

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПУТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ НА БАЗЕ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ МОЛЕКУЛЫ ВОДОРОДА

В.П. Гусев<sup>1</sup>, П.С. Орлов<sup>2</sup>, Л.А. Голдобина<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ярославский филиал Московского института инженеров транспорта (МИИТ),  
150030, г. Ярославль, Суздальское шоссе, д. 13;

<sup>2</sup>Ярославская государственная сельскохозяйственная академия (ЯГСХА),  
150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, д. 58;

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики (СПбГУСЭ),  
199115, г. Санкт-Петербург, ул. Кавалергардская д.7, лит. А

В статье впервые рассматривается вопрос о новых путях, направленных на снижение энергозатрат при химико-термической обработке стали, необходимой для обеспечения коррозионной стойкости стальных подземных трубопроводов. Актуальная на сегодняшний день мировая проблема по предупреждению техногенных катастроф, связанных с разрушением подземных трубопроводов, решается через теоретическое обоснование электронной модели образования молекулы водорода на примере модели атома водорода Н. Бора с использованием двухатомной модели строения вещества Я.И. Френкеля.

**Ключевые слова:** атом, молекула водорода, молекулярная связь.

## ENSURING CORROSION RESISTANCE OF STEEL UNDERGROUND PIPELINES BY MANAGEMENT OF PHASE TRANSITIONS AT HEAT TREATMENT ON THE BASIS OF THE THEORY OF ELECTRONIC MODEL OF FORMATION OF THE MOLECULE OF HYDROGEN

V.P. Gusev, P.S.Orlov, L.A.Goldobina

*Yaroslavl branch of the Moscow Institute of Engineers of Transport (MIET),  
150030, Yaroslavl, Suzdalskoye Highway, 13;*

*Yaroslavl state agricultural academy (YaGSHA),  
150042, Yaroslavl, Tutayevskoye Highway, 58;*

*St.-Petersburg state university of service and economy (SPbSUSE),  
191015, St.-Petersburg, street Kavalergardsky, 7, lit. A*

In article is considered for the first time a question of the new ways directed on decrease in energy consumption at chemical and thermal processing of steel, corrosion firmness of steel underground pipelines necessary for providing. The world problem actual today according to the prevention of the technogenic catastrophes connected with destruction of underground pipelines, is solved through theoretical justification of electronic model of formation of a molecule of hydrogen on an example of model of atom of hydrogen of N.Bora with use of diatomic model of a structure of substance of Ya.I.Frenkel.

**Keywords:** atom, hydrogen molecule, molecular communication.

Известно, что перед предприятиями, эксплуатирующими опасные производственные объекты коммунального хозяйства, особенно остро на сегодня стоит задача снижения аварийности подземных трубопроводов. В настоящее время эксплуатируемые подземные водопроводы и газопроводы в большинстве своем давно выработали ресурс, а замена их требует значительных капитальных вложений.

По протяженности подземных трубопроводов для транспортировки нефти, газа, воды и сточных вод Россия занимает второе место в мире после США. Однако нет другой страны, где эти трубопроводные магистрали были бы так изношены. По оценкам специалистов МЧС России, аварийность на трубопроводах с каждым годом возрастает и в 21-й век эти системы жизнеобеспечения вошли изношенными на 50–70%. Утечки из трубопроводов

приносят стране огромный экономический и экологический ущерб. Особенно большое количество аварий происходит в городах в результате утечек воды из-за изношенных коммуникаций – канализационных, тепловых и водопроводных сетей. Из аварийных трубопроводов вода просачивается в грунт, повышая уровень грунтовых вод, что ведет к затоплению подвалов и подземных коммуникаций. Возникают провалы и просадки грунта, а также неравномерные осадки фундаментов зданий и сооружений, что грозит их обрушением [1].

В Российской Федерации общая протяженность подземных нефте-, водо- и газопроводов составляет около 17 миллионов километров, при этом из-за постоянных интенсивных волновых и вибрационных процессов, участки этих коммуникаций приходится постоянно ремонтировать или полностью заменять. Весьма актуальны вопросы защиты от коррозии и для нефтяной и нефтегазодобывающей отраслей ввиду агрессивности сред и жестких условий эксплуатации металлоконструкций. Убытки, вызываемые гидроударами и коррозией, составляют несколько сотен миллиардов долларов и около 50 тысяч тонн черных металлов в год [1].

