

Лекция 17. ГРОЗЫ, СВЕЧЕНИЕ АТМОСФЕРЫ, МОЛНИИ И СПРАЙТЫ

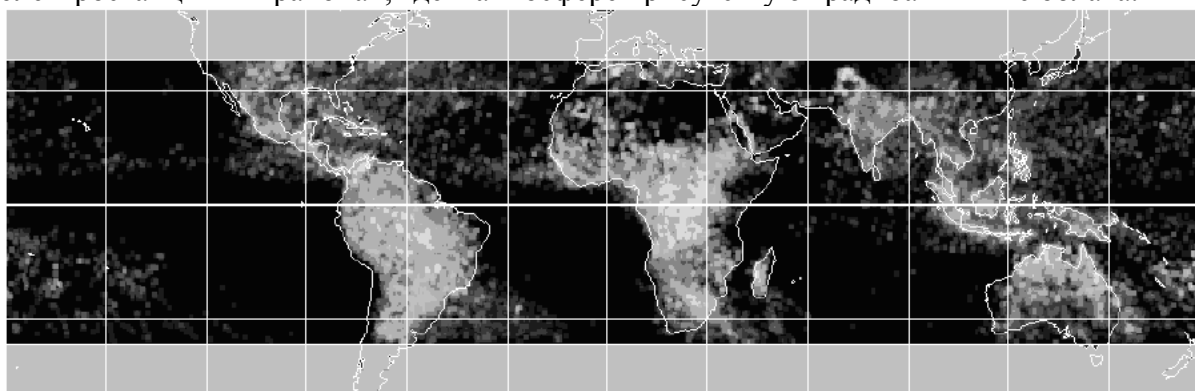
В 17-ой лекции обсуждаются вопросы, относящиеся к физике гроз, молний, спрайтов и свечения атмосферы. Несмотря на многолетние исследования этих вопросов, окончательной ясности – пока нет. Предлагаются принципиально новые модели этих явлений

Грозы

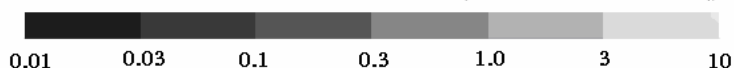
(В.И. Ермаков, Ю.И. Стожков, Физика грозовых облаков, ФИАН, М.: 2004).

На земном шаре одновременно "гремит" (1000 - 2000) гроз. Это значит, что одновременно в атмосфере находится около (1000 - 2000) электрически активных грозовых облаков. Из наблюдений известно, что среднее время электрической активности одного грозового облака ~ (20 -30) минут. С учетом этих данных общее количество грозовых облаков, образуемых за сутки, равно $\sim 10^5$.

По всему земному шару грозовые облака распределены неравномерно. Основная их часть (~ 75%) наблюдается в диапазоне широт между 30° S и 30° N, где они образуются в течение всего года. На более высоких широтах такие облака наблюдаются, в основном, в летнее время. Наиболее часто грозовые облака появляются в районах гор. Грозовая активность усиливается во время извержений вулканов и землетрясений. Обнаружено усиление грозовой активности в районах расположения атомных электростанций и в районах, где в атмосфере присутствуют радиоактивные облака.



Плотность частоты вспышек молний (вспышки/км²/месяц)



Наибольшая интенсивность гроз на земном шаре наблюдается в трех секторах (или грозовых очагах): в Индонезийском (или Азиатском), Африканском (Африка и Европа) и Американском (Центральная Америка и северная часть Южной Америки). Грозовая активность в двух последних секторах наиболее интенсивна.

Грозовое облако представляет собой локализованную область резко выраженной конвективной и электрической активности. Оно может состоять из одной или нескольких ячеек. Средний радиус основания одной грозовой ячейки $R \approx 2$ км, в средних широтах вершина типичной ячейки расположена на высотах (8 - 12) км. В гигантских грозовых облаках, которые, как правило, появляются в тропических широтах, она может достигать 20 км. Время жизни ячейки от момента ее зарождения до распада около 1 часа.

Обычно развитие грозового облака делят на три стадии: зарождения, развития (зрелости) и распада. Стадия зарождения характеризуется наличием достаточно мощных восходящих потоков теплого влажного воздуха и появлением первых молний. В стадии развития усиливаются электрическая активность, восходящие потоки и влагосодержание облака, а в стадии распада наблюдается затухание восходящих движений воздуха, уменьшение электрической активности и выпадение осадков.

В физике образования грозовых облаков главными являются следующие вопросы:

- каким образом внутри облака в микромасштабных размерах появляются разноименные заряды;
- каким образом происходит пространственное макромасштабное (на расстояниях в несколько километров) разделение этих зарядов, сопровождаемое появлением сильного электрического поля в облаке;
- как образуются молниевые разряды. В настоящее время известно несколько механизмов, объясняющих образование грозовых облаков.

Существуют механизмы, в соответствии с которыми пространственное разделение электрических зарядов и появление сильного электрического поля в грозовом облаке поля связано с наличием ледяной фазы в облаке, а также с наличием осадков. Число таких механизмов с течением времени непрерывно растет. Их общим недостатком является то, что в рамках этих механизмов нельзя объяснить появление молний в теплых облаках, где отсутствует ледяная фаза, а также в тех случаях, когда осадки не наблюдаются.

Известен конвективный механизм образования электричества грозового облака, в соответствии с которым, заряды поставляются в облако с острий, находящихся на поверхности Земли, и молниями. Существует также индукционный механизм зарядки грозового облака. Оба эти механизма несостоятельны с энергетической точки зрения.

Главным недостатком всех известных механизмов образования грозовых облаков является то, что в них отсутствует тот источник энергии, который мог бы обеспечить развитие (рост) грозового облака. В процессе развития такого облака из приземного слоя атмосферы на высоту в несколько км. за время менее 1 часа поднимается большое количество воды, до $(2 - 4)10^5$ тонн. Известные механизмы не дают ответ на вопрос о том, откуда берется энергия для этого процесса. Другим недостатком известных механизмов относится и то, что они не дают ответа на вопрос об образовании молниевых разрядов. Как известно из наблюдений, молнии в облаках появляются при напряженностях электрического поля E не более чем ~ 3 кВ/см, хотя пробивное напряжение воздуха на высотах образования грозовых облаков требует $E \sim (10 - 30)$ кВ/см.

Многолетние наблюдения за грозовыми облаками, проведенные в разных географических районах, указывают на наличие определенных закономерностей в частоте появления этих облаков. Грозовые облака не появляются в районах пустынь, где воздух сухой, они не появляются в тех районах, где воздух холодный, а появляются там, где воздух теплый и влажный. В тропиках воздух теплый всегда, а на более высоких широтах он теплый в летнее время. Физическая причина указанных закономерностей заключается в том, что для образования грозового облака требуется много влаги (водяного пара). Как известно, при одной и той же относительной влажности теплый воздух содержит значительно больше влаги, чем холодный. Обычно грозовые облака появляются в области развитой конвекции, где скорость восходящих движений воздуха максимальна и может достигать нескольких метров в секунду. Существует термическая и динамическая конвекция.

Термическая конвекция возникает над сушей в теплое время года, днем в результате неоднородного нагревания ее поверхности (лес и степь, пашни и луга и т.д.). Над морем она создается чаще всего ночью, когда поверхность воды становится теплее прилегающих к ней слоев воздуха. Нагретый объем воздуха может подниматься до тех пор, пока его температура не сравняется с окружающей средой. Динамической конвекцией принято называть вертикальное перемещение воздуха, происходящее на холодном фронте, т.е. на фронте, движущемся в сторону теплой воздушной массы. Наиболее часто динамическая конвекция наблюдается над горными районами, где теплый воздух движется в сторону гор, и где наблюдаются наиболее сильные восходящие движения воздуха.

В поднимающемся из приземного слоя воздуха всегда присутствуют аэрозольные частицы, которые являются потенциальными ядрами конденсации водяного пара в облаке. Геометрические размеры этих частиц охватывают диапазон от $5 \cdot 10^{-7}$ до 10^{-5} см. Химический состав аэрозольных частиц в основном определяется составом того участка земной поверхности, над которым находится приземный слой атмосферы. Из наблюдений известно, что концентрация аэрозольных частиц над континентами, как правило, во много раз больше, чем над океанами. Над сушей она может достигать значений до $\sim 10^5$ см⁻³, а над океанами не превышает нескольких сотен частиц в см³.

Известно также, что атмосфера всегда и на всех высотах ионизована. Поэтому в восходящих потоках воздуха всегда присутствуют разноименно заряженные частицы (легкие ионы, а также тяжелые ионы - заряженные аэрозольные частицы с размерами $> 10^{-7}$ см).

