие реакции могли бы быть осуществлены в свежеприготовленном долгоживущем газе из плотно упакованных молекул. Приведены многочисленные экспериментальные данные, подтверждающие этот вывод.

Заключение

Столь невероятное предположение о существовании в природе световых пузырей позволяет объяснить многие аномальные явления, накапливающиеся веками. На первый взгляд, такое предположение кажется настолько абсурдным, что оно до настоящего времени не выдвигалось даже в научно фантастической литературе. Тем не менее, из представленного анализа следует, что в природе существует целый мир совершенно новых объектов и явлений, о которых никто ранее и не подозревал. Это всевозможные световые пузыри, размеры, время жизни и запасенная энергия которых могут изменяться в широких пределах. Оболочки таких световых пузырей также могут быть

самыми различными. Это может быть сжатый воздух, сжатый газ, показатель преломления которого больше показателя преломления окружающего пространства, двойной заряженный слой. Оболочка светового пузыря может также ограничивать находящийся в ней отрицательный заряд.

Такие странности поведения шаровых молний, как проникновение через оконные стекла, движение в направлении, которое не совпадает с направлением ветра, сопровождение самолетов и проникновение и их салоны, излучение «холодного» белого света с успехом могут быть объяснены на основе рассмотренной концепции. Многочисленные странности в поведении аномальных объектов, такие как отскакивание от листа бумаги, но прожигание листа фольги, скачки на поверхности стола с внезапным прекращением свечения в любой точке траектории, поведение вблизи кюветы с жидким азотом и в ультразвуковой струе, проникновение наружу через герметически закрытую стеклянную трубку также пока объяснены только на основе предлагаемой концепции. Это указывает на перспективность разработки выбранного подхода.

Представленная теория световых пузырей не столько доказывает возможность их существования, сколько опровергает доводы оппонентов в том, что существование световых пузырей противоречит законам физики. Кроме того, из представленной теории следует существование новых физических эффектов и явлений, которые были открыты и обоснованы при исследовании известных экспериментальных данных, полученных в течение двух веков при попытках получить искусственную шаровую молнию в лаборатории. Для признания рассмотренного подхода нужно время. Например, геоцентрическая система Коперника получала признание в течение веков. Надеемся, что в нашем случае потребуется меньшее время.

Не исключено, что физические условия внутри светового пузыря благоприятны для осуществления низкотемпературных ядерных реакций. Поэтому дальнейшее изучение свойств световых пузырей может иметь большое практическое значение для создания альтернативных источников энергии. Методы и средства, используемые в теории световых пузырей, перенесены для описания явлений внутри ядра и межъядерных взаимодействий. Представление о ядре, как об аналоге шаровой молнии с конечным временем жизни, позволяет по-новому взглянуть на природу естественного радиоактивного распада. Что касается связи шаровой молнии с низкотемпературными ядерными реакциями, то такая связь существует объективно, так как шаровые молнии часто упоминаются в работах, посвященных таким реакциям. Знание физических условий в шаровой молнии и предположение, что эти условия благоприятны для протекания низкотемпе-

ратурных ядерных реакций, дает достаточно много информации о процессах, ответственных за такие реакции. Представленные соображения позволяют рассматривать естественный радиоактивный распад, как частный случай низкотемпературных ядерных реакций. Исходя из этих соображений, предлагается использовать долгоживущий быстроприготовленный газ плотно упакованных молекул в качестве средства для увеличения скорости радиоактивного распада.

Читателю судить насколько убедительны приведенные в книге соображения. Возможно, какие-то доводы требуют более детальных разъяснений. Однако уже в настоящее время имеются основания утверждать, что проведенное рассмотрение позволило, не отходя от компьютера, анализируя известные факты и экспериментальные данные о параметрах аномальных объектов, получаемых в лаборатории, выявить ряд новых очевидных физических эффектов, которые могут проявлять себя не только в световых пузырях. Отметим некоторые из них.

1. Выявлены особенности явления полного внутреннего отражения интенсивного света от плоской границы раздела двух сред. Если среда с меньшим показателем преломления, от которой происходит полное внутреннее отражение, является нелинейной, то при углах падения света на границу раздела, близких к критическим, интенсивный свет проникает в нелинейную среду на глубину, значительно большую той глубины, на которую он проникает в линейную среду с тем же показателем преломления.