Авторы статьи уже давно ведут исследования, направленные на решение вопросов снижения риска возникновения и последствий техногенных катастроф при эксплуатации подземных трубопроводов [1 – 5].

В данной статье авторы предлагают теоретическое обоснование электронной модели молекулы водорода как первой ступени в построении модели жидкости и твердого тела. Управляя фазовыми переходами такого твердого тела как сталь, можно существенно снизить энергозатраты при химико-термической её обработке, необходимой для обеспечения коррозионной стойкости стальных подземных трубопроводов.

Известно, что атомы – это квантованные образования, и, следовательно, молекула, состоящая из атомов, также квантована, о чем свидетельствуют спектры молекулярного водорода.

Взаимодействие двух атомов водорода до образования молекулы определяется Кулоновским взаимодействием зарядов ядер атомов (протонов) и электронов и взаимодействием магнитных полей вращающихся вокруг ядер

электронов с зарядом  $e$ , так как электрон, вращающийся вокруг ядра атома, представляет собой виток тока, создающий магнитный поток электрона магнитной индукцией  $B_z$ .

Радиус действия электромагнитного взаимодействия практически не ограничен, поэтому при сближении двух атомов водорода  $H_I$  и  $H_{II}$ , имеющих на своих электронных оболочках электроны, осуществляется взаимодействие между магнитными полями атомов, в результате происходит «замыкание» магнитных полей с образованием электронных пар. В этом по Г. Льюису заключается возникновение связей между атомами [6].

По И.Е. Тамму взаимодействующий атом не может отдать на молекулярную связь более половины своей собственной энергии [7], поэтому с основной орбиты электрона связь атомов осуществить нельзя. Для осуществления связи двух атомов последние должны прийти в возбужденное состояние. Образование молекулы водорода может произойти только тогда, когда электроны атомов находятся на первом возбужденном уровне – на расстоянии четырех Боровских радиусов от ядра при соответствующем давлении и температуре, чему и соответствуют Земные климатические температуры и давления. Это косвенно подтверждается невозможностью длительного существования атомарного водорода в Земных условиях, ни при каких низких давлениях и климатических температурах.

Магнитные потоки, создаваемые электронами двух сблизившихся атомов водорода, взаимодействуют друг с другом и приходят в единственно возможное устойчивое состояние, когда направления обоих магнитных потоков совпадают -N-S-N-S-, и их оси находятся на одной прямой.

Движущиеся по орбиталам заряженные частицы (электроны) одного атома перемещаются в электрических и магнитных полях другого атома, что приводит к ситуации, при которой постепенное вращение электронов соседних атомов синхронизируется. Большую часть времени электроны вращаются в плоскостях, нормальных кратчайшему расстоянию между ядрами атомов симметрично относительно центра симметрии системы  $C$ . Два атома водорода, движущиеся в разных направлениях с разными скоростями  $V_1$  и  $V_2$ , «сцепившиеся» при сближении магнитным и Кулоновским взаимодействиями, составляют пред молекулярное

образование, которое приводит взаимодействующую пару атомов во вращательное движение (рис.2).

Система из двух атомов, каждый из которых имеет три степени свободы, получает 2 вращательные степени свободы.

В результате Кулоновского воздействия и действия суммарного магнитного потока индукцией  $B_{\Sigma}$ , атомы «подтягиваются» друг к

другу до расстояния порядка 17,95 радиусов Бора. Электрон каждого из атомов оказывается в достаточно сильном магнитном потоке своего соседа. Сила Ампера  $F_A$  перемещает электрон каждого из атомов с орбитали  $4R_B$  на  $9R_B$  орбиталь и происходит взаимное пересечение  $9R_B$  орбиталей двух атомов (рис. 2) с образованием электронной связи между атомами

