

ВОДА → БОЛИДЫ И ШАРОВЫЕ МОЛНИИ

Резников В.А.

С-ПбГУ, E-mail: V.Reznikov@pobox.spbu.ru

Атмосферное явление, именуемое шаровой молнией (ШМ) феноменологически характеризуются как "...проводящая среда с плотностью воздуха, обладающая устойчивой фазовой границей, близкой к комнатной температурой, ... и низкой работой выхода..." [1].

Для более полной характеристики к этому можно добавить:

а. свечение близко к сплошному спектру холодной плазмы или излучению черного тела "...свет шаровой молнии сравним с излучением электролампы средней мощности...", электромагнитное излучение ШМ регистрируется также в высокочастотном радиодиапазоне,

в. прохождение через диэлектрики по механизму расплава при размерах области расплава существенно меньше размеров области свечения,

с. при контакте с материалами с низкой температурой возгорания оно возможно лишь при наличии искровых выбросов или взрывном разрушении ШМ,

д. обычное воздействие на живые объекты по типу электростатических зарядов: "...когда шар пролетал над головой вздыбились волосы ...", но при разрушении ШМ возможны токовые поражения и ожоги кислотного типа,

е. втягивание в проход по механизму течения жидкости через отверстие (топология гибких оболочек) "...в щель переливался оранжевый шарик...",

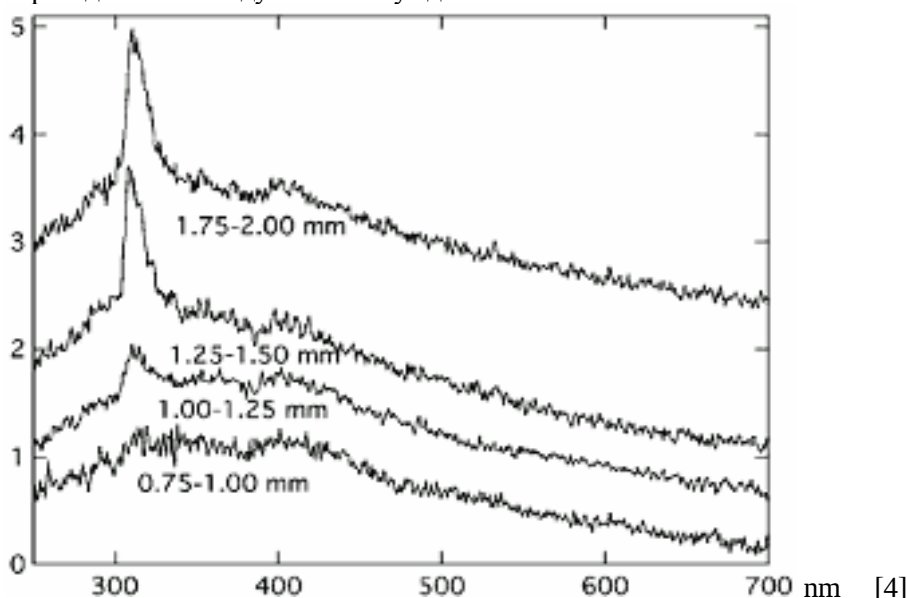
ж. проникновение и прохождение через металлические предметы "... шар возник из оголенного провода ...". Контакт с металлами часто сопровождается взрывным разрушением ШМ.

Диффузия через диэлектрики известна для водорода и в меньшей степени возможна для гелия. Молекулярный водород растворяется в некоторых металлах и это свойство распространяется на Н-плазму. Накопление водорода возможно в металлах с низкой энергией сродства атомов к электрону ($E_a M < E_a H^\circ$) и относительно большой энергией М-Н связи (Al, Cd, Ni, Ti, Fe, Zn, Mg) [2]. Разрушение гидрированного металла - следствие увеличения концентрации электронных ловушек: "...после контакта светящегося шара с металлической поверхностью на ней осталась лунка, металл как-бы испарился...". В меди ($E_a = 1,23$ эВ) более вероятна диффузия носителей тока "...при попадании ШМ в репродуктор сгорела обмотка катушек...". Быстрая диффузия в металлах возможна при динамическом равновесии ($H^\circ \leftrightarrow H^+$)⁻ в коллективизированной подсистеме электронных состояний (ЭС) [3,4]. При взаимодействии с ШМ небольшие металлические кольца полностью испаряются не тепловым способом, т.е. концентрация раствора ($H^\circ \leftrightarrow H^+$)⁻ в металлах может быть сопоставима с плотностью коллективизированных состояний. Устойчивая работа устройств, включающих возбужденный газообразный водород (например, спектральные Н-лампы), позволяет предположить иной тип состояния водорода в ШМ.