2. При изучении особенностей давно полученных спектров автономных объектов открыт и обоснован новый механизм оптической нелинейности в газовых смесях, при котором происходит всасывание молекул компонента смеси с наибольшим показателем преломления в область интенсивного светового луча, что приводит к увеличению показателя преломления в тех областях, по которым распространяется интенсивный луч. Показано, что этот эффект значительно сильнее известных нелинейных эффектов Керра и оптической электрострикции.

3. Выявлен новый механизм оптической нелинейности в низкотемпературной плазме, при котором электроны выталкиваются из областей, по которым распространяется интенсивный световой луч. В свою очередь, электроны притягивают к себе положительно заряженные ионы. В результате, плазма выталкивается из области, в которой распространяется интенсивный свет. Это приводит к уменьшению показателя преломления в областях вокруг интенсивного светового луча. В результате образуется своеобразный оптический пространственный солитон. Как и в известных оптических пространственных солитонах, распространяющихся в нелинейной оптической среде,

световой луч формирует канальный световод с увеличенным показателем преломления, который обеспечивает стабильность профиля луча. Кроме того, в плазме области вокруг интенсивного луча с уменьшенным показателем преломления увеличивают направляющие способности сформированного световода.

4. В отличие от общепринятых представлений, по которым энергия поля световой волны пропорциональна диэлектрической постоянной ϵ среды, в которой она распространяется, показано, что в изолированной системе энергия поля световой волны обратно пропорциональна показателю преломления n этой среды.

5. Получена новая формула, определяющая величину электрострикционного давления в изолированной системе из диэлектрика и света, распространяющегося в нем.

6. Опровергнуты доводы о принципиальной неустойчивости некогерентных оптических пространственных солитонов с отличной от нуля кривизной.

Получен также ряд теоретических результатов, достоверность которых требует дополнительных экспериментальных исследований. Основными из них являются.

1. Интенсивный свет при газовых разрядах склонен к самоорганизации, в результате которой появляются световые пузыри. Это свидетельствует о том, что в природе имеются не только механизмы, приводящие к выравниванию температур, давлений и образованию равновесного светового излучения, но и механизмы, действующие в обратном направлении. Этот результат является примером нарушения второго закона термодинамики, согласно которому не может быть извлечена энергия из системы, в которой отсутствуют компоненты с разными температурами. Возникновение световых пузырей в однородной среде, состоящей из газа, в котором распространяется по всевозможным направлениям интенсивный свет, приводит к нарушению ее однородности. При этом энергия может быть извлечена, например, из газа, сжатого в оболочке светового пузыря.

2. Световой пузырь, помещенный в поле интенсивного света, способен накапливать свет в своей оболочке.

3. Образование эктонов при вакуумном разряде связано с появлением при этом световых пузырей.

4. Особенности поведения катодного пятна связаны с присутствием при этом световых пузырей.

Само утверждение о существовании световых пузырей в природе позволяет по-новому подойти к объяснению многих необъяснимых ранее аномальных физических явлений и распространить имеющиеся в них процессы на явления микромира.

Информация по шаровым молниям и низкотемпературным ядерным реакциям на сайтах Интернета

Сайты

www.balllightning.narod.ru

www.balllightning.50megs.ru

содержат много статей, фотографий и видеофильмов, посвященных искусственным ШМ.

На сайте

www.amasci.com/tesla/ballgtn.html

представлено много фотографий естественных ШМ, сделанных в разных местах и в разное время. Имеет большой архив свидетельств очевидцев.

На сайте

www.infinite-energy.com

содержится разнообразная информация о НЯР. Имеется pdf-файл (150 стр.) с избранными статьями из журнала «Infinite Energy».

На сайте

www.lenr-canr.org

имеется большая библиотека статей, опубликованных в трудах Международных конференций по Low Energy Nuclear Reactions and Chemically Assisted Nuclear Reactions.

На сайте

<http://nauka.relis.ru/06/0110/06110056.htm>

представлена фотография стеклянного диска, который выпал из оконного стекла после прохождения через него ШМ.

Сайт

www.amasci.com/weird/unusual/bl.html

содержит многочисленные свидетельства очевидцев.

На сайте www.youtube.com можно найти по ключевым словам ball lightning много коротких видеофильмов о получении шаровых молний в лаборатории.

Сокращения

АО – аномальный объект.

БПГПУМ – быстроприготовленный газ плотно упакованных молекул.

БЦС – бочкообразный цилиндрический слой.

НЯР – низкотемпературная ядерная реакция.

ОСПС – оптический сферический пространственный солитон.

СП – световой пузырь.

СУ – скачок уплотнения.

ХЯС – холодный ядерный синтез.