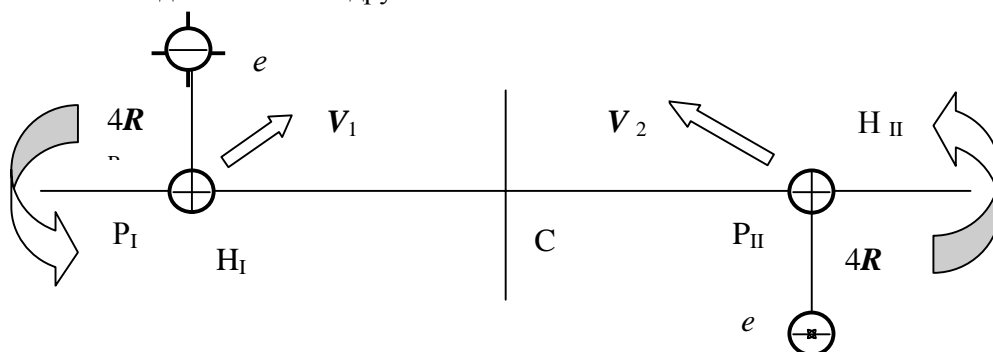


Рисунок 1. Синхронизация вращения электронов пред молекулярного образования

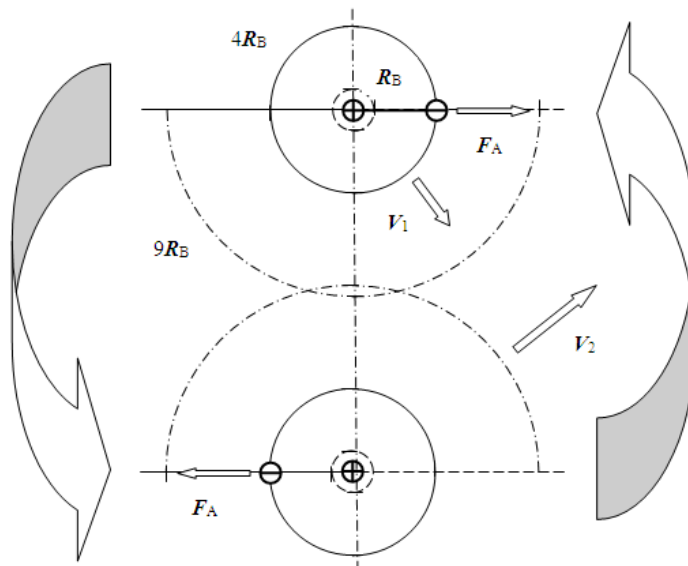


Рисунок 2. Связывание орбиталей предмолекулярного образования (электроны вращаются в плоскости нормальной оси, соединяющей атомы водорода;  $9R_B$  орбитали показаны только в области связывания)

Атомы водорода, сближаясь за счет сил кулоновского взаимодействия, образуют пространственную систему молекулы из двух положительно заряженных протонов и двух электронов на двух взаимно пересекающихся  $9R_B$  орбиталях, почти касающихся  $4R_B$  орбиталей соседа. Электроны молекулы, находящиеся на  $9R_B$  орбиталях, большую часть времени вращаются вокруг общего центра масс. При образовании электронов вокруг общего центра масс силы Кулоновского притяжения превышают силы отталкивания ядер атомов, поэтому молекула является устойчивым образованием.

Так как по Тамму И.Е энергия внешнего взаимодействия не может быть больше полови-

ны собственного значения энергии статического заряда [7], то сближение двух атомов водорода, возможно только на расстояние, большее двух Боровских радиуса.

Возникновение молекулярной связи между атомами по Г. Льюису заключается в образовании электронных пар [6], которые появляются при взаимном пересечении  $9R_B$  орбиталей [8].

По И.Е. Тамму [7] запрещено пересечение Боровской орбитали. В соответствии со вторым постулатом Н. Бора и в силу принципа неопределенностей В. Гейзенберга запрещено смыкание (касание) любых орбиталей двух атомов друг с другом: любые электронные ор-

битали двух атомов отталкиваются друг от друга в силу кулоновского взаимодействия электронов, так, будто на всех орбиталях имеются электроны.

В противном случае молекула бы распалась после формального обмена атомов электронами [8].

В результате можно говорить о двух-атомной структуре с собственными электронами на  $9R_B$ , находящимися вблизи орбитали  $4R_B$  соседа. В связи с чем резко растут силы отталкивания при приближении орбитали  $9R_B$  одного атома к орбитали  $4R_B$  другого. Расстояние между атомами водорода увеличивается, и электроны снова уходят на орбиту вращения вокруг общего центра масс, так как их энергия не позволяет им находиться на второй разрешенной орбитали. Это не дает сомкнуть  $9R_B$  и  $4R_B$ , чем выполняется первый постулат Бора и принцип неопределенностей Гейзенберга. Отсюда неизбежен постоянный колебательный процесс, поскольку все время с определенным периодом изменяется расстояние между атомами в молекуле от  $R_{min} > 9R_B + 4R_B$  до  $R_{max} < 9R_B + 9R_B$ . Система из двух атомов получает еще одну степень свободы – колебательную.

