

Шаровая молния – как квантовомеханическое явление в атмосферном электрическом поле

В.В.Кузнецов

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН,
Новосибирск, 630090, Россия.*

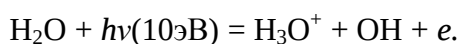
ikir@academ.org

(Получена 27 апреля 2011; опубликована 15 июля 2011)

Шаровая молния (ШМ) – уникальное по многим параметрам природное явление. Во-первых, это явление намного опережает все остальные по количеству публикаций [1-5]. Во-вторых, несмотря на огромное число исследований, оно остается до сих пор не понятым. 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, по данным [6], 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 [7]. 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 [2]. 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 [8, 9]. В работе [8] 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 [9]. 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 обязано 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 $\Delta p = 1$ бар = 10^6 дин/см² и $r = 100$ Å, поверхностное натяжение ШМ: $\sigma \approx 1$ 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 (~ 1 см) ≈ 1 дин/см². При выполнении этих условий поверхностное натяжение ШМ $\alpha \approx \Delta p \cdot r = 1$ 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 ~ 1 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-H 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 О - О, О - 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 [11] 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 работы [11] 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 [12] 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 [13].

Воспользуемся подходом к декогеренции, развитым Войцехом Зуреком из Лос-Аламосской национальной лаборатории [13]. 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

$$H_{int} = ex \, d\phi/dt.$$

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

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

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 $\eta = \varepsilon^2/2$, 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 [14] и подтверждено экспериментально [15], 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.

Литература

1. Капица П.Л. // ДАН СССР. 1955. Т. 101. № 2. С. 245-248.
2. Стаханов И.П. О физической Природе шаровой молнии. М.: Научный мир. 1996. 264 с.
3. Смирнов Б.М. // УФН. 1990. Т. 160. Вып. 4. С. 1-45.
4. Stenhoff M. Ball lightning: an unsolved problem in atmospheric physics. Kluwer Academic. NY. 1999. 353 p.
5. Барри Дж. Шаровая и четочная молния М.: Мир. 1983. 287 с.
6. Скрыбин Н. Г.. Возможный физико-химический усилительный механизм солнечно-земных связей // Препринт ИКФИА ЯФ СОАН 1980 г.
<http://www.kosmofizika.ru/papers/skriabin.htm>
7. Allan D.R., Marshall W.G., Pulham C.R. // American Mineralogist. 2007. V. 92. P.1018-1025.
8. Кузнецов Д.М., Смирнов А.Н., Сыроешкин А.В. // Рос. хим. ж. 2008. Т. 52. № 1. С. 114-121.
9. Берри Б.Л., Григоров Н.О., Качурин Л.Г. и др. Электромагнитные процессы при кристаллизации воды и разрушении льда // Пробл. техн. гляциологии. Новосибирск, 1986. С.24-32.
10. Кузнецов В.В. О возможности возникновения ударной волны в результате квантовых эффектов на протонах водородных связей в горных породах // Сб. ИГиЛ «Динамика сплошной среды». 2010. Вып. 126. С. 87-93.
11. Neugebauer T. // Zeit. Physik, 1937.V.106: P.474-484.
12. Dvornikov M., Dvornikov S., Electron gas oscillations in plasma. Theory and applications, in Advances in Plasma Physics Research, V. 5, ed. by Francois Gerard, NY, 2007. P. 197—212.
13. Zurek W.H. // Rev. Mod. Phys 2003. V. 75. N. 3. P. 715-775.
14. Богданов А.Ю.. Богданов Ю.И., Валиев К.А. // Оптика и спектроскопия. 2007. Т. 103. №. 1. С. 36-43.
15. Vedral V. // Journal of Physics: Conference Series. 2009. V. 143. doi:10.1088/1742-6596/143/1/012010