ШМ – шаровая молния.

Литература

- Abrahamson J. and J Dinnis*, 2000. Ball lightning caused by oxidation of nanoparticle networks from normal lightning strikes on soil. *Nature*, vol.403, 3, February 2000, pp.519-521.
- Adamenko S.V., Adamenko A.S., Vysotskii V.I.*, 2004. Full-range nucleosynthesis in the laboratory, *Infinite Energy*, 9 (54), 23–30.
- Aitchinson J.S., K. Al-Hemiri, C.N. Ironside, R.S. Grant and W. Sibbett*, 1992 *Electron. Lett.* 28 (1992), 1879.
- Akhmanov S.A., A.P. Sukhorukov, R.V. Hohlov*, 1967. *Uspehi Fiz. Nauk*, 93 (1), (1967), 19–70.
- Audi G., A.H. Wapstra*, 1995. *Nucl. Phys. A* 595, (1995), 409.
- Avramenko R.F., Nikolaeva V.I., Poskacheva L.P.*, 1994. In book «Ball Lightning in a laboratory» (Moscow, Himiya, 1994), pp. 15–56.
- Barry J. D.*, 1980. Ball Lightning and Bead Lightning. N.Y.: Plenum Press, 1980.
- Barry J.D.*, 1968. Laboratory Ball Lightning. *J Atm. Terr. Phys.* 30, 313.
- Bazelyan E.M., Raizer Yu. P.*, 2001. Physics of lightning and lightning protection. (Moscow, Physmathlit, 2001).
- Biruykov A.S., M.E. Sukharev, E.M. Dianov*, 2001. Fiber technologies, materials and devices, 4, (2001), 6–19.
- Bosch A. et al.*, 1996. *Phys. Rev. Lett.* 77, (1996), 5190.
- Bychkov V.L., Gridin A.Yu., Klimov A.I.*, 1994. On the nature of artificial Ball Lightnings. Part 1. Investigation of the structure and physical properties of polymer plasmoids in the atmosphere. *High Temp.* 32, 179.
- Carrel, Mike*, 1996. The Correa Invention: An Overview and an Investigation in Progress. *Infinite Energy Magazine Special Selection* pp. 62–70. www.infinite-energy.com.
- Christodoulides D.N., T.H. Coskin, R.I. Joseph*, 1977. *Opt. Lett.* 22 (1977) 1080.
- Clarke Arthur C.*, 1992. The coming age of Hydrogen Power. *Infinite Energy Magazine Special Selection* pp.8–10. www.infinite-energy.com.
- Dmitriev M.T.*, 1969. Stability mechanism for Ball Lightning. *Sov. Phys. Tech. Phys.* 14, 284.
- Egorov A.U., Stepanov S.I.*, 2002. Long-lived plasmoids – analogies of Ball Lightning arising in moist air. *Journal of Technical Physics* 72, (2002), issue 12, 102–104.
- Emelin S.E., Pirozersky A.L., Skvortsov G.E., Bychkov V.L.*, 2004. Physical conditions of the Ball Lightning ejection caused by interaction of electrical discharge with metal and polymer. http://www.balllightning.narod.ru/isb101/BL_eject.htm.
- Encyclopedia of Physics* (Mc Graw-Hill, 1993).
- Goddard G and O.Dash*, 2000. *Trans. American Nuclear Soc.* 83, (2000), 301.
- Golde R.H.*, 1977. *Lightning Ed.*, v.1–2 (London, New York, 1977).
- Grigoriev A.I., Grigorieva I.D., Shiryeva S.O.*, 1992. Ball Lightning penetration into closed rooms: 42 eyewitness accounts. *J. Scientific Explorations*, 6, 261–279.
- Grigoriev I.S.*, 1997. *Handbook of Physical Quantities*, Ed. (Energoatomizdat, Moscow, 1991; CRC Press, Boca Raton, 1997).
- Haus H. A.*, 1984. *Waves and Fields in Optoelectronics* (Prentice-Hall, New Jersey 1984).
- Hercher M.*, 1964. *Journ. Opt. Soc. Am.* 54, (1964), 563.
- Imyanitov I.M.*, 1998. Atmospheric electricity. *Physical Encyclopedia vol.1*, p144–146 (Moscow, Bolshaya Rossiyskaya Ensiclopedia 1998).
- Jones A. T.*, 1910. *Science (New Series)*, vol. 31, 144.
- Jung M. et al.*, 1992. *Phys. Rev. Lett.* 69, (1992), 2164.
- Kladov A.* Cavitation destruction of the matter. <http://roslo.narod.ru/rao.rao1.htm>.
- Kladov A.*, 1998. Nuclear reactions in the cavitation bubble. 13-th Radiochemical Conference. 19–24 April, 1998. Marianske Lazne Jachymov Czech Republic. Booklet of Abstracts.