В нижних слоях атмосферы только пары воды правомерно рассматривать как реальный источник водорода. В то же время равновесное состояние ШМ в воздухе и низкая концентрация в нем свободного водорода исключают чисто водородный состав ШМ. Следовательно, возникновение ШМ из электропроводящих систем "...из телеграфного аппарата выскочил светящийся шар...", "...с лампы стекала светящаяся лучистая капля и медленно увеличивалась в размерах ..." помимо водорода предполагает участие в её синтезе атмосферных газов. Конденсация паров воды на частицах с отрицательным поверхностным потенциалом (стимулирование дождя распылением CO₂) допускает адсорбцию паров воды связанных Н-оболочках, энергетически стабилизированных делокализованными электронными состояниями (ЭС). В рамках такой модели правомерно допустить диффузию в металле $n(H^+ - \bar{e})$ -пар, которые на выходе адсорбируются на молекулах воздуха и модифицируются в систему $n(H_2^+)^- \leftrightarrow n(H^+ - H^+)^-$, которая может стимулировать образование H₂O-конденсата. Эта модель маловероятна для совокупности nH_2 , т.к. $E_a H_2 < E_a O_2$, а $E_a (H_2O)_n \sim 1,3$ эВ. Именно вода со сверхстехиометрической концентрацией поверхностных $n(H^+ - H^+)^-$ обладает большой энергией адгезии и проявляет кислотные свойства. Помимо грозových разрядов ШМ образуются около мест коронирующих разрядов и высоковольтных ЛЭП, а также при токовых разрядах средней и малой мощности. Так при коротких разрядах в электропроводке в результате попадания воды через пористую изоляцию "...десятки светящихся шариков свисали с потолка и плавали в воздухе...". Так светящиеся паро-газовые смеси образуются при электроимпульсной десорбции подкисленной воды (рН~3) из микропористого стекла. Следовательно, помимо организованных возбужденных состояний водорода ионизация поверхности нанокпель паровой фазы также следует рассматривать как необходимую

предпосылку образования светящихся паро-газовых объектов. Правомерно предположить, что при возбуждении поверхности нанокapел не только уменьшается поверхностное натяжение, но и повышается относительная концентрация делокализованных по поверхности $n(H^+-H^+)^-$, которые могут обеспечивать контактное или дальнoдействующее Н-взаимодействие между частицами паровой фазы. Неоднородная геометрия поверхности возбужденной капли воды в электрическом поле [5] может быть сопоставлена с неоднородной поверхностью паро-газового пузырька в области локализации упругих волн, например при ультразвуковом воздействии на воду [6].

По цветовой температуре "белое" свечение ШМ можно сопоставить с сонолюминесценцией (СЛ) воды [7] "...фиолетовый шар светился, как люминесцентная лампа...", приписываемый рядом авторов свечению Н-плазмы, которая может образоваться на границе газ-жидкость в результате концентрации подводимой механической энергии. Ограничение спектра СЛ воды квантами с энергией 2,0 - 4,0 эВ связано с ростом поглощения воды в «красную» и УФ- области спектра [8]. При воздействии импульсов упругих волн на жидкость или твердый раствор происходит их разрыв, разделение зарядов и последующий электростатический разряд [9,10] и при низкой концентрации примесей естественно индуцированное свечение. В докavитационном режиме УЗ-воздействия первично вытеснение растворенного в воде газа в область акустического резонанса и испарение воды, в объем вибрирующего пузырька. Свечение Н-плазмы предполагает отсутствие кислорода, растворенного или как возможного продукта диссоциации воды. Излучение спектральных Н-ламп преимущественно в УФ-области, тогда как излучение ШМ в основном приходится на видимую и ближнюю ИК- области спектра. Тем самым, спектр СЛ должен включать переходы между возбужденными состояниями основных компонент воды.