Таким образом, результаты наблюдений за атмосферой и грозowymi облаками указывают на то, что для зарождения грозowych облаков необходимым условием является наличие достаточно мощных восходящих потоков теплого, влажного и ионизованного воздуха, содержащего аэрозольные частицы - потенциальные ядра конденсации водяного пара. Обычно такие потоки наблюдаются в областях развитой конвекции.

Известно, что для развития грозowych облаков с наблюдаемыми значениями их электрической активности, влагосодержания и скорости роста необходимым условием является ионизация атмосферы на всех высотах, начиная от поверхности Земли и кончая магнитосферой.

Облако представляет собой диэлектрик, внутри которого распределены объемные заряды. Для появления внутриоблачного разряда необходимо наличие сильно разветвленного «проводящего дерева», по ветвям которого из одной части облака в другую может быть сброшен значительный объемный заряд. Появление такого «дерева» в облаке инициирует космическая частица сверхвысокой энергии $e > 10^{14}$ эВ. Она образует в атмосфере так называемый широкий атмосферный ливень (*ШАЛ*). *ШАЛ* в грозовом облаке схематически показан на рис. 1.

Продольная длина ливня может достигать 10 км и более. В поперечном направлении высокоэнергичные частицы ливня разлетаются на расстояния в сотни метров. Число высокоэнергичных частиц, рождаемых в ливне, превышает 10^5 . Ливни, рождаемые частицами с энергиями $E > 10^{15}$ эВ, достигают поверхности Земли. Максимум частиц ливня находится на высоте $X_m(E)$. Здесь величина X_m выражена в г/см², а E в эВ. Интенсивность появления таких *ШАЛ* не зависит от времени и географической широты.

Как только E достигнет значений порядка (2- 3) кВ/см внутри облака появляются внутриоблачные разряды, проходящие по ионизованным следам *ШАЛ* (см. рис. 2а.) Величину заряда, переносимого внутриоблачным разрядом, можно оценить следующим образом. Высокоэнергичная частица с $E > 10^{14}$ эВ образует в многочисленных ионизованных следах *ШАЛ* около 10^{10} свободных электронов с линейной плотностью $n_e \sim 10^2$ см⁻¹ при общей протяженности таких следов порядка 10^8 с. Под действием внешнего поля E эти электроны образуют электронные лавины, усиливающие ионизацию в следах *ШАЛ*. К моменту разряда радиус электронных лавин $r_n \approx 1$ мм, коэффициент усиления лавины $k_n \approx 7 \cdot 10^8$, а концентрация электронов в следе $n \approx 2 \cdot 10^{12}$ см⁻³. При такой концентрации электронов следы обладают высокой электропроводностью, и по ним проходит внутриоблачный разряд.

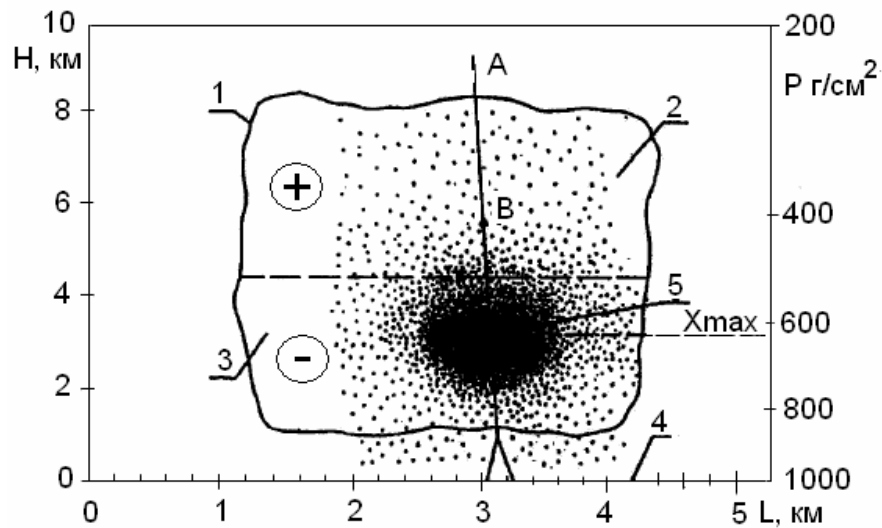


Рис. 1. Схематическая картина широкого атмосферного ливня (ШАЛ), образуемого в грозовом облаке высокоэнергичной частицей космических лучей: H - высота в атмосфере в км; L - горизонтальная протяженность облака в км; 1 - граница грозового облака; 2, 3 - области расположения избыточных положительных и отрицательных электрических зарядов в облаке (пунктирная линия - граница раздела зарядов); 4 - поверхность Земли; 5 - широкий атмосферный ливень; X_{max} - высота нахождения максимального числа частиц ливня, которые показаны точками; прямая А - трек высокоэнергичной космической частицы с $E > 10^{14}$ эВ; В - точка взаимодействия первичной частицы А с ядром атома воздуха; идущая вниз после точки В прямая изображает ствол ливня - треки высокоэнергичных вторичных частиц; большинство частиц ШАЛ соединено своими проводящими каналами с треком частицы А.

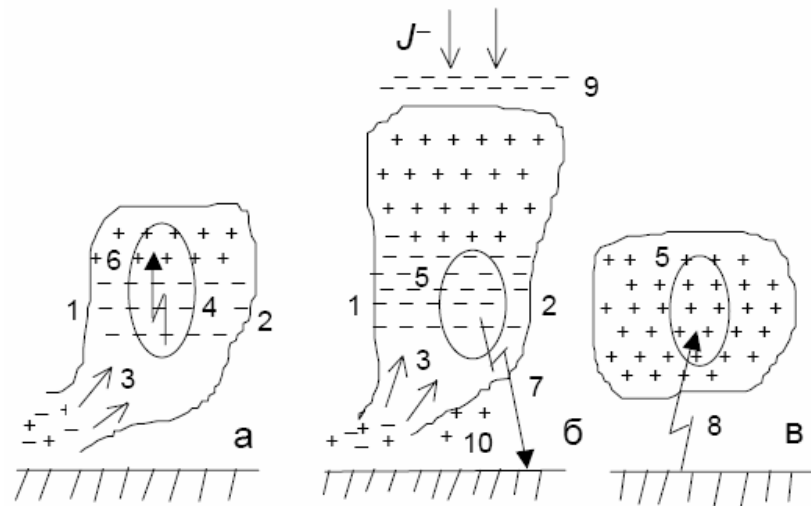


Рис. 2. Стадия зарождения (а), зрелости (б) и распада (в) грозового облака: 1 - область теплого фронта; 2 - область холодного фронта; 3 - восходящие потоки влажного ионизованного воздуха; 4 и 5 - области максимумов частиц широких атмосферных ливней (ШАЛ), рождаемых космическими частицами с энергиями $E > 10^{14}$ эВ и $E > 10^{15}$ эВ, соответственно; 6 - внутриоблачный молниевый разряд; 7, 8 - нисходящая и восходящая молнии; J - ток отрицательных ионов, текущий из ионосферы к вершине облака; 9 - экранирующий слой отрицательных ионов; 10 - положительный заряд у основания облака.

С течением времени образовавшийся в облаке электрический диполь с отрицательным объемным зарядом внизу и положительным наверху становится несимметричным по следующей причине. Под действием электрических зарядов диполя к вершине облака из атмосферы течет ток легких отрицательных ионов, а к основанию облака - ток положительных ионов (см. рис. 2б). Кроме того, из облака вверх в атмосферу уходят положительные заряды, на которых не сконденсировался пар.

В грозовом облаке происходит непрерывный рост как незамерзших, так и замерзших капель в результате процессов конденсации и сублимации водяного пара, а также процесса коагуляции. При этом капли тяжелеют и под действием силы тяжести начинают падать вниз, что приводит к появлению осадков и распаду облака.

В процессе оседания облака вместе с осадками из его нижней части уходит объемный отрицательный заряд, а на его место сверху приходит находящийся на гидрометеорах положительный заряд (см. рис. 2в). В результате между облаком и землей изменяется направление электрического поля. Это приводит к появлению восходящих молний, которые переносят отрицательный заряд с поверхности Земли в облако. Так же как и нисходящие молнии, они проходят по ионизованным следам ШАЛ, образуемым частицами с энергиями $E > 10^{15}$ эВ.

При выпадении осадков восходящие потоки влажного воздуха в облаке сильно ослабевают, а вместе с этим ослабевают и процессы генерации и разделения новых электрических зарядов. По этой причине восходящие молнии ликвидируют главным образом часть того положительного объемного заряда, который ранее образовался в верхней части облака. Оставшаяся в облаке часть заряда выпадает на поверхность Земли вместе с осадками или рассеивается в атмосфере. В связи с тем, что положительный электрический заряд, находящийся в верхней части облака, невелик, то количество восходящих молний, образуемых в грозовом облаке, во много раз меньше, чем нисходящих. Как известно из наблюдений, они составляют 10% от общего числа разрядов между облаком и Землей.