- Kladov A.*, 2000. Destruction of radioactive wastes by using experimental high-intensity ultrasonic technology. 5-th International Conference on Nuclear and Radiochemistry. Pontresina, Switzerland, 3–8 September, 2000, Extended Abstracts vol. 1.
- Kladov A.*, 2001. Cavitation destruction of a matter: energy balance during the cavitation destruction on pentachlorophenol. 21-th International Symposium «Industrial Toxicology 2001». Proceedings. 30 May – 1 June 2001, Bratislava, Slovak Republic.
- Klimov A.I., G.I. Mishin*, 1993. Pis'ma Zh. Tech. Fiz. 18 (13), (1993), 19.
- Kogelnik H.H.*, 1988. Theory of optical waveguides, in Guided-Wave Optoelectronics, edited by T. Tamir, Springer-Verlag, Berlin (1988).
- Kondepudi D. and I. Prigogine*, 1999. Modern thermodynamics, John Wiley & Sons, Chichester.
- Kuznetsov N.M., Raizer Yu. P.*, 1998. Shock wave. Physical Encyclopedia vol.5, 206–211 (Moscow, Bolshaya Rossiyskaya Encyclopedia, 1998).
- Kuznetsov R.D., Myshinsky G.V., Arbuzov B.I., Zhemnik B.I.*, 2003. Low Energy transmutation of atomic nuclei of chemical elements. (In Russian) <http://ukratom.com.ua/lib>.
- L.I. Urutskoev, D.N. Fillipov*, 2004. B-stability condition for the nuclei of neutral atoms. Uspehi Physics, v. 174, no. 12, (2004), 1355–1358.
- Landau, L.D. E.M. Lifshits*, 1992. Electrodynamics of continuous mediums, Moscow, Nauka, 1992.
- Landsberg G.S.*, 1976. Optics (Nauka, Moscow, 1976).
- Ledus S.*, 1899. Compt. Rend. 129 (1899), 37.
- Lewis E.H.*, 2003. The Ball Lightning state in Cold Fusion. Tenth International Conference on Cold Fusion, USA, Massachusetts, Cambridge, August, 2003.
- Marum Van.*, 1800. Phil. Mag., vol. 8, (1800), 313.
- Matsumoto T.*, 1992. Searching for tiny Black Holes during Cold Fusion. Fusion Technology, 22, 281.
- Matsumoto T.*, 1994. Observation of Tiny Ball Lightnings during Electrical Discharge in Water. Sub. to Fusion Technology Jan. 23.
- Matsumoto T.*, 1995. Artificial Ball Lightning – Photographs of Cold Fusion Fifth International Conference on Cold Fusion. April 9–13, Monte Carlo, Monaco.
- Matsumoto T.*, 2001. Micro Ball Lightning observed during underwater spark discharges, compared with natural ones. IEEE International Pulsed Power Conference, vol. Conf 13, no VOL 1, pp 273–276.
- Matveev A.N.*, 1988. Optics (Moscow, Mir Publishing, 1988).
- Medvedev Yu.*, 2002. Lomonosov, no. 10, 8–12 (In Russian).
- Mesyats G.A.*, 1995. Uspehi Physics, 165 (6), (1995), 601–626.
- Mitchel M., Z.Chen, M. Shin, M. Segev*, 1996. Phys. Rev. Lett. 77, (1996), 490.
- Naygolnik K.A.*, 1990. Cavitation. Physical Encyclopaedia, vol.2, 228–229, Sovetskaya Encyclopedia, Moscow.
- Nikitin A.I.*, 2004. Journ. of Russian Laser Research, 25 (2), 169–191.
- Paiva G.S., A.C. Pavao, E.A. de Vasconcelos, O. Mendes jr, and E.F. da Silva jr.* 2007 Phys. Rev. Letters, PRL 98, 048501 (2007) January 2007.
- Pik-Pichak G.A.*, 1990. Drop model of a nucleus, in Physical Encyclopedia. Ed by Prokhorov A.M. (Bolshaya Rossiyskaya Ensiclopedia, Moscow, 1990).
- Pirozerski A.L., Emelin S.E.*, 2003. Long-lived plasma formations arising from metal wires burning. www.balllightning.narod.ru.
- Polyakova A.L.*, 1994. Sound speed. Physical Encyclopedia vol. 4, 546–548 (Moscow, Bolshaya Rossiyskaya Ensiclopedia 1994).
- Reifenschweiler O.*, 1994. Phys. Lett. A 184, (1994), 149–153.
- Rizer Yu.P.*, 1980. Foundations of modern physics of gas discharges. – Moscow, Nauka, 1980.
- Saddulovicu M, Lozneanu E.*, 2000. J. Geophys. Res. Vol.105, 4719 (2000).