Доминирующая в спектре СЛ полоса с максимумом $\sim 4,0$ эВ [7] моделируется переходами:

$\Delta E = E_a(2H)^+ - 160 \text{ см}^{-1} \downarrow E_b H_2O$ или $E_a(O^0, H^0) \downarrow E_b H_2O$, где энергия связи $E_b H_2O = 5,10$ эВ,

Для полосы с максимумом $\sim 3,024$ эВ существует несколько вариантов переходов:

а. $E_a(H_2O)_n \downarrow E_b OH + 536 \text{ см}^{-1}$, в. $E_a\{OH, (2H)^+\} \downarrow E_b H_2$ и др., что согласуется с её длинноволновым уширением $\{E_a(2H)^+ = 1,131$ эВ и $E_a OH = 1,822$ эВ [11]}.

Эффективность акусто-ударного свечения воды при комнатных температурах (как и глицерина [9]) находится в полном соответствии с механическими характеристиками этих жидкостей. Так наименьшая сжимаемость воды при 46°C , при $\sim 57^\circ\text{C}$ - однородное распределение плотности парных Н-связей, при $31,5^\circ\text{C}$ - наименьшая растворимость газов в воде [6,12-14]. В совокупности термическая зависимость этих свойств и определяет снижение эффективности СЛ воды от 0° до 40°C . Интегральный спектр поглощения воды в области 1,5 – 3,5 эВ [8] практически совпадает со спектром излучения ламп накаливания [15]. Временное изменение цветовой температуры ШМ коррелирует с изменением цветовой температуры ламп накаливания при изменении питающего напряжения, "...молния завершилась сферической желто-зеленой вспышкой, яркость которой возрастала 2-3 секунды, потом плывущий шар постепенно приобрел красный оттенок...". "Оранжевый шар с белым ядром приобрел красно-оранжевый оттенок, а ядро исчезло...".

В этом контексте плотность и гибкая геометрия ШМ допускают моделирование её тонкослойной H_2O -оболочкой "...светящийся шар опустился на ветку и прогнулся...", с переменной концентрацией

подвижных носителей зарядов, возрастающую при формировании ШМ "...поверхность шара все время меняла форму пока он рос и менял цвет с красного на желто-зеленый, ...а потом оторвался от железного крюка...".

При увеличении массы ШМ естественно перепоглощение излучения в объеме и тогда темные или слабосветящиеся атмосферные объекты эллипсоидальной формы, именуемые болидами также можно отнести к ШМ (обычно болидами именуют летящие светящиеся объекты с характерным шумовым эффектом). Форма сплюснутого эллипса связана не столько с гравитацией (растекание капли по смачивающей поверхности), сколько с кулоновскими силами в

поле градиента атмосферного потенциала ($\sim 130-170$ в/м [16]) при условии отрицательного потенциала на внешней поверхности болидов. В рамках единой вещественной модели облаков и болидов фрактальная геометрия первых связана с кластер-кластерной агрегацией [17] двухфазной системы (адсорбат электроотрицательных газов на микрокаплях с положительным поверхностным потенциалом) тогда как предельная величина фрактальной размерности ($D=3$) болидов более вероятна для однофазных оболочек с высокой концентрацией растворенных газов.

Образование атмосферных H_2O -оболочек возможно при одновременной электро- или /и фотодесорбции газа с поверхности субмелкодисперсных капель воды и их последующего слияния в рамках кулоновской кластер-кластерной агрегации. Подобный процесс возможен при неоднородном поверхностном потенциале капель и рассмотрен на примере субмелкодисперсных металлических частиц [18]. Неоднородность поверхностного потенциала возбужденных жидкофазных частиц сопровождается понижением поверхностного натяжения до уровня в макроскопических объемах, гибкой геометрией капель и уменьшением их объема за счет испарения. Локальное повышение степени дисперсности паров воды и концентрации заряженных центров предполагает обратный процесс переконденсации, затрагивающий не только вещество из области возбуждения, но и прилегающей области. Массовость подобного процесса предполагает однотипную неоднородность поверхностного потенциала и как следствие кулоновское размежевание однокомпонентных частиц. Тем самым, зарождение ШМ включает формирование центральной и периферийной областей с повышенной плотностью паров воды в возбужденном состоянии. Первичная форма светящейся поверхности различна и наиболее вероятно зависит от множества факторов, но конечная шаровая или эллипсоидальная форма – свойство тонкоплечного жидкофазного конденсата:

"...белый змеевидный след сменился на светящийся эллипс, который приобрел форму шара...",

"Из розетки текла голубоватая лента, свободный конец которой раздувался в виде лампы...",

"Вытянутый светящийся объект развалился на два шара...",

"После удара молнии по полю побежали разноцветные брызги, которые собрались в шар, поверхность которого кипела...",

"...огненная полоска скользнула по струе воды и из нее образовался шар...".

И наконец достаточно многочисленные свидетельства типа: "...на месте взрыва ШМ образовалось маленькое облачко пара..." или "В озеро ударила молния и из воды выскочил оранжевый шар, проплыв над водой он с грохотом ударился о нее и развалился образовав облако пара..." вполне определенно указывают на воду как основной материальный носитель локальных возбужденных состояний в нижних слоях атмосферы.

В экспериментах по моделированию атмосферных плазменных образований "...резко очерченные границы светящегося диска удастся получить при оптимальной концентрации паров воды..." [19]. Там же отмечается, что "...формы свечения атмосферных плазменных образований могут существенно зависеть от относительной влажности воздуха..., а механизм образования ШМ может быть понят из анализа физико-химических процессов при ионизации влажного воздуха...". В другой работе [20] отмечается существенная зависимость времени жизни водно-газовых плазменных образований помимо технических параметров экспериментальной установки также и от температуры и электропроводности пленки воды на разрядном электроде, что согласуется с температурной зависимостью эффективности СЛ воды и концентрацией (H^+) . На молекулярном уровне коллективная организация однотипных ионизованных или полярных молекул рассматривается как вероятный механизм образования углеродных клеток (фуллерены) [21] или ароматических кластеров иного состава (витроны [21]), например, порфирины, молекулы S_8 [4] (структурные единицы черенковой серы) и пр. Известно образование оболочек из аморфизированных микрочастиц в рамках коллективной организации однотипных молекул (споры растений, радиолярии, частицы состава AgI [23]). Подобная реорганизация вещества осуществляется через квазижидкостную фазу, когда существенную роль играет межмолекулярное взаимодействие. На уровне макрообъектов

коллективная организация элементов самоподобия из паровой фазы в устойчивые оболочки также предполагает существование конденсата однопипных возбужденных молекул или частиц с гибкой геометрией поверхности. Дальнодействие между частицами возможно по кулоновскому механизму или/и при участии водорода (скорость звука в газовой фазе и конденсате $v = 1280-1300$ м/с [24]). Перечисленным свойствам удовлетворяет конденсат ароматических $(H_2O)_n$ -кластеров [1]. Клатратная модель $(H_2O)_n$ -кластеров [25] предполагает делокализацию 10 и более атомов водорода по поверхности оболочки [1]. В тетраэдрической координации кислорода устойчивость оболочки на основе молекулярных центров $(-O-H^+-O-)$ [26] выше за счет $O-O$ и $(H^+-H^+)^-$ взаимодействий, а также наличия делокализованных ЭС.

Динамически равновесное состояние $E_B = 2,0427$ эВ между энергиями связи $E_B(O-O) = 2,195$ эВ и $\bar{E}\{(E_B H_2^+, E_B(2H^+))\} = 1,8905$ эВ с точностью $\Delta E = 0,7$ мэВ совпадает с динамически равновесным состоянием протонов, делокализованных между атомами кислорода в составе ОН-оболочки $\bar{E}(E_a OH, E_a H^+)$, где $E_B(O-O) - \bar{E}(E_a OH, E_a H^+) = E_H$ - энергия Н-связи [27]. Аналогичные смещения: $\bar{E}\{E_B(H_2 \leftrightarrow H_2^+), E_a(2H^+)\} - E_B(O-O) = E_H$ и

$$\bar{E}(E_B OH, E_a H^+) - \bar{E}(E_B O_2, E_a(H^0 \leftrightarrow H^+)) - 32 \text{ см}^{-1} = E_H$$