Разложение системы сил кулоновского взаимодействия заряженных частиц показывает, что статическая система, состоящая из четырех зарядов, ни при каком их взаимном расположении не может находиться в устойчивом состоянии (равновесии). На основании теоремы С. Ирншоу устойчивое статическое распределение электрических зарядов, находящихся на конечных расстояниях друг от друга, невозможно [9], так как молекула не представляет статическую систему зарядов. Её устойчивость, так же как и атома, может быть обеспечена только непрерывным движением частиц (движением электронов вокруг центра масс и колебательным процессом ядер атомов) [8].

Вследствие чего молекула, с точки зрения классической физики, не может (за редчайшим исключением лобового столкновения атомов) образоваться без получения вращательных степеней свободы и в принципе не может существовать без колебательной степени свободы, что соответствует выводам квантовой физики о наличии нулевых колебаний.

Система сил, связывающая четыре материальных объекта (два протона и два электрона), является векторной суммой сил Кулоновского притяжения и отталкивания и сил электромагнитного взаимодействия магнитных потоков (полей) взаимодействующих атомов. Сближение ядер атомов прекратится, как только орбиталь  $9R_B$  одного атома сблизится с  $4R_B$  другого. Для устойчивости же молекулы необходимо, чтобы электроны большую часть вре-

мени находились в пространстве между ядрами – в области связывания, вращаясь вокруг центра масс четырех массовой системы, обеспечивая повышенную плотность вероятности нахождения электронов в межъядерном пространстве молекулы.

Для образования связи необходимо, чтобы произошло проникновение орбитали одного атома в орбиталь другого атома, то есть перекрытие (пересечение) орбиталей, когда электронная пара становится общей для ядер связываемых атомов.

Среднее расстояние электрона одного атома от ядра соседнего атома составляет  $13,1R_B$ . Переход электрона с  $13,1R_B$  на  $4,0R_B$  с точностью до 0,1 % соответствует энергии диссоциации молекулы, равной 2,35 эВ, на которые увеличилась по абсолютной величине потенциальная энергия каждого из атомов в молекуле, составив – 15,9 эВ.

Таким образом, авторами была получена устойчивая двухатомная модель молекулы водорода по Я.И. Френкелю [10] (Рисунок 3), имеющая размеры, определяемые взаимным положением двух возбужденных атомов.

Увеличение при этом суммарного заряда ядер двухмассовой системы влечет за собой сокращение Боровского радиуса в 1,9 раза до значения «молекулярного Боровского радиуса»  $R_0 = R_B / 1,9$ :

$$R_n = n^2 \cdot \frac{h^2 \cdot \epsilon_0}{m_e \cdot \kappa \cdot Z \cdot e^2 \cdot \pi} \quad (1)$$

где:  $n = 1, 2, 3, \dots$  – номер стационарной орбитали;  $Z$  – число протонов в молекуле;  $\kappa = 0,95$  – поправочный коэффициент, учитывающий, что в молекуле протоны разнесены.

Это приводит к уменьшению (по абсолютной величине) величины потенциальной энергии системы. Расстояние ( $a$ ) между атомами газообразного водорода (H) в молекуле равно среднему межъядерному расстоянию:

$$a = (13,1R_B / \kappa \cdot Z) = (13,1R_B / 1,9), \quad (2)$$

когда электроны и протоны образуют два прямоугольных треугольника, в которых молекулярная орбиталь  $9R_0$  каждого из атомов почти касается молекулярной орбитали  $4R_0$  своего соседа.

В полученной двухатомной модели газообразного водорода (Рисунок 3) вращение электронов строго синхронизировано. Они перемещаются по орбитам, одновременно участвуя в круговом движении (показанном фигурными стрелками) вокруг общего центра масс по радиусу  $6,17R_0$ , обеспечивая повышенную плотность вероятности нахождения электронов между атомами.