- Saddulovicu M. and E.Lozneanu*, 2000. Journ. of Geophys. Research, 105 (D4), (2000), 4719–4727.
- Segev M., G. Stegeman*, 1998. Phys. Today, 51(8), (1998), 42.
- Shoulders K.*, 2005. Charge Clusters, Infinite Energy, 61, 2005.
- Singer S.*, 1971. The Nature of Ball Lightning. – Plenum Press, New York, 1971.
- Smirnov B.M.*, 1987. The properties and the nature of Ball Lightning. Phys. Rep., **152**, 177.
- Snyder A.W., J.D. Love*, 1983. Optical Waveguide Theory, Chapman and Hall New York, 1983.
- Solin M.I.*, 2001. Physical Thought in Russia, no.1, 43–58.
- Spillane S.M., Kippenberg T.J., Vahala K.J.*, 2002. Nature **415**, (2002), 621–623.
- Stakhanov I.P.*, 1979. The physical Nature of Ball lightning. Atomizdat, Moscow, (CEGB trans), CE 8244.
- Stenhoff M.*, 1999. Ball lightning – An Unsolved Problem in Atmospheric Physics, Plenum Press, New York, 1999.
- Stepanov N.S.*, 1987. Waves in nonstationary and inhomogeneous media. Gor'kiy State University.
- Storms E.*, 2003. What Conditions are Required to Initiate the LENR Effect. Tenth International Conference on Cold Fusion, USA, Massachusetts, Cambridge, August.
- Szpak S., Mosier-Boss P.A., Dea J., Gordon F.*, 2003. Polarized D⁺/Pd-D₂O Systems; Hot Spots and mini-explosions. Tenth International Conference on Cold Fusion, USA, Massachusetts, Cambridge, August, 2003.
- Taleyarkhan R.P. et al.*, 2004. Journal of Power and Energy, 218 (5), 345–364, (2004).
- Taleyarkhan R.P. et al.*, 2004. Additional evidence of nuclear emissions during acoustic cavitation. Physical Review E, 69, 036109.
- Toepler M.*, 1901. Ann. Phys. IV 6, (1901), 339.
- Torchigin V. P.* 2003g An increase in the wavelength of light pulses propagating through a fiber. Physics Letters A 2003, vol. 311, no.1, pp 21–25.
- Torchigin V. P.*, 2003 a. About the Nature of Ball Lightning. Doklady Physics, **48**, no. 3, 108–111.
- Torchigin V. P.*, 2003 b. Optical Resonators in the Atmosphere. Laser Physics **13**, no. 6, 919–931.
- Torchigin V. P.*, 2004e. Acousto-optical devices. USA Patent number 6771412 of 3 August.
- Torchigin V. P., A. V. Torchigin*, 2004 a. Behavior of self-confined spherical layer of light radiation in the air atmosphere. Physics Letters 328/2–3, (2004), 189–195.
- Torchigin V. P., A. V. Torchigin*, 2005 a. Features of ball lightning stability. Europhysics Journal D 32, (2005), 383–389.
- Torchigin V. P., A. V. Torchigin*, 2005 b. Phenomenon of ball Lightning and its outgrowths. Physics Letters A 337, (2005), 112–120.
- Torchigin V. P., A. V. Torchigin*, 2005 c. Physical Nature of Ball lightning. Europhysics Journal D 36, (2005), 319–327.
- Torchigin V. P., Torchigin A. V.*, 2003 d. Propagation of Self-confinement Light Radiation in Inhomogeneous Air. Physica Scripta, 68, 388–393.
- Torchigin V. P., Torchigin A. V.*, 2003 c. Ball Lightning as a concentrator of light, Chemistry and Life, Jan, 12–15, (In Russian).
- Torchigin V. P., Torchigin A. V.*, 2004 b. Role of Ball Lightnings in Low Energy Nuclear Reactions. Infinite Energy **54**, (2004), 46–50.
- Torchigin V. P., Torchigin A. V.*, 2004 c. Mechanism of the appearance of Ball Lightning from Usual Lightning. Doklady Physics 49, No. 9, (2004), 494–495.
- Torchigin V. P., Torchigin A. V.*, 2004 d. Space Solitons in Gas Mixtures. Optics Comm. 240/4–6, (2004), 449–455.
- Torchigin V. P., Torchigin A. V.*, 2007. Self-organization of intense light within erosive gas discharges. Phys. Lett. A, 361, (2007), 167–172.
- Torchigin V. P., Torchigin S. V.*, 2003 e. Optical solitons at propagation of whispering gallery waves. Quantum Electronics, **33** (10), (2003), 913–918.