отражает равновесие Н-конденсата на поверхности организованных $(-O-H^+-O-)$ -центров, тогда как $E_B OH - \bar{E}\{E_B(H_2 \leftrightarrow H_2^+), E_a(2H^+)\} = 2,348$ эВ означает, что электронный переход между ОН-центрами и Н-оболочкой энергетически эквивалентен диссоциированным парам $H_2 \leftrightarrow (H^+-H^+)^-$. Отличие совокупности $n(H^+)^-$ от $(H^+)^-$ в составе $(-O-H^+-O-)$ -центров в коллективизации ЭС:

$E_B(H_2 \leftrightarrow H_2^+) - \bar{E}(E_B OH, E_a H^+) = 0,239$ эВ ($1904 + 8 \text{ см}^{-1}$ - колебательный переход в квазимолекулах O_2^+ [28], включающих прецессию центральных H^+ между парами $-O-O-$).

В общем виде модель Н-конденсата из взаимосвязанных $(H^+-\bar{e})$ на поверхности кислородно-водородной оболочки с попарно взаимодействующими О-атомами:

$$E_B O_2 - E_a H_2 = E_B OH - 64 \text{ см}^{-1} \leftarrow \text{вращение оболочки состава } H_n(OH)_n$$

$E_B H_2 - (536 + 184) \text{ см}^{-1} = E_B OH \leftarrow$ парные Н-центры на поверхности оболочки точно до либрационных и трансляционных колебаний атомов водорода в составе кластера энергетически эквивалентны ОН-группам. Следовательно, величина $E_B H_2 O$ относится к кластеру и включает повышение ЭП коллективизированных пар $(H^+-\bar{e})$ за счет смещения ЭП от парных О-центров на энергетический уровень $E_a H_2$, что соответствует конденсату O_2 в H_2 и согласуется с совпадением показателя преломления воды и O_2 - H_2 -конденсата $\{n(H_2O) = n(O_2) + n(H_2) - 1\}$ [24]. Относительное термическое изменение оптической плотности O_2 - H_2 -конденсата также совпадает с термическим изменением оптической плотности воды. По пролонгированию зависимости температур плавления и кипения гидридов VI и VII групп таблицы Д.И. Менделеева [2] вода проявляет свойство однокомпонентного конденсата с молекулярной массой элементов самоподобия >400 . Тем самым, оболочки состава $(O-H^+-O)$ совместно с поверхностным Н-конденсатом представляют собой ароматическую организацию ионизованных молекул, а конденсат состава $H_{n-x}(OH)_n$ - динамически равновесную структуру из оболочек состава $(O-H^+-O)$ и переменной плотности Н-конденсата и между ними (организованная плазма [27]).

При "мягком" разделении оболочек происходит выравнивание ЭП между оболочкой ОН-состава и Н-конденсатом за счет увеличения плотности последнего на $E_B H_3 \sim E_H$ [29]. В случае "жесткого" разделения оболочек возможен отрыв $n(H_x)$ с поверхности возбужденных оболочек. При условии перераспределения ЭП в сторону $E_a O_2$ (х) определяется отношением $E_a O_2 / E_a H_2 = 1,21$. Для предполагаемого минимального устойчивого ароматического кластера $(H_2O)_{20} \times = 2$ (что не обязательно соответствует молекуле H_2). На примере фуллеренсодержащих полистиролов показана термическая устойчивость водородного кластера 6Н на поверхности акцептора (фуллерен) [29], тем самым H_6 - элементарный кластер с коллективизированными ЭС. Следовательно, возбужденный $H_{n-x}(OH)_n$ -кластер сохраняет устойчивость при $n-x = 6$.