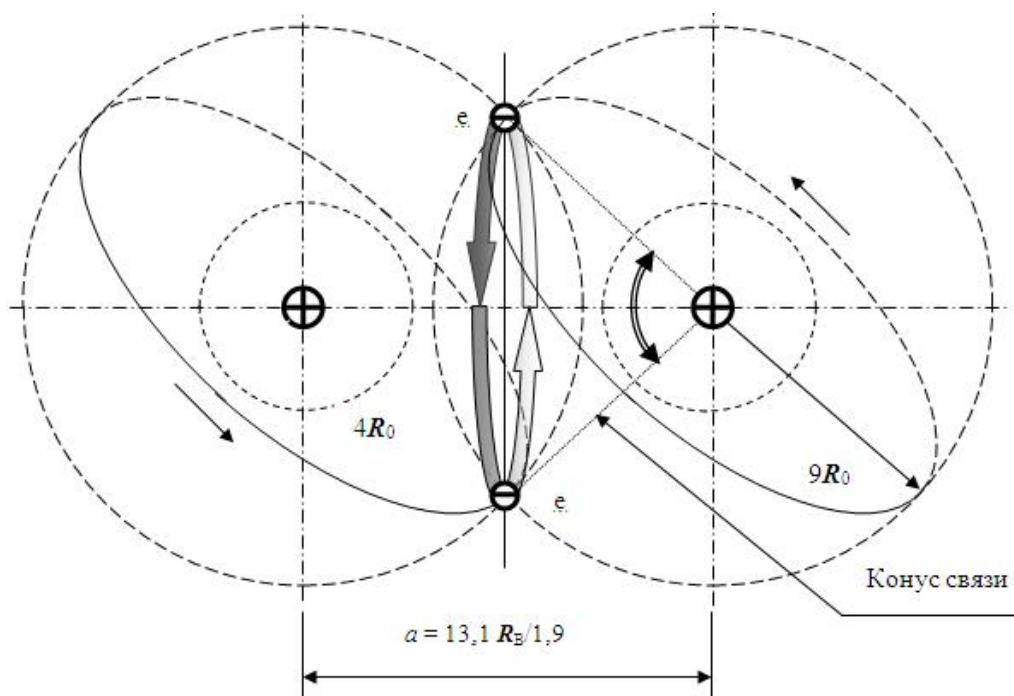


Рисунок 3. Двухатомная модель строения молекулы водорода по Я.И. Френкелю (радиус Н. Бора условно не показан)

Орбиты на Рисунке 3 показаны эллипсными линиями по девятой Боровской молекулярной орбитали  $9R_0$ .

При нахождении электронов на конусе связи силы притяжения между атомами определяются параллелограммом сил взаимодействия между ядрами и электронами.

Если электрон находится в пределах конуса связи, сила притяжения между атомами (в максимуме) равна удвоенному значению силы притяжения между ядром атома и «чужим» электроном. При обращении электронов по орбитам за пределами конуса связи силы кулоновского притяжения падают до момента, когда плоскости вращения электронов становятся перпендикулярны прямой, соединяющей атомы. Но в это время увеличивается магнитная составляющая сил притяжения атомов, и действие сил притяжения осуществляется все время нахождения электронов в этом пространственном положении.

Вращение вокруг общего центра масс не запрещает вращение электрона в любой другой плоскости по орбите, например, показанной пунктирной линией в плоскости чертежа.

Интересны два экстремальных положения электронов: на прямой линии между атомами и на той же прямой, но за атомами водорода. В первом случае силы притяжения превышают силы отталкивания почти в 42 раза, а

во втором силы отталкивания превышают силы притяжения в 1,44 раз. Сомкнуться или коснуться друг друга орбиты  $4R_0$  и  $9R_0$  не могут, так как в этом случае резко возрастают силы отталкивания по отношению к силам притяжения (в 10,9 раз), и это означает переход электронов с  $9R_0$  на орбиталь  $4R_0$ . Силы отталкивания при этом выполняют первый постулат Бора и принцип неопределенностей Гейзенберга.

Резкое изменение сил притяжения на силы отталкивания в течение одного периода вращения стимулирует колебательный процесс, и расстояния между атомами то уменьшаются почти до  $(4 + 9) \cdot R_0$ , то растут (при накачке энергии извне), достигая максимально возможного значения, чуть меньшего  $2 \cdot 9 \cdot R_0$ , если системе не сообщена дополнительная энергия диссоциации.