Приведем примеры, свидетельствующие о связи грозовой активности с космическими лучами.

В результате многолетних наблюдений атмосфериков (радиосигналов, порождаемых молниевыми разрядами) установлено, что *грозовая активность изменяется в противофазе с уровнем солнечной активности* в 11-летнем солнечном цикле, т.е. в фазе с изменениями потока космических лучей. В периоды минимума солнечной активности поток космических лучей в атмосфере максимален и грозовая активность максимальна, а в периоды максимума солнечной активности наоборот.

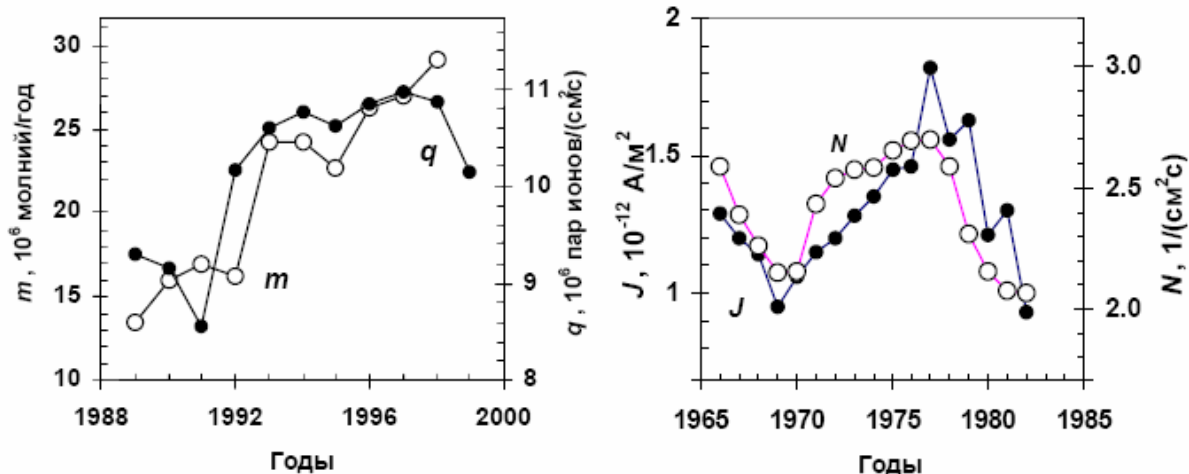


Рис. 3. Временные зависимости числа грозных разрядов m на всей территории США и скорости ионообразования q космическими лучами в столбе атмосферы в интервале высот $h = (2 - 10)$ км на средних широтах.

Рис. 4. Временные зависимости величины атмосферного тока J (темные кружки) и потока космических лучей N на средних широтах на $h \ll 22$ км (светлые кружки).

На рис. 3 приведен временной ход годового числа молниевых разрядов «облако-Земля», полученный по наземным наблюдениям грозовой активности на всей территории США и временной ход скорости образования ионов q потоком космических лучей в столбе воздуха от 2 до 10 км на средних широтах. Значения q были получены из данных регулярных измерений потоков заряженных частиц в атмосфере, проводимых Физическим институтом им. П.Н. Лебедева РАН. Коэффициент корреляции между этими кривыми равен $r(m, q) = +0.85 \pm 0.09$. Т.к. поток галактических космических лучей в 2000-2003 гг. был ниже, чем в 1999 г., скорость ионообразования q также была низкой, то можно ожидать, что число грозных разрядов m на территории США в этот период должно уменьшиться.

На величину тока «атмосфера - поверхность Земли» влияет электропроводность атмосферы. Последняя определяется концентрацией легких ионов, которая пропорциональна потоку космических лучей. Следовательно, должна существовать связь между атмосферным током J и потоком космических лучей N в атмосфере. Такая зависимость представлена на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что величины N и J изменяются в фазе друг с другом. Коэффициент корреляции между этими величинами равен $r(N, J) = +0.66 \pm 0.14$. Поток галактических космических лучей, падающих на границу атмосферы, постепенно уменьшается. Это приводит к уменьшению грозовой активности и уменьшению потенциала между поверхностью Земли и эквипотенциальным слоем в ионосфере. Было показано, что в течение 20 - го века градиент потенциала у поверхности Земли постепенно уменьшался. Этот факт свидетельствует о постепенном уменьшении грозовой активности.

Сравнивая рис 3 и 4, получаем: $m \sim q$ и $J \sim N$, учитывая, что q есть ничто иное, как N , мы можем полагать, что число гроз коррелирует с интенсивностью ГКЛ ($m \sim N$). С другой стороны, известна антикорреляция между числами Вольфа и ГКЛ: $W \sim 1/N$. Отсюда следует, что солнечная активность W должна бы находиться в противофазе с числом гроз? Однако, это совсем не так, следовательно, зависимость $m \sim q$ можно поставить под сомнение.

Поле E_z и грозы.

С другой стороны, неоднократные наблюдения АЭП показывают, что во время гроз его величина – уменьшается и даже меняет знак, в то время принято считать, что гроза – источник атмосферного электричества. В работе (Франк-Каменецкий и др. 2006) показано, что вклад грозных разрядов в АЭП ничтожен и не превышает 0.1 %. Обнаружено, что увеличение числа грозных разрядов ведет к уменьшению величины АЭП: $m \sim 1/J$.

Ежедневное количество гроз в целом, и их распределение по поверхности Земли значительно изменяется. Это говорит о том, что мирового центра гроз не существует. Можно выделить три региона грозовой активности (по убыванию интенсивности): 1 – Индонезийский, 2 – Бразильский, 3 – Африканский. Кроме этого, большое количество гроз происходит и в экваториальных областях мирового океана.

Итак, получается, что *изменения количества гроз в году антикоррелирует с изменениями АЭП ($m \sim 1/J$, где $J = E$)* в то время как, ещё А.Л. Чижевским и многими другими показано, что многолетний ход кривой частоты гроз и ход кривой числа солнечных пятен совпадают достаточно хорошо. Например, в качестве иллюстрации

приведем таблицу, в которой сравниваются числа Вольфа - W с годовым количеством гроз на Горном Алтае – m . (Дмитриев и др., 2002).

Таблица

годы:	1956	1964	1968	1976	1979	1987	1990	1998
W	142.6	27.6	91.4	36.5	114.0	41.3	118.9	28.6
m	340	218	341	270	349	184	231	147
$k = m/W$	2.38	7.89	3.73	7.39	3.06	4.45	1.95	5.13

Из таблицы следует, что в годы максимума солнечной активности, отношение числа гроз (m) к числу Вольфа (W) k принимает значения: $k(\max) = 2.7 \pm 1$, в годы минимума $k(\min) = 6.2 \pm 1.5$. Видно, что всегда: $m \sim W$, и никогда не наблюдается: $m \sim 1/W$. Отношения $W/W = 142.6/27.6 = 5.16$, $N/N = 349/147 = 2.37$. (Жирным цветом выделены годы солнечной активности). Зависимость интенсивности ГКЛ и чисел Вольфа от времени: $N(t) \sim 1/W(t)$, хорошо известна. Имеется достаточно много доказательств зависимости: $E(t) \sim N(t)$. Эти факты противоречат модели грозового источника АЭП. Кроме этого, отсюда следует, что $E(t) \sim N(t)$, причем, с другой $E(t) \sim 1/m$, отсюда получаем, что $m \sim 1/N(t)$, или $m \sim 1/q$, а не $m \sim q$, как это следует из рис. 3.

Этот результат ставит под сомнение определяющую роль ГКЛ в формировании гроз.

Спрайты

Обсуждая проблему атмосферного электричества и связи его с разрядами молний, нельзя не остановиться на недавно обнаруженном явлении электрических разрядов, аналогичных разрядам молний, но направленных не между облаками, и не с облаков на Землю, а вверх, к ионосфере и электросфере. Эти разряды получили название спрайтов (sprite, в переводе, - эльф). Первая информация о спрайтах относится к 1993 г. С тех пор наблюдается нарастающая лавина результатов их наблюдений. Например, летом 1996 г. 50 специалистов по атмосферному электричеству из США, Японии и Новой Зеландии провели наблюдения на метеостанциях, расположенных в Скалистых горах (США), и зарегистрировали 1127 случаев появления высотных молний. Кроме спрайтов, обнаруженных между 50 и 90 км и обладающих длительностью 0.001 с, похожие явления возникали на больших высотах и, более короткие, чем спрайты. Кроме этого, на существенно меньших высотах обнаружены светящиеся разряды, получившие название Blue Jets (синие струи). Синие струи, в отличие от спрайтов, исходят прямо из верхней части облака. Эти наблюдения были продолжены в 1997 и 1998 гг. с помощью специально изготовленного прибора, содержащего 10 фотоумножителей, направленных в различные участки неба. Были обнаружены очень короткие спрайты, длительностью не более 30 мкс, следующие через 150 мкс после разряда обычной молнии. Специалисты считают, что возникновение спрайта обязано возбуждению среды мощными радиоволнами, сопровождающими разряд молнии. Не исключено влияние частиц высокой энергии космического излучения на возникновение высотных молний.