- Torchigin V. P., V.A. Suchugov, I.K. Krasuyk et al.*, 2003 f. Change in the wavelength of light radiation stored within an optical resonator by means of an acoustic pulse. *Optics Comm.*, 227, 265–273.
- Torchigin V.P.*, 2002. О стабильности сферических слоев сжатого воздуха, формируемого интенсивным светом. Исследовано в России. *Электронный журнал*. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/093.pdf>.
- Tuck*, 2002. BL in thy Laboratory? <http://web.ukonline.co.uk/Members/ad.johnson/text/bl.htm>.
- Turner D.J.*, 1988. Ball lightning and other meteorological phenomena. *Physics reports* 293, (1998), 1–60.
- Urutskov L.I., Lixonov V.I., Tsinoev V.G.*, 2000. Experimental Discovery of Strange Radiation and Transformation of Chemical Elements. *Journal of Radioelectronics*, no.3 (In Russian) <http://jre.cplire.ru/win/mar00/4/text.html>.
- Vihman E.*, 1967. *Quantum Physics*. (McGraw-Hill Book Co., 1967).
- Vysotskii V.I., Shevelev V.N., Tashirev A.B., and Kornilova A.A.*, 2003. Tenth International Conference on Cold Fusion, USA, Massachusetts, Cambridge, August, 2003.
- Wessel-Berg T.*, 2003. *Physica D*, **182**, (2003), 222–253.
- Zebuhr W.*, 2005. The work of Ken Shoulders. *Infinite Energy*, 61.
- Авраменко Р.Ф., В.И. Николаева, Л.П. Поскачева*, 2004. «Энергоемкие плазменные образования, инициируемые эрозийным разрядом, – лабораторный аналог шаровой молнии». В сборнике Шаровая молния в лаборатории. – М.: Химия, 1994.
- Акулов Ю.А., Мамырин Б.А.*, 2003. *УФН*, 173 (2003), 1187.
- Базелян Э.М., Райзер Ю.П.*, 2001. Физика молнии и молниезащиты. – М.: Физматлит, 2001.
- Бычков В.Л. Бычков А.В., Тимофеев И.Б.*, 2004. Экспериментальное моделирование долгоживущих светящихся образований на основе полимерных органических материалов. *ЖТФ*, 74, вып. 1 (2004), 128–133.
- Гезехус Н.А.*, 1900. *Журнал русского химико-физического общества*, 8 (1900), 311.
- Горбачев Б.И.*, 2002. Причины чернойбыльской аварии: окончательный выбор между двумя версиями. //Сборник «Проблемы Чернобыля», вып. 10, ч. 1. – Чернобыль, 2002.
- Григорьев Г.С.* (ред.), 1991. Физические величины. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
- Джедепов Б.С., Зырянова Л.Н.*, 1956. Влияние электрического поля атом на бета-распад. – М.-Л.: изд-во АН СССР, 1956.
- Джедепов Б.С., Зырянова Л.Н., Сулов Ю.П.*, 1972. Бета-процессы: функции для анализа бета-спектров и электронного захвата. – Л.: Наука, 1972.
- Дмитриев М.Т.*, 1967. Природа шаровой молнии. *Природа*, 6, 98.
- Егоров А. И., Степанов С.И.*, 2002. Долгоживущие плазмиды – аналоги шаровой молнии, возникающие во влажном воздухе. *ЖТФ*, **72** (2002) вып. 12, 102–104.
- Егоров А.И., Степанов С.И., Шабанов Г.Д.*, 2004. Демонстрация ШМ в лаборатории. *УФН*, 174, № 1, Январь 2004, 107–109.
- Емелин С.Е. и др.*, 1997. Некоторые объекты, возникающие при взаимодействии электрического разряда с металлом и полимером. *ЖТФ*, т. 67, № 3, 19–28.
- Захаров В. Е., Шабат А. Б.*, 1971. Точная теория двумерной самофокусировки и одномерной автомодуляции волн в нелинейных средах. *ЖЭТФ*, 1971, т. 61, в. 1(7), 118–134.
- Имянитов И.М., Тихий Д.Я.*, 1980. За гранью законов науки. – М.: Атомиздат, 1980.
- Капица П.Л.*, 1955. О природе шаровой молнии. *ДАН*, том 101, №2, 245–248.
- Климов А.И., Г.И. Мишин*, 1993. Аномальные волновые и газодинамические свойства долгоживущих энергоемких плазмидов. *Письма в ЖТФ*, т. 19 (1993), вып. 13, 19–24.