Самостоятельно молекула разрушиться не может, так как при увеличении расстояния между атомами до  $(2 \cdot 9 - 0,1) \cdot R_0$  возрастает сила притяжения атомов, угол между электронами (и силами взаимодействия) стремится к 0, и падает значение силы отталкивания. В результате при прохождении электронов через центр конуса связи сила притяжения превышает силу отталкивания в 8 раз. Таким образом, получается устойчивая саморегулирующаяся динамическая система – молекула водорода.

Разрушиться молекула может только в том случае, если за время равное меньше половине периода обращения электрона вокруг ядра атома амплитуда колебательного процесса превысит расстояние равное  $5R_0$ , а расстояние между атомами превысит  $18R_0$ .

На расстоянии  $13,1R_0$  находятся ядра атомов водорода в молекуле друг от друга. Это расстояние является средним расстоянием, которое должен преодолеть электрон «чужого» атома водорода, чтобы почти «коснуться» второго возбужденного уровня атома от ядра своего соседа при среднем расстоянии между первым возбужденным уровнем соседа и вторым своим уровнем возбуждения, равном  $2,8 \text{ нм}$ . В результате каждый из электронов в молекуле одновременно принадлежит двум атомам и связан (находясь на  $9R_0$  своего атома) со своим ядром энергией  $1,76 \text{ эВ}$ , а с чужим атомом, находясь от него на  $13,1R_0$ , энергией  $1,21 \text{ эВ}$ , что соответствует постулату Тамма.

Перемещение электрона атома водорода с орбитали  $4R_B$  на  $9R_B$  орбиталь, при образовании молекулы, соответствует затрате энергии  $\Delta E_{4B-9B} = 1,88 \text{ эВ}$ . На это же значение увеличится отрицательная потенциальная энергия каждого из атомов системы.

На  $\Delta E_{9B-90} = -0,261 \text{ эВ}$  при сжатии каждой  $9R_B$  орбитали до Боровской молекулярной орбитали  $9R_0$  увеличится по абсолютной величине потенциальная энергия каждого атома в молекуле.

При сжатии каждой  $4R_B$  орбитали до Боровской молекулярной орбитали  $4,1R_0$  потенциальная энергия каждого электрона системы на этой орбитали также увеличится на  $\Delta E_{4B-40} = 0,590 \text{ эВ}$ .

Таким образом, при образовании молекулы водорода отрицательная потенциальная энергия каждого атома системы увеличится по абсолютной величине с  $-13,55 \text{ эВ}$  до  $-15,90 \text{ эВ}$  – в  $1,173$  раза.

Часть увеличения потенциальной энергии четвертой орбитали  $\Delta E_{4B-40}$ :

$$\Delta E_4 = 4\Delta E_{4B-40} / 1,173 \cdot 9 = (-0,590 \cdot 4 / 1,173 \cdot 9) = -0,223 \text{ (эВ)} \quad (3)$$

необходимо приплюсовать к энергии образования молекулы:

$$\Delta E_{4B-9B} + \Delta E_{9B-90} + \Delta E_4 = -1,88 - 0,26 - 0,223 = -2,363 \text{ (эВ)}, \quad (4)$$

так как при её образовании одновременно «проседали» и конец, и начало вектора перемещения электрона на  $1,88 \text{ эВ}$ .

В результате получим значение энергии образования молекулы водорода с точностью до  $1 \%$ .

Подъем электрона с орбитали  $4R_B$  на  $9R_B$  орбиталь при образовании молекулы водорода идет без затрат энергии извне за счет понижения потенциальной энергии системы. Молекула энергетически более выгодна, чем атом. Несмотря на подъем электрона с орбитали  $4R_B$  на  $9R_B$  орбиталь при образовании молекулы водорода, электрон в молекуле водорода формально остается на  $4R_0$  Боровской молекулярной орбитали, так как  $9R_0$  орбиталь соседнего атома почти «касается»  $4R_0$  орбитали партнера. Это косвенно подтверждают справочные данные: эффективный диаметр молекулы водорода  $d_H = 0,23 \text{ нм} = 230 \cdot 10^{-12} \text{ (м)}$ . Диаметр  $d_{H0}$  Боровской молекулярной ( $4R_0$ ) орбитали составляет:

$$\begin{aligned} d_{H0} &= 2 \cdot 4R_0 = 2 \cdot 4R_B / 1,9 = \\ &= 2 \cdot 4 \cdot 52,8 \cdot 10^{-12} / 1,9 = \\ &= 222,3 \cdot 10^{-12} \text{ (м)}, \end{aligned} \quad (5)$$