Авторы (Sato, Fukunishi, 2003) провели наблюдение (регистрации ОНЧ, 1 – 100 Гц) за частотой появления спрайтов в период с 19.06.01 г. по 20.01.02 г. на двух обсерваториях Suowa в Антарктиде и Onagawa в Японии. Зарегистрировано 715 500 событий. Средняя частота появления спрайтов 720 событий в день. Спрайты локализованы в Северной и Южной Америке, Африке и Юго-восточной Азии.

Как выглядят спрайты и синие струи.

Спрайт - оптическое явление в мезосфере, развивающееся над грозовым облаком и достигающее высоты 90 км. Иногда влияние спрайта ощущается значительно выше 90 км, в E области ионосферы (рис. 20-24). Спрайты, чаще - красные, наиболее яркая часть их -

голова (66 - 74 км), выше - тонкие светящиеся линии - волосы. Под головой - темная полоска - воротник (ожерелье), ниже - усы, которые простираются до 40-50 км и меняют цвет от красного, до - голубого (внизу). Спрайты бывают одиночные, однако, - чаще бывают двойные и тройные. В поперечнике они достигают 40 км. Время жизни спрайтов порядка нескольких миллисекунд (Rairden, Mende, 1995), хотя наблюдаются и более короткоживущие разряды. Оптическая энергия спрайта составляет несколько килоджоулей, для серии спрайтов она, соответственно, больше (Sentman, Wescott, 1993; Sentman et al., 1995).

Синяя струя движется вверх со скоростью примерно 100 км/с, как хорошо сфокусированный пучок синего цвета, от вершины грозового облака до высоты порядка 50 км. Принято считать синие струи аналогом стримера, в виде ряда плазменных волокон (см. рис. 20-24), возникающих при электрическом пробое газового промежутка (Pasko et al., 1996; Sukhorukov et al., 1996). Материнское облако имеет, как правило, на верхней кромке положительный, а на нижней, - отрицательный заряды (см. рис. 20-24). В верхней части (голове) синей струи то же знак заряда положительный. Считается, что в струе происходит сепарирование зарядов таким образом, чтобы образовалось электрическое поле обратного знака атмосферному электрическому полю. Суммарный заряд синей струи составляет 300-400 кулон, размер по высоте - порядка 20 км, толщина струи порядка одного км, время существования струи около одной секунды.

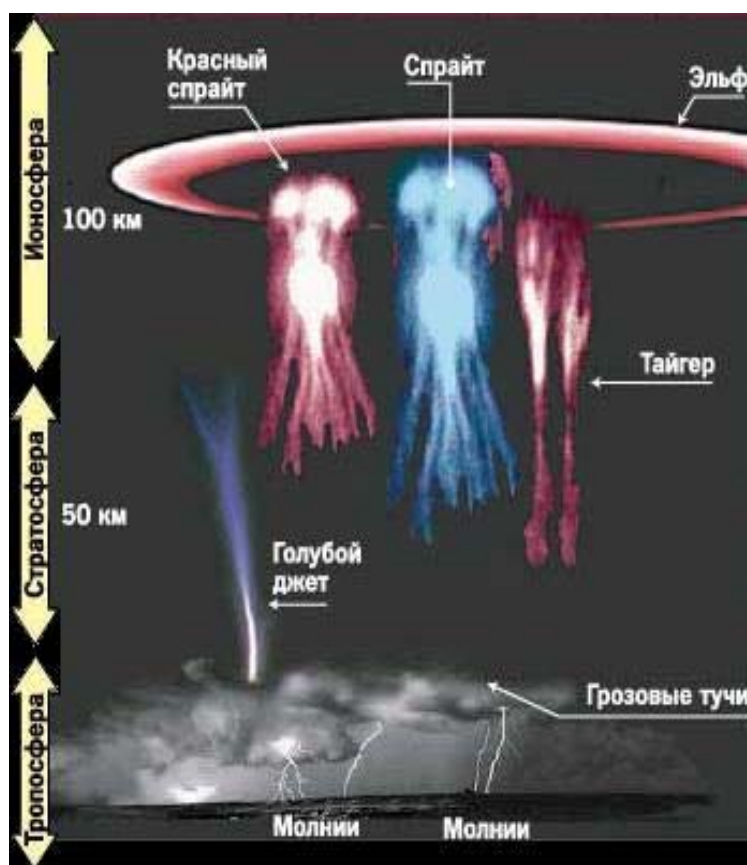


Рис. 5. Внешний вид спрайтов и голубых струй.

Спрайты как часть атмосферного электрического контура. Сотрудники лаборатории STAR Стенфордского Университета (научный руководитель U. Inan) считают, что наличие спрайтов изменяет параметры электрического контура верхней атмосферы (Pasko, et al., 1998). Согласно их модели, движущийся вверх спрайт, как бы

расположен между двумя “обкладками конденсатора” h_i и h_t , которые движутся вместе со спрайтом (рис. 6-а). Атмосферная проводимость $\sigma(h_i)$ увеличивается монотонно с высотой. Время процесса оценивается по формуле: $t = \varepsilon_0 / \sigma(h_i)$, где ε_0 - электрическая постоянная. Рис. 6-б показывает, как искажается атмосферное электрическое поле E_k в присутствии дополнительного заряда в 1000 кулон расположенного на высоте 10 км в свободном пространстве между двумя проводящими пластинами: Землей и ионосферой. Рисунок иллюстрирует распределение поля после разряда: на высоте ниже 50 км, $E < E_k$, а на больших высотах за счет влияния спрайта величина поля оказывается больше начальной E_k . Аналогичная ситуация наблюдается и с проводимостью. Кроме этого, в модели спрайта (Pasko, et al., 1998) рассмотрен возможный механизм генерации интенсивных радиоволн в диапазоне килогерц, связанный с разрядом молнии. Спрайт возникает примерно через 2-3 мсек после основного разряда. В зависимости от силы тока основного разряда, изменяющегося от 25 кА до 150 кА, меняется вклад спрайта в общую картину магнитного поля разряда молнии.

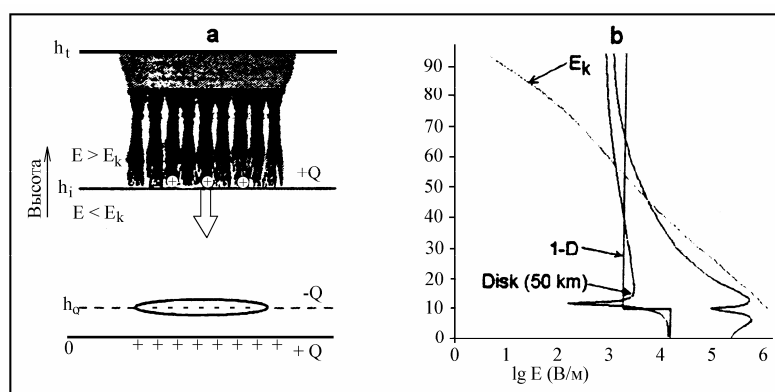


Рис. 6. Влияние спрайта на параметры электрического контура «Земля-ионосфера».

Оптические характеристики спрайтов и струй.

Зарегистрированное свечение спрайта соответствует спектру возбуждения молекулярного азота N_2 1P в диапазоне длин волн: 650-700 нм и 750, 770 нм. Выявлены все разрешенные переходы молекулярного азота, а также спектры N_2^+ . Аналогичная ситуация наблюдалась и при исследовании оптических характеристик синих струй. Здесь, так же как и в случае со спрайтами, основное излучение с длиной волны 391 нм соответствует возбуждению линий 1N и 2P молекулярного азота и иона азота N_2^+ (Hampton et al., 1996; Mende et al., 1995; Yukhimuk et al., 1998). Таким образом, различия в цвете между спрайтами и струями состоит в различии энергии электронов, участвующих в возбуждении свечения этих явлений.

Спрайты и источники низкочастотных радиоволн.