- Климов А.И., Мельниченко Д.М., Суковаткин Н.Н., 1994. Долгоживущие энергоемкие возбужденные образования и плазмоиды в жидком азоте. В книге «Шаровая молния в лаборатории». Под ред. Р.Ф. Авраменко. – М.: Химия, 1994.
- Кузнецов Н.М., Райзер Ю.П., 1998. Ударная волна. Физическая энциклопедия, т. 5. – М.: Большая Российская Энциклопедия, 1998, с.206–211.
- Ландсберг Г.С., 1976. Оптика. – М.: Наука, 1976.
- Любимов Г.А., Раховский В.И., 1978. УФН, 1978, т. 125, 665.
- Любитов Ю.Н., 1998. Газ. Физическая энциклопедия, т. 1. – М.: Большая Российская Энциклопедия, 1998, с. 375–379.
- Мамырин Б.А., Акулов Ю.А., 2004. УФН, 2004, т. 174, 791.
- Матвеев Л.Т., 2000. Физика атмосферы. – Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 2000.
- Месяц Г.А., 2000. Эктоны в вакуумном разряде: пробой, искра, дуга. – М.: Наука, 2000.
- Мишин Г.И., Климов А.И., Гридин А.Ю., 1992. Отражение ударных волн от плоской стенки в слабоионизированном воздухе. Письма в ЖТФ, том 18, вып. 6, 37–43 (1992).
- Нащокин В.В., 1969. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Высш. шк., 1969.
- Ораевский А.Н., 2002. Волны шепчущей галереи. Квантовая электроника, 32, № 5, 377–400.
- Полякова А.Л., 1994. Скорость звука. Физическая энциклопедия, т. 4. – М.: Большая Российская Энциклопедия, 1998, с. 546–548.
- Райзер Ю.П., 1980. Основы современной физики газоразрядных процессов. – М.: Наука, 1980.
- Смирнов Б.М., 1990. Физика шаровой молнии. УФН, 160, № 4, 1–45.
- Солин М.И., 2001. Физическая мысль в России, 1, 43–58.
- Стаханов И. П., 1985. О физической природе шаровой молнии. – М.: Атомиздат, 1985.
- Стаханов И.П., 1996. Физическая природа шаровой молнии. – М.: Атомиздат, 1996.
- Тамир Т. (ред.), 1991. Волноводная оптоэлектроника. – М.: Мир, 1991.
- Торчигин В. П., 1996 Преобразование света в фоконе с использованием акустической волны в качестве накачки. ЖТФ, 66 (4), 128 (1996).
- Торчигин В. П., 2003 а. О природе шаровой молнии. Доклады академии наук, т. 389, № 3, 41–44.
- Торчигин В. П., 2003 б. Природа шаровой молнии. Ломоносов, 2003, 2, 86.
- Торчигин В. П., 2006 а. Можно ли рассматривать шаровую молнию как возможную гипотезу Чернобыльской аварии? Бюллетень по атомной энергии. № 4, 89–92.
- Торчигин В. П., 2006 б. Феномен шаровой молнии и его разгадка. Бюллетень по атомной энергии. № 1, 57–64.
- Торчигин В. П., А. В. Торчигин, 2004 б. Проявление оптической квадратичной нелинейности в газовых смесях. Доклады академии наук, т. 398, № 6, 753–755.
- Торчигин В. П., А.В. Торчигин, 2004 а. Механизм появления шаровой молнии из обычной молнии. Доклады академии наук, т. 398, № 1, 47–49.
- Торчигин В. П., Торчигин А. В. 2007. О чем пытается поведать людям шаровая молния. Москва, 11-формат, 2007, 150 с.
- Торчигин В. П., Торчигин А. В., 2003 с. Шаровая молния как концентрат света. Химия и жизнь, 2003, № 1, 12–15.
- Уруцкоев Л. И., 2000 а. Экспериментальное обнаружение «странного» излучения и трансформация химических элементов.
www.jre.cplire.ru/win/mar00/4/text.html.
- Уруцкоев Л. И., Филиппов Д. В., 2004. УФН, 174, № 12, 1355–1358.
- Хаус Х., 1988. Волны и поля в оптоэлектронике. – М.: Мир, 1988.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	1
ГЛАВА 1. ОБЪЯСНЕНИЕ ЗАГАДОЧНЫХ СВОЙСТВ ШАРОВОЙ МОЛНИИ	9
Физические эффекты, на которых основано явление шаровой молнии.....	9
Поведение светового пузыря в земной атмосфере.....	13
Как шаровая молния находит щели, печные трубы, чтобы проникнуть через них.....	16
Как шаровая молния проникают в помещения через небольшие щели	17
Как шаровая молния проникает в помещения через оконные стекла	20
Поведение шаровой молнии вблизи металлических объектов	23
Как шаровая молния догоняет летящие самолеты	25
Почему направления движения шаровой молнии и ветра могут не совпадать	28
Почему шаровая молния кажется холодной.....	29
Почему шаровая молния издает свист и вызывает радиопомехи	30
Почему шаровая молния большого диаметра приобретает форму летающей тарелки.....	31
Почему шаровые молнии могут иметь различный цвет.....	32
Исчезновение шаровой молнии	32
Защита от шаровых молний.....	33
Шаровая молния как возможная причина Чернобыльской трагедии.....	33
Заключение.....	35
ГЛАВА 2. ШАРОВЫЕ МОЛНИИ В ЛАБОРАТОРИИ	37
Искусственные шаровые молнии с малым временем жизни	38
Ранние исследования аномальных объектов, существующих после прекращения газового разряда	41
Современные исследования аномальных объектов, существующих после прекращения газового разряда	47
Объяснение аномального спектра аномальных объектов	51
Взаимодействие аномальных объектов с жидким азотом.....	53
Аномальные объекты в вакуумном разряде	54
Поведение аномальных объектов в ультразвуковой струе	55
Аномальные объекты, возникающие при испарении воды.....	59
Аномальные объекты, проникающие через прозрачную стенку	60
Условия, благоприятные для формирования аномальных объектов.....	61
Современные попытки формирования аномальных объектов.....	66
Заключение.....	68
ГЛАВА 3. ФИЗИКА ШАРОВОЙ МОЛНИИ	69
Самоограничение светового излучения	71
Природа электрострикционного давления в газах	73
Стабильность шаровой молнии	74
Время жизни.....	83