Этому условию удовлетворяют кластеры $(H_2O)_{24}$ $(H_2O)_{28}$ $(H_2O)_{32}$, аномально высокая концентрация которых в составе паровой фазы (по данным масспектрометрии [30]) указывает на быструю реорганизацию продуктов электроимпульсной диссоциации воды. Конденсация H_6 естественна на электроотрицательных молекулах. В случае O_2 кластер $H_6 O_2$ - элементарный аналог $H_n(OH)_n$ и может эффективно растворяться в воде, т.к. $E_a(H_6 O_2) \sim E_a H_2 O = E_a O_2 + 27$ мэВ. Временная стабильность подобных кластеров зависит от состава газа "...процент благородных газов, растворенных в воде, оказывается крайне важным для яркого, устойчивого свечения..." (повышается устойчивость Н-конденсата).

Оболочечно-плазменная модель воды не противоречит водно-кластерной модели ШМ [1], но позволяет рассматривать делокализованную Н-компоненту воды как вещество, ответственное за ряд основных свойств ШМ, в частности организацию и устойчивость оболочек.

Возникновение ШМ далеко не всегда совпадает с прохождением линейных электрических разрядов и возможно без видимого участия последних, что допускает существование долгоживущих возбужденных состояний водно-водородных кластеров и их ассоциатов.

Вследствие однотипного состава поверхности электрическое и УФ-возбуждение атмосферного водно-газового конденсата должно сопровождаться пространственным кулоновским перераспределением возбужденных микрокапель и газа с поверхностным Н-конденсатом. Последующее слияние кислородно-водородных кластеров состава $H_x(OH)_n$ (как и обедненных водородом капель) в оболочку первично по отношению к адсорбции обогащенного водородом газа на внутренней поверхности водной оболочки и, наиболее вероятно, происходит опосредовано через наноклапли, кластеры $H_n(OH)_n$ стехиометрического состава и положительно заряженные газовые молекулы типа O_3^+ . Растворение ионизованных газовых молекул в водной оболочке повышает её прочность (кристаллогидраты). Генерация озона и окислов азота под действием электрических разрядов допускает широкий спектр состава газо-водородных кластеров, которые помимо водорода могут осуществлять кулоновское взаимодействие между $H_{n-x}(OH)_n$ -кластерами и каплями с не стехиометрическим составом по водороду.

Устойчивость водных оболочек следует из большого коэффициента поверхностного натяжения воды и общеизвестна по мыльным пузырям. Поверхностно активные вещества не нужны для образования тонких оболочек при пропускании воды через капилляр с цилиндрическим сечением. Механическая устойчивость водной оболочки с пониженной концентрацией водорода на внешней поверхности и повышенной его концентрацией на внутренней поверхности, с адсорбированным газом аналогична устойчивости водной пленки на смачивающей пористой поверхности - "... от выстрела дробью шар лишь покачнулся ...".

Работа выхода воды $\sim 3,3$ эВ, работа выхода для кластеров типа $H_6 \sim 0,4$ эВ.

В рассмотренной модели ШМ на внутренней поверхности водной оболочки с адсорбированным электроотрицательным газом плотность носителей заряда выше, чем на внешней поверхности и определяется концентрацией делокализованных $(H^+ - \bar{e})_n$, где часть $\bar{e}$ кулоновски смещена в объем или захвачена ловушками. Внешняя отрицательно заряженная поверхность водно-газовой оболочки – естественная область адсорбции паров воды. В условиях всестороннего лапласовского сжатия микрокапли содержат меньше растворенного газа в сравнении с большими объемами воды. Адсорбция микро- или наноклапель (в зависимости от относительной влажности воздуха) эквивалентна поглощению энергии в рамках kT за счет объемного перераспределения релаксированной поверхностной энергии и повышения концентрации связывающих Н-атомов на внешней поверхности. При относительной влажности воздуха 40-70% длительность адсорбции паров воды пропорциональна отрицательному потенциалу внешней поверхности водно-газовой оболочки "...при ясной погоде ШМ крупнее и существуют дольше...". При зарождении ШМ в нижних положительно заряженных слоях облаков [32] на заключительной стадии нейтрализации поверхностного заряда возможна адсорбция газа и перемещение ШМ в электроотрицательную область, что может привести к временной и геометрической стабилизации оболочки (болид). Снижение подвижности $n(H^+ \leftrightarrow H^-)$ и рост поглощения воды в и "красной" области спектра обуславливают металлизацию цветности ШМ при увеличении их массы "...серебристый шар потрескивал и мигал...". Металлизация водно-газовых оболочек возможна также при снижении их температуры до $-20 - 3^\circ C$ вследствие повышения электропроводности воды на 3-5 порядков (отсутствие или уменьшение парной организации в системе Н-связей между оболочками).