Спрайты связаны с источниками радиоволн, сопутствующих разряду молнии. Эти выводы базируются на серии экспериментов, проводимых различными группами физиков в различное время года, в различных районах США. Наблюдения за электромагнитным излучением, сопровождавшим спрайты, велось с помощью вертикально установленной антенны в виде токовой петли общей площадью 1.7 кв. м. Регистрировалась магнитная компонента колебаний в частотном диапазоне 24 кГц с помощью радиоприемника. Одновременно с борта самолета регистрировались спрайты и интенсивности световых вспышек молний (в кА). (Inan et al., 1995; Inan et al., 1996; Pasko et al., 1998). Природа возбуждения и распространения естественных электромагнитных импульсов в диапазоне единиц Гц - десятков килогерц распространяющихся в резонаторе Земля-ионосфера, применительно к проблеме выяснения роли электромагнитного излучения в физике спрайтов, изучалась в (Nickolaenko, Hayakawa, 1998). Авторы показали, что на

расстояниях от источника до приемника 1, 5, 10, 15 и 20 тыс. км, спектры сигналов в частотном диапазоне выше 40 Гц заметно различаются. На частотах т.н. Шумановского резонанса (4-20 Гц) эти различия не столь значительны. Изучалось изменение величины и формы импульса вертикального электрического поля на тех же расстояниях. Эти данные использовались при интерпретации явления спрайтов и струй.

Шаровая молния и другие долгоживущие светящиеся образования.

Литература, касающаяся различных моделей шаровой молнии (ШМ) огромна. Авторы работ, посвященных этой проблеме, предложили колоссальное количество всевозможных вариантов моделей и идей. Среди множества работ, опубликованных за последние годы, можно отметить широкое разнообразие вариантов внутреннего устройства шаровой молнии: от самых нелепых (Торчигин), до вполне правдоподобных (Аланиян, 2002; Григорян, 2002; Натяганов, 2003). Недавно появилось сообщение, что шаровую молнию устойчиво получают в результате импульсного электрического разряда в воде (Егоров и др. 2004). Этой проблемой занимались многие известные физики, в том числе и Нобелевский лауреат П.Л. Капица (1955), Б.В.Войцеховский (1974), Б.М. Смирнов (1988), С. Сингер (1973) и др. Однако все авторы работ, особенно опубликованных в последнее время, признают, что наиболее адекватная модель шаровой молнии предложена Стахановым (1973, 1996).



Две международные конференции по светящимся явлениям в атмосфере посвящены разным аспектам этой проблемы. Тем не менее, имеет смысл проанализировать их вместе, поскольку они дополняют друг друга, для понимания современного состояния исследований загадочных явлений в атмосфере. Первая из этих конференций, состоявшаяся в Зальцбурге, посвящена проблеме шаровой молнии, но по своему духу и характеру обсуждавшихся вопросов она заметно отличалась от международных симпозиумов по шаровой молнии, основной вопрос которых — что такое шаровая молния? В работе конференции наряду с физиками принимали участие специалисты технических профессий — электротехники и энергетики, а также представители гуманитарных профессий — журналисты, историки, психологи. Организатор и председатель оргкомитета этой конференции — профессор психологии Зальцбургского университета А.Keul. Состав участников конференции в большой степени определил ее характер. Название конференции "Vizotum-93" связано с одной из историй народного эпоса западной горной части Австрии. Эта история описывает огненный круг Vizotum, который по своему действию подобен дьяволу. Он не страшен тем, кто молится, а для других встреча с ним опасна. Такая участь постигла молодого трусливого пастуха, который исчез после встречи с красным огненным кругом — дьяволом, появившемся после звука, подобного удару грома. От пастуха осталась только его одежда.

Другой круг проблем конференции связан с существующими системами грозозащиты в Австрии и Германии. Опыт, накопленный персоналом, качественные фотографии линейных молний в момент пробоя представляют интерес и для анализа шаровой молнии, в том числе способов защиты от нее. Эти вопросы технического характера заняли определенное место на конференции. Фотографии линейной молнии дополнены интересными фотографиями четочной и шаровой молний. Центральное место среди них заняла фотография шаровой молнии, сделанная Burger Werner за два года до конференции в Австрийских Альпах. Эта фотография по сути дела стала эмблемой конференции. Определенное место на этой и следующей конференциях заняли проблемы исследования физики шаровой молнии и ее природы. Уровень докладов разный. Однако если современное состояние проблемы сравнить с началом международного сотрудничества по этой проблеме (началом правильнее было бы выбрать 1988 г., когда японский ученый Y. Ohtsuki организовал I международный симпозиум по шаровой молнии), прогресс в изучении шаровой молнии весьма заметен.

Проблема шаровой молнии находится на некотором этапе понимания, более выгодном, чем для некоторых других явлений свечения в атмосфере. Одно из них, которое названо явлением Хессдалена, составило основу второй из конференций. Хессдален — долина в средней части Норвегии. В долине имеется около 100 домов, длина долины 12 км, максимальная ширина 5 км, по ней протекает небольшая речка; высота гор, окружающих долину, примерно 1000 м над уровнем моря. С 1981 г. жители эпизодически наблюдали сильное свечение в темное время суток. Это свечение получило название "явление Хессдалена". Обычно оно бывает вечером, ночью и ранним утром, чаще всего осенью, зимой и ранней весной, т.е. в темные времена.

Наблюдаются три типа странных огней. Первый подобен яркому желтому шару или ядру, он может существовать в течение 1-2 часов, перемещаясь по долине и меняя свое место через 5-10 минут. Второй тип имеет яркий беловато-голубой цвет, временами он мерцает. Обычно он наблюдался над горами. Третий тип включает в себя несколько огней, связанных друг с другом. Огни Хессдалена стали появляться с конца 1981 г. и наблюдались несколько сот раз с 1981-го до 1984 г. Они стали исчезать в 1984 г., и в 1985 г. наблюдалось всего несколько случаев. Сейчас огни Хессдалена появляются редко — в зимний сезон 1993-1994 гг. зафиксировано около 30 событий.

В 1983 г. в Норвегии усилиями ученых-энтузиастов был создан "Хессдален-проект", целью которого было изучить это явление с использованием парка современных приборов. Эти приборы включали в себя видеокамеру с сеткой, инфракрасный датчик, спектральный анализатор, сейсмограф, магнитометр, радар, гелий-неоновый лазер, счетчик Гейгера-Мюллера. Проект включал в себя два периода измерений — январь— февраль 1984 г., в котором наблюдалось 53 случая свечения, и январь 1985 г., когда не было обнаружено ни одного случая свечения. Был получен ряд интересных результатов. Например, лазерный луч, направленный на светящийся объект, вызывает его двойную вспышку, радар обнаруживает светящийся объект как отражающий сигнал радара, что позволило оценить скорость светящегося объекта. Приведу еще один интересный результат. Однажды светящийся объект оставил след на снегу в виде спирали глубиной 2-3 см. Анализ следа показал количество бактерий в следе примерно в 100 раз меньшее, чем рядом со следом.



Свечения на американской станции в Антарктиде.



Рис. 7. Светящийся шар над Шанхаем

Проблема шаровой молнии находится в более продвинутом состоянии по сравнению с проблемой других долгоживущих светящихся явлений в атмосфере, поскольку в нее вложено больше усилий. Эта проблема является предметом научных исследований свыше 100 лет, и по ней опубликованы тысячи научных работ. С другой стороны, "Хесдален-проект" дает хороший пример подхода к такого типа проблемам, включая как комплексные измерения в рамках разработанной программы, так и привлечение интеллектуальных ценностей, полезных для этой программы.

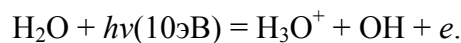
Преобладающее большинство авторов разнообразных идей, касающихся природы ШМ полагали её как объект электрический, состоящий из низкотемпературной плазмы, однако мало кто из них рассматривал физику ШМ в контексте природы атмосферного электричества и, более того, как один из её элементов. Автором предложена модель шаровой молнии на многочастичной квантовой запутанности (сайт: <http://www.vvkuz.ru/>).

Шаровая молния – как квантово-механическое явление в атмосферном электрическом поле

Шаровая молния (ШМ) – уникальное по многим параметрам природное явление. Во-первых, это явление намного опережает все остальные по количеству публикаций. Во-вторых, несмотря на огромное число исследований, оно остается до сих пор не понятным. В-третьих, и в самом главном, это явление, оставаясь в мире классической физики, объяснить - просто невозможно. Для того чтобы понять природу ШМ остается единственный возможный путь - рассмотреть физику ШМ с позиций и достижений квантовой механики. В этой работе предложена модель, в которой свойства ШМ объясняются в контексте нелокальной многочастичной квантовой запутанности (переплетения, сцепленности - entanglement) на протонах водородных связей (ВС) водных кластеров, при воздействии на них ударом молнии или другого воздействия, например, электрическим разрядом. Водородные связи (ВС), входящие в состав водных кластеров, обладают т.н. кооперативными свойствами. Смысл этого свойства состоит в том, что все ВС, находящиеся в квантово запутанном состоянии, - ведут себя как один кластер. Изменение квантового состояния (например, разрушение ВС) одного – мгновенно сказывается на всех остальных, с ним «запутанных». Разрушение ВС приводит к

появлению не спаренных электронов, избыток которых в атмосферном электрическом поле, - приводит ШМ к левитации. Это свойство, как и другие, ниже перечисленные, обеспечивают ШМ все наблюдаемые особенности, такие как компактность, свечение, акустическое и электромагнитное излучение, способность проникать через микронные отверстия, сохранять «живучесть» на временах от нескольких секунд до минуты, взрываться или угасать без взрыва и т.п.