Эффект увеличения показателя преломления газовой смеси благодаря разделению ее компонентов	86
Эффект увеличения показателя преломления в плазме	86
Заряженная шаровая молния	88
Скорость шаровой молнии.....	90
Самоорганизация интенсивного света в газовых смесях	91
Процесс накопления световой энергии в оболочке шаровой молнии	93
Взаимодействие двух световых пузырей.....	97
Возникновение шаровых молний.....	99
Заключение.....	104

ГЛАВА 4. ШАРОВЫЕ МОЛНИИ И ЕСТЕСТВЕННЫЙ РАДИОАКТИВНЫЙ РАСПАД..... 105

Анализ физических условий в экспериментах, сопровождаемых низкотемпературными ядерными реакциями.....	107
Теоретические предпосылки возможности ускорения естественного радиоактивного распада	110
О возможном механизме радиоактивного распада.....	112
<i>Особенности взаимодействия множества идентичных осцилляторов.....</i>	<i>114</i>
<i>Взаимодействие двух связанных осцилляторов</i>	<i>117</i>
<i>Взаимодействие множества осцилляторов</i>	<i>119</i>
<i>Рандомизация фаз в газе случайно сталкивающихся осцилляторов</i>	<i>120</i>
<i>Эффект многократного длительного взаимодействия.....</i>	<i>121</i>
<i>Экспериментальные данные, свидетельствующие об изменении скорости радиоактивного распада при изменении внешних условий.....</i>	<i>125</i>
Возможные типы низкотемпературных ядерных реакций.....	127
Выводы	130

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 130

ИНФОРМАЦИЯ ПО ШАРОВЫМ МОЛНИЯМ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМ ЯДЕРНЫМ РЕАКЦИЯМ НА САЙТАХ ИНТЕРНЕТА..... 134

СОКРАЩЕНИЯ..... 135

ЛИТЕРАТУРА 136