Литература

1. Стаханов И.П. О физической природе шаровой молнии, Энергоатомиздат, 209 с.,(1985).
2. Свойства неорганических соединений, под ред. Ефимова А.И. и др.,1983, Химия, 392 с.
3. Григорович В.К., Металлическая связь, Наука, (1988), 295 с.
4. Щукарев С.А., Неорганическая химия, т.2, (1974), 382 с.
5. Ширяева С.О., Григорьев А.И., Волкова М.В.//ЖТФ, т.75 (7), с.40-47, (2005).
6. Корнфельд М. Упругость и прочность жидкостей, Техничко-теоретич. лит., 107 с., (1951).
7. Matula T.J. et al.// Phys. Rev. Lett. 75, 2602 (1995); Young J. B. et al, 86, 2673 (2001).
8. Chaplin M.F.// Biophys. Chem., , 83, (3), 211-221(2000).
9. Тесленко В.С., Санкин Г.Н., Дрожжин А.П., Свечение в воде и глицерине в поле сферических фокусируемых и плоских ударно-акустических волн , A\kinso-99.html.
10. Резников В.А.//Письма ЖТФ, т.16 (1), с.44-47, (1990).
11. Резников В.А.// Сознание и физическая реальность,(4), с.20-26, (2005).

12. Эйзенберг Д., Кауцман В. Структура и свойства воды, Гидрометеиздат, (1975), 280 с.
13. Зацепина Г.Н., Свойства и структура воды, МГУ, 167 с.,(1974).
14. Фенин А.А., Фенин С.А., Ермаков В.И.//Исследовано в России, (2005), с.1723-1732.
15. Рабек Я., Экспериментальные методы в фотохимии и фотофизике, Мир, т.1, с.55-57, (1985).
16. Имянитов И.М., Шифрин К.С.//УФН, т.LXX VI (4), с.593-642, (1962).
17. Федер Е. Фракталы, Мир, 260 с, (1991).
18. Хворов М. М., Нигматулин Р. Р. //ФТТ, т.32 (8), с.2294-2295, (1990).
19. Протасевич Е.Т.//ЖТФ, т.75 (7), с.134-136, (2005).
20. Шабанов Г.Д.// Письма ЖТФ, т.28 (4), с.82-86, (2002).
21. Асхабов А.М.//ФТТ, т.47 (6), с.1147-1150.
22. Tiltjn L.W.//J. Res. Nat. Bur. Stand., v.59, p.139, (1957).
23. Резников В.А., Кехва Т.Э., Плаченев Б.Т. //Письма ЖТФ, т.16 (22), с.1-5, (1990).
24. Справочник по физико-техническим основам криогеники, под ред. М.П. Малкова, Энергоатомиздат, 431 с., (1985).
25. Payling L.//Nhe Nature of the Chem. Boud. 3-rd Edition (1960); Bernal J.D.//Nature, 183,p.141, (1959).
26. Желиговская Е.А., Маленков Г.Г.//Усп. Химии, т. 75 (1), с.64-85, (2006).
27. Резников В.А., IX межд. конф. по ГРВ биоэлектрографии, С-ПбГ, (2005), с.188-194.; Сознание и физическая реальность, , (6),с с.35-41, (2005).
28. Смирнов Б.М., Яценко А.Ц. // УФН, 1996, т. 166, №3,с. 242.
29. Энергии разрыва химических связей. Потенциалы ионизации и сродство к электрону, АНСССР, 215 с.,(1962).
30. Резников В.А. //Сознание и физическая реальность, ? (2006).
31. Robinson H.A.//J. Phis. / Chem. Solids, v.26, p.209-217, (1965).
32. Вимьямс Э.Р. //В мире науки, 1989 (1), с.34-44.