Приведем несколько элементарных оценок параметров ШМ. Примем энергию ШМ равной $1 \text{ МДж} = 10^{25} \text{ эВ}$. Примем, что разрыв одной ВС сопровождается выделением (поглощением) энергии $\approx 10 \text{ эВ}$. Следовательно, в ШМ должно быть 10^{24} ВС, а т.к. в каждой молекуле воды 4 ВС, то всего молекул $2.5 \cdot 10^{23}$. Вес молекулы $2 \cdot 10^{-23} \text{ г}$, тогда вес воды в ШМ $m = 5 \text{ г}$. Такая «капля» упадет на землю. Удержать её в плавучем состоянии может только атмосферное электрическое поле (АЭП), равное $E = 100 \text{ В/м}$ и выполнение очевидного условия: $mg = eZE$, отсюда величина $Z = 2.5 \cdot 10^{15}$ элементарных зарядов. Электроны в ШМ образуются при реакции разрушения ВС:



Количество водородных связей $= 10^{24}$, следовательно, количество элементарных зарядов при полном разложении воды ШМ будет такое же. Заметим, что комплексы $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_n$ – сравнительно стабильны, время жизни их достигает 10 минут.

Зная вес воды в ШМ, подсчитаем удельный вес вещества ШМ. Он оказывается $= 5 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$, плотность водяного пара при комнатной температуре $\approx 0.02 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$, т.е. в 250 раз ниже, плотность льда чуть меньше чем 1 г/см^3 , что выше плотности ШМ примерно в 200 раз выше. Таким образом, вещество «нашей» ШМ находится, по плотности, между водяным паром и льдом. Так как, по модели, вещество ШМ полностью «укомплектовано» ВС (как у льда), а в водяном паре ВС практически нет, то существование такого вещества, в принципе возможно, но только в нестабильном, релаксирующем состоянии. По крайней мере, такое состояние можно допустить. По-видимому, подобное может образоваться при очень быстрой деструкции льда (или талой воды), затем оно быстро релаксирует к стабильному состоянию, превращаясь либо в воду, либо в пар. В принципе, известно, что плотность вещества, обладающего ВС, меняется в тот момент, когда происходит декогеренция квантово запутанных ВС. Правда, в этой работе речь идет не о воде, а о минерале содержащем ВС – калисините.

ШМ светится примерно с той же интенсивностью, что и 100-ватная лампочка. В излучение уходит примерно 1%, или $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с} \approx 10^{19}$ квантов в сек. Плотность потока квантов $dN/dt = 10^{19}/V = 10^{16} \text{ см}^{-3}\text{с}^{-1}$ (V - объем ШМ). Предположим, что излучение ШМ имеет рекомбинационный характер, и квант света энергией 1 эВ обязан рекомбинации одного электрона с ионом. Примем величину коэффициента рекомбинации $\alpha = 10^{-6} \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$. Зная её величину, можно оценить концентрацию электронов и ионов, необходимую для получения необходимого количества квантов. Приравняем $dN/dt = \alpha n^2$, n - концентрация ионов-электронов $= 10^{11} \text{ см}^{-3}$. Тогда в объеме ШМ должно постоянно находиться 10^{14} электронов, что составляет примерно 1/25 от полного их числа, равного $Z = 2.5 \cdot 10^{15}$. Следовательно, в нашей модели ШМ в излучение за счет рекомбинации электронов уходит всего 4% от их количества, необходимого для поддержания «плавучести» ШМ. Как известно, ШМ издает шипящие звуки и генерирует электромагнитные волны. Подобные явления хорошо изучены и известны при образовании и разрушении ВС льда и воды. В одной из работ измерялась акустическая эмиссия (АЭ) в тающем льду, обнаружено, что по мере его таяния длительность сигналов АЭ возрастает, а мощность сигналов - падает. Авторы обнаружили наличие АЭ и в талой воде. По мере дальнейшего нагревания воды - сигналы АЭ исчезают. Как известно, лед от воды отличается количеством упорядоченных водородных связей – других отличий нет. Количество

водородных связей (ВС) уменьшается по мере плавления льда и нагрева воды. В талой воде ВС меньше чем во льду, но больше, чем в обычной воде. Есть все основания полагать, что АЭ в этом эксперименте связана с разрушением ВС. Генерация АЭ происходит не только при таянии льда, но и при его росте. Упомянем так же, что и при кристаллизации воды, и росте льда, а так же при его разрушении, - наблюдаются электромагнитные импульсы, схожие по форме с импульсами АЭ. Всё это говорит о том, что образование и разрушение ВС в ШМ может быть причиной акустической и электромагнитной эмиссии, регистрируемой в экспериментах и наблюдениях.

ШМ представляет собой шар, форма которого может измениться, например, при прохождении ШМ небольших отверстий в стекле, т.е., иначе, ШМ обладает, как и капля воды, поверхностным натяжением (ПН). Принципиальное отличие ПН вещества ШМ от ПН воды состоит в том, что в случае воды ПН обьязано действию сил т.н. ближнего порядка, иначе, взаимодействия между собой «соседних» молекул (кластеров). В случае квантовой запутанности вещества ШМ, молекулы (кластеры) воды взаимодействуют «каждый со всеми», аналогично силам гравитации. В этом случае, как принято говорить, действующие силы обладают дальним порядком.

Порядок величины поверхностного натяжения σ ШМ оценим по формуле Лапласа, в которой оно связывается с дополнительным капиллярным давлением Δp и отверстием капилляра r : $\Delta p = 2\sigma/r$, где для $\Delta p = 1 \text{ бар} = 10^6 \text{ дин/см}^2$ и $r = 100 \text{ \AA}$, поверхностное натяжение ШМ: $\sigma \approx 1 \text{ дин/см}$, что примерно в 100 раз меньше чем у воды. Другой способ оценки ПН состоит в использовании той же формулы Лапласа, но с учетом локальных отклонений ШМ от сферической формы, которые не превышают 1 см, что составляет одну миллионную часть от высоты атмосферного «столба». Тогда, величина Δp ($\sim 1 \text{ см}$) $\approx 1 \text{ дин/см}^2$. При выполнении этих условий поверхностное натяжение ШМ $\alpha \approx \Delta p \cdot r = 1 \text{ дин/см}$. Подтверждением такого способа оценки величины σ может быть информация о том, что жидкая вода может проникать (без дополнительного давления) через отверстие в 100 раз большее, равное $\sim 1 \text{ мкм}$. Известно, что жидкая вода, состоящая из агрегированных молекул, связанных между собой водородными связями, так называемых ассоциатов, не способна проникать в межфазную систему полимеров с отверстиями примерно такого размера.

Как известно, ШМ – прозрачна, т.е. пропускает дневной свет. Когда ШМ исчезает без взрыва, остается небольшое облачко пара. В отличие от тумана, в котором радиус капель обычно колеблется от 1 до 60 мкм, в ШМ, по нашей модели, кластеры имеют существенно меньший размер, что и обеспечивает её прозрачность.

Скажем несколько слов о водородных связях (ВС). ВС - особый вид связи, возникающий за счет того, что атом водорода, связанный с сильно электроотрицательным элементом (азотом, кислородом, фтором и др.), испытывает недостаток электронов и поэтому способен взаимодействовать с не поделенной парой электронов другого электроотрицательного атома этой же или другой молекулы. ВС - разновидность невалентного взаимодействия между атомом Н, ковалентно связанным с атомом А группы А-Н молекулы RA-Н и электроотрицательным атомом В другой молекулы. Наличие водородных связей и их кооперативные свойства, в частности, в воде приводит к тому, что её свойства изменяются в зависимости от количества ВС. Так, например, во льду ВС много, их количество уменьшается по мере того, как лед тает. В талой воде ВС – меньше, ещё меньше их в нагретой воде и практически нет – в воде кипящей. Если бы вода полностью лишилась возможности образовывать ВС, то превратилась бы в пар, конденсирующийся в жидкость при $-100 \text{ }^\circ\text{C}$. ВС присутствуют не только в воде, но и в литосфере, определяя её особые свойства [10]. Природа водородной связи состоит в том, что электронная плотность на линии Н...О (N, F и т.п.) смещается к отрицательному атому. Это способствует сближению электронов отрицательных атомов соседних молекул.

В результате расстояния O - O, O - N и т.п. становятся значительно меньше чем они были бы без атома Н.

Согласно нашей модели – ШМ объект квантовой механики. Возникает вопрос, насколько свежа и оригинальна эта идея. Надо сказать, что известны две попытки привлечь квантовую механику для объяснения некоторых особенностей ШМ. Одна из них была предпринята в 1937 году. В этой работе исследовалось существование плазменного шара, целиком состоящего из свободных электронов и положительных ионов, и был выполнен расчет его температуры. При этом число электронов и положительных ионов считалось равным, так что условие квазинейтральности плазмы соблюдалось как в малых элементах объема, так и в целом для всего шара. Кроме того, предполагалось, что плазма сформировалась в воздухе и, следовательно, ее плотность была эквивалентна плотности окружающего воздуха.

Выполненный с помощью квантово-механического подхода анализ показал, что ионизованная масса газа может находиться в метастабильном состоянии. Связь в единое целое могла бы обеспечиваться за счет сил обменного взаимодействия в электронном газе. Энергия обменного взаимодействия электронов имеет чисто квантовую природу и характеризует слабые силы притяжения между электронами с противоположно направленными спинами. Обычные силы электростатического отталкивания между электронами могли быть уравновешены за счет влияния положительных ионов, вкрапленных в электронный газ. Автор этой работы пренебрег энергией поляризации ввиду ее малости по сравнению с энергией обменного взаимодействия. Таким образом, преобладающий вклад в силы сцепления для квазиравновесной плазмы с температурой T вносят силы межэлектронного обменного взаимодействия.

В другой работе разработана модель шаровой молнии, основанная на квантовых осцилляциях электронного газа в плазме. Были получены решения уравнения Шредингера, которые описывают устойчивые, сферически симметричные осцилляции электронов. Таким образом, в рамках предложенного описания данного природного явления сферическая форма молнии получается автоматически. Одной из характерных особенностей этой модели является тот факт, что в центральной области, где наблюдаются наиболее интенсивные осцилляции электронов, предсказывается повышение статической плотности ионного газа. Авторами данной работы высказывается предположение, что предложенный механизм способен инициировать микродозовую термоядерную реакцию, которая может служить внутренним источником энергии шаровой молнии. Заметим, что наряду с повышением плотности предсказывается повышение температуры вещества в центральной области молнии. Этим можно объяснить возникновение микроскопических отверстий с оплавленными краями при прохождении шаровой молнии сквозь стекло. Также в данном исследовании предпринята попытка объяснить и ряд других наблюдаемых свойств этого загадочного природного явления.

Обе попытки оказались безуспешными. Дело было в том, что квантовая механика в те годы ещё широко не овладела достижениями в области квантовой запутанности, квантовой телепортации и декогеренции. Эти успехи были достигнуты уже в течение нашего, нового века. Наша модель ШМ построена на этих самых «трех китах»: многочастичной квантовой запутанности возникающей в талой воде при воздействии на неё линейной молнии. При этом запутанность реализуется за счет телепортации квантового состояния протонов ВС в некотором объеме среды. ШМ прекращает свое существование за счет протекания процесса квантовой декогеренции, возвращающей ШМ из квантового мира в мир классический.

Воспользуемся подходом к декогеренции, развитым Войцехом Зуреком из Лос-Аламосской национальной лаборатории. Он показывает, что специфический пример декогеренции - частица в точке x , взаимодействующая со скалярным полем ϕ (которое

может рассматриваться как набор гармонических осцилляторов), что описывается Гамильтонианом

$$H_{int} = \epsilon x d\phi/dt.$$

В этом случае матрица плотности $\rho(x, x')$ частицы в заданной точке эволюционирует согласно основному уравнению:

$$\dot{\rho} = \underbrace{-\frac{i}{\hbar} [H, \rho]}_{\dot{p} = -\text{FORCE} = \nabla V} \quad - \quad \underbrace{\gamma(x-x') \left(\frac{\partial}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x'} \right) \rho}_{\dot{p} = -\gamma p} \quad - \quad \underbrace{\frac{2m\gamma k_B T}{\hbar^2} (x-x')^2 \rho}_{\text{Classical Phase Space}}.$$

где H - Гамильтониан частицы (независимый от потенциала $V(x)$, который учитывается членом H_{int}), γ – коэффициент релаксации, k_B – постоянная Больцмана, а T – температура поля. Это уравнение в первом приближении точно соответствует уравнению Шредингера для частицы в поле и поэтому отображает степени свободы поля.

Уравнение естественным образом разделяется на три слагаемых, каждое из которых отвечает за различный аспект эффективного поведения в классическом случае. Первое слагаемое - уравнение фон Неймана (которое может быть выведено из уравнения Шредингера) - порождает классическую обратимую эволюцию ожидаемого значения некоторой наблюдаемой, что имеет классический аналог для ρ (теорема Эренфеста). Второе слагаемое приводит к диссипации. Коэффициент релаксации $\gamma = \eta/2m$ пропорционален вязкости $\eta = \epsilon^2/2$, вызванной взаимодействием со скалярным полем. Это взаимодействие уменьшает средний импульс и ведет к потере энергии. Последнее слагаемое также имеет классический аналог: оно ответственно за флуктуации, или случайные "толчки", приводящие к броуновскому движению.

Для наших целей влияние последнего слагаемого на квантовую суперпозицию представляет наибольший интерес. Оно разрушает квантовую когеренцию, удаляя недиагональные члены, отвечающие за квантовые корреляции между пространственно разделенными частями волнового пакета. Следовательно, оно ответственно за классическую структуру фазового пространства, поскольку оно преобразует суперпозиции в смеси локализованных волновых пакетов и, в классическом пределе – в хорошо знакомые точки фазового пространства.

Привычные представления о квантовых процессах в веществе обязывают его находиться при нулевых Кельвинах. Сегодня доказано теоретически и подтверждено экспериментально, что квантовые процессы, в частности и квантовая запутанность, происходят при комнатной и более высокой температуре.

Физика возникновения в среде многочастичной квантовой запутанности (МКЗ) сегодня практически не известна. В ряде экспериментов эффект достигается, например, при облучении вещества излучением лазера, в других случаях использовался ускоритель заряженных частиц, облучение электромагнитными волнами и т.п.

Корни МКЗ исходят из известного уравнения Гейзенберга и принципа нелокальности, парадокса Эйнштейна-Подольского-Розена (ЭПР), «кота Шредингера», неравенств Белла и экспериментов Аспекта. Наиболее известный «продукт» МКЗ – это лазер, менее известны пучок квантовозапутанных атомов водорода в мазере и, вообще, квантовая оптика. Сформировалась как наука квантовая химия. В последние годы идеи МКЗ усиленно развивались в биологии, в частности, удалось показать, что устойчивость ДНК обязана квантовым процессам. В стадии становления находится квантовая биология. На очереди внедрение МКЗ в физику Земли. В этой науке очень много явлений, необъяснимых с точки зрения классической физики. Перечислим такие явления как землетрясения [10], вулканы, торнадо, алмазные трубки взрыва и т.п. В их числе

находится, естественно, и шаровая молния. Вполне возможно, что решение этих проблем позволит придать особый статус такой науке как «квантовая физика Земли». Вероятнее всего, теорию этих явлений удастся создать лишь после того, как будет сформулирована теория МКЗ, квантовой телепортации и декогеренции. Ситуация не безнадежна, т.к. без решения этих проблем, невозможно создание квантового компьютера, а научное сообщество решит эту проблему непременно.

Линейная молния

Линейная молния изучается с начала опытов М.В.Ломоносова, Г.В.Рихмана и Б.Франклина. Тем не менее, проблема инициации молниевых разрядов остается одной из наиболее острых и объединяет целый комплекс вопросов. Основной вопрос заключается в несоответствии измеренных величин напряженности электрического поля в грозовом облаке и порогом начала пробоя и формирования лидера молнии. Не находит объяснения и вопрос о том, как слабом поле развивается лавина быстрых (так называемых убегающих) электронов с энергией порядка 1 МэВ. Возможный путь объяснения этих явлений состоит в проявлении в облаке МКЗ.

Свечение атмосферы

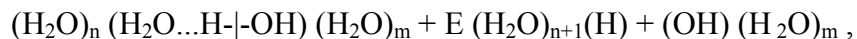
Свечение неба накануне сильного землетрясения - известный факт. Приведем несколько примеров. В канун землетрясения 1855 года в Эдо ($M = 6,9$) в море вышла группа из 19 человек. Незадолго до первого толчка люди вдруг заметили свечение неба на северо-востоке. Оно было таким ярким, что не составляло труда отчетливо рассмотреть цветные узоры на одежде. Вскоре после свечения из-под воды послышался страшный рев и тут же яркое пламя, сопровождаемое разными звуками, охватило все небо. В течение нескольких ночей перед наиболее сильным толчком землетрясения 1703 года ($M = 8.2$) в Гэнроку (Япония) очевидцы наблюдали свечение воздуха. Землетрясение 1927 года в Крыму примечательно световыми эффектами в виде огненных столбов, поднявшихся над морем. Напротив мыса Лукулл эти столбы вознеслись на высоту около 500 м. То же было во время ашхабадской трагедии 5 октября 1948 года ($M = 7,6$). Перед ташкентским землетрясением 26 апреля 1966 года ($M = 5$), по данным некоторых жителей, все небо над эпицентром также светилось. Зарево белесовато-розового цвета, напоминающая рассеянный свет молний, наблюдалось над городом за несколько часов до толчка.

Совсем недавно (04.09.2010) «светящееся (рис. 8) землетрясение ($M = 7.1$) произошло в Новой Зеландии, в 40 км от г. Christchurch.

Известны также случаи свечения моря. Эти случаи наблюдатели обычно связывают с цунами, что вполне естественно, т.к. главная опасность землетрясения на море – цунами.

Попытаемся найти возможный механизм свечения атмосферы. Будем полагать, что в атмосфере могут происходить явления многочастичной квантовой запутанности на протонах водородных связей в водных аэрозолях.

Предположим, что разрушение водородных связей в капле воды, находящейся в атмосфере происходит по схеме, предложенной Домрачевым и Селивановским, которые сформулировали гипотезу о существовании механохимических реакций радикальной диссоциации воды. Авторы исходили из того, что жидкая вода представляет собой динамически нестабильную полимерную систему и что по аналогии с механохимическими реакциями в полимерах при механических воздействиях на воду поглощенная водой энергия, необходимая для разрыва водородной (Н-ОН) связи, локализуется в микромасштабной области структуры жидкой воды. Реакцию разрыва Н-ОН связи можно записать так:



где «E» обозначает не спаренный электрон.



Рис. 8. Свечение неба незадолго до сильного ($M = 7.1$) землетрясения в Новой Зеландии.

Поскольку диссоциация молекул воды и реакции с участием радикалов Н и ОН происходит в ассоциированном состоянии жидкой воды, радикалы могут иметь громадные (десятки секунд и более) продолжительности жизни до гибели в результате реакций рекомбинации [Blough et al., 1990]. Предположения Домрачева и Селивановского о возможности механодиссоциации воды полностью подтвердились в эксперименте.

Рассчитав эффективность механодиссоциации воды, авторы пришли к чрезвычайно важному выводу о происхождении в атмосфере Земли кислорода, связав его с диссоциацией воды. Если это так, то доминирующая ныне догма о том, что кислород атмосферы исключительно продукт биологического фотосинтеза несостоятельна.

Нас будет интересовать вопрос о том, какую роль может играть свободный электрон, образовавшийся при разрушении водородной связи. Если плотность водяного пара и окружающего воздуха достаточно велика, а длина пробега электрона очень мала, то он, скорее всего, окажется очередным ядром конденсации, что приведет к увеличению скорости конденсации и образованию водных аэрозолей и капель и, в конечном счете, - облаков. Если явление возникновения электрона произойдет в ионосфере, где его пробег достаточно велик, то он, взаимодействия с электромагнитной волной может ускориться и приобрести энергию в несколько кэВ и даже МэВ. Можно допустить, что спутники и космические аппараты регистрировали именно такие электроны. Выясним, что же может говорить в пользу этой модели. Согласно принятой модели, появление дополнительных электронов в атмосфере и ионосфере возникает за счет выпадения их из радиационных поясов. Однако максимальный поток электронов в магнитосфере приходится на высоту 2300 км ($L = 1,35$) (см. рис. 9), а совсем не на нижнюю границу внутреннего радиационного пояса (4000 км, $L = 3$), как это следовало бы из принятой модели. Ускорение электронов возможно в электромагнитной волне ОНЧ, генерируемой верхней частью литосферы при подготовке землетрясения. При этом поток электронов может распространяться вдоль силовой линии геомагнитного поля как вверх, так и вниз. В последнем случае такой поток может вызывать в среде насыщенной водным аэрозолем (в облаках) свечение (например, черенковское).

Свечение атмосферы перед землетрясением неоднократно наблюдалось и этот факт не подвергается сомнению. Объяснения он не имеет. Атмосфера светится с интенсивностью, сравнимой со светом шаровой молнии (ШМ). Принято считать, что ШМ светится примерно с той же интенсивностью, что и 100-ватная лампочка, а в излучение уходит примерно 1%, или $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с} \approx 10^{19}$ квантов в сек. Плотность потока квантов $dN/dt = 10^{19}/V = 10^{16} \text{ см}^{-3} \text{ с}^{-1}$ (V – объем светящейся ШМ $\approx 10^3 \text{ см}^3$). Предположим, что излучение атмосферы, как и ШМ имеет рекомбинационный характер, и квант света

энергией ≈ 1 эВ обязан рекомбинации одного электрона с ионом. Примем величину коэффициента рекомбинации $\alpha = 10^{-6} \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$. Зная её величину, можно оценить концентрацию электронов и ионов, необходимую для получения необходимого количества квантов. Приравняем $dN/dt = \alpha n^2$, n - концентрация ионов-электронов = 10^{11} см^{-3} , что вполне правдоподобно, если учесть концентрацию воды в атмосфере и количество разрушающихся ВС при квантовой запутанности литосферы и водных кластеров атмосферы.

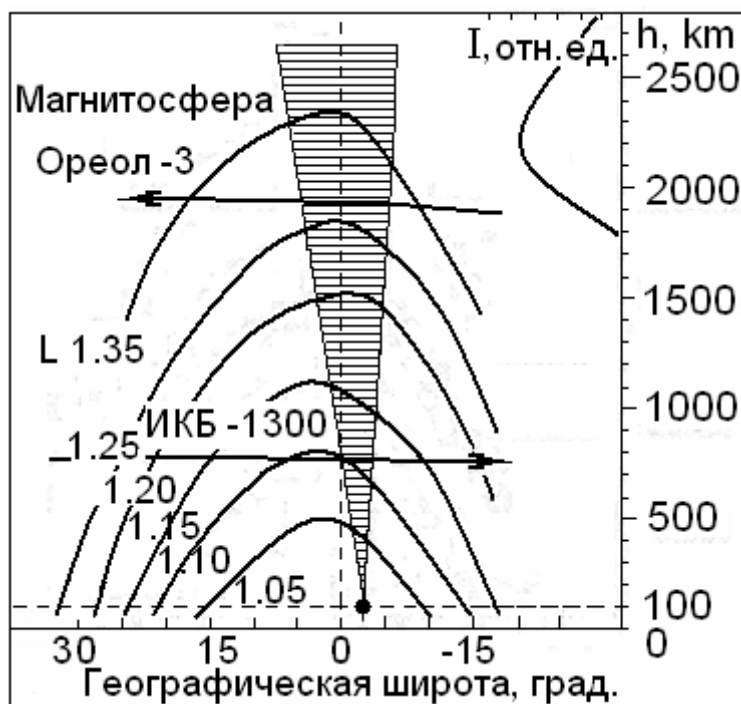


Рис. 9. Проекция орбит спутников «Ореол-3» и «Интеркосмос-Болгария» (ИКБ-1300) в координатах: « $h - \varphi$ » в плоскости магнитного меридиана. Кривые $L(h, \varphi)$ – параметр Мак-Илвайна, точкой обозначена проекция эпицентра землетрясения на высоту 100 км. Величина I показывает распределение интенсивности жестких электронов по высоте. Область, выделенная штриховкой – сейсмо-ионосферные шумы.

Если допустить, что интенсивность разрушения ВС в атмосфере значительно ниже чем при её свечении, то неспаренные электроны, образующиеся при разрушении ВС, могут служить ядрами конденсации и приводить к интенсивному образованию облаков, что и наблюдается над разломами в период подготовки землетрясения.

Если предположить, что квантовой запутанности подверглись ВС водных кластеров стратосферы, то реакция их разрушения: $\text{H}_2\text{O} + h\nu(10\text{эВ}) = \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH} + e$. Ведет не только к образованию электронов, но и ионов гидроксония H_3O^+ . Эти ионы, по модели атмосферного электрического поля (АЭП), поднимаются до высоты верхней кромки «электросферы» (90 км), где формируют положительно заряженный слой – верхнюю обкладку конденсатора Земля-ионосфера. При попадании их в этот слой, величина АЭП возрастает. По-видимому, это возрастание регистрируется при возмущении АЭП перед землетрясением. Случай изменения АЭП перед землетрясением на Суматре и регистрации его в Италии ещё раз подтверждает, что квантовая запутанность окружения возникает избирательно по месту и на огромном расстоянии от очага.