что с точностью  $3,4 \%$  соответствует справочным данным, а учитывая расстояние электрона (находящегося на  $9R_0$ ) от  $4R_0$  орбитали в молекуле водорода получим:

$$\begin{aligned} d_{H0} &= 2 \cdot (4R_0 + 0,1R_0) = 2 \cdot (4R_B + 0,1R_B) / 1,9 = \\ &= 2 \cdot (4 \cdot 52,8 + 5,28) \cdot 10^{-12} / 1,9 = \\ &= 227,87 \cdot 10^{-12} \text{ (м)}, \end{aligned} \quad (6)$$

погрешность определения эффективного диаметра молекулы водорода не превышает  $0,93 \%$ .

При сообщении молекуле водорода энергии  $2,35 \times 2 \text{ эВ}$  последняя диссоциирует. Пересечение орбит, и сжатие орбиталей исчезает, а  $9R_0$  увеличивается до  $9R_B$ , отбрасывая атомы друг от друга. Электроны с орбиталей  $9R_B$  атомов переходят на  $4R_B$  орбитали, так как при образовании молекулы электроны были подняты с  $4R_B$  орбиталей на  $9R_B$  орбитали силой Ампера без затрат энергии извне. При диссоциации молекулы электрон соседнего атома с  $4,1R_0$  отбрасывается на  $9,01R_0$  от ядра соседа, на что затрачивается энергия  $2,113 \text{ эВ}$ , равная потенциалу образования атомарного водорода составляющую  $2,11 \text{ В}$ . На перемещение электрона с  $9R_0$  на  $9R_B$  затрачивается энергия  $0,261$

эВ. В итоге энергия диссоциации атома водорода составляет 2,37 эВ, что с точностью до 1,0 % соответствует справочным данным 2,35 эВ [11].

Так как уже при 0 °С более 50 % молекул водорода достигают скоростей порядка 1500 м/с, все описанные выше процессы осуществляются за доли секунды (за время порядка  $10^{-6}$  с и менее).

### Выводы

С основной орбиты электрона  $R_B$  молекулярную связь между атомами водорода осуществить нельзя, так как в соответствии с постулатом И.Е. Тамма взаимодействующий атом должен отдать на молекулярную связь до половины своей собственной энергии (запрет на пересечение Боровской орбитали). Взаимное пересечение возбужденных орбиталей двух атомов означает образование электронной связи. В момент образования электронной связи между двумя атомами молекула получает две вращательные и одну колебательную степени свободы. В силу принципа неопределенностей В. Гейзенберга и постулатов Н. Бора запрещено смыкание (касание) молекулярной Боровской орбитали с  $4R_0$  и  $9R_0$  соседнего атома, а также касание любых орбиталей одного атома орбиталей другого, поэтому молекула может существовать только при наличии нулевых колебаний, подтверждая выводы квантовой физики.

В целом предложенная модель позволяет определить строение и размеры молекулы водорода в невозбужденном состоянии и объясняет с позиций классической физики расстояние между атомами в молекуле водорода, а также причину нулевых колебаний. Размеры представленной двухатомной модели молекулы определяются взаимным расположением двух возбужденных атомов. Устойчивость молекулы обеспечивается кулоновским взаимодействием атомов, непрерывным движением электронов связи вокруг центра масс системы и колебательным процессом ядер атомов.

### Литература

1. Голдобина Л.А., Шкрабак В.С., Орлов П.С. Предупреждение аварий и катастроф на катоднозащищенных подземных трубопроводах бесконтактными методами идентификации коррозионного разрушения [Текст]: монография / Л.А., В.С. Шкрабак, П.С. Орлов. – Ярославль: Изд-во ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА», 2012. – 204 с.
2. Гусев В.П., Орлов П.С., Голдобина Л.А. Структура электрона и оболочки 1 S, энергия Тамма и структура жидкого гелия. // «Фундаментальные и прикладные проблемы науки». Материалы VI Международного симпозиума 13-15 сентября 2011 г. Том 1. – М.: РАН, 2011. – С. 52–57.
3. Голдобина Л.А., Орлов П.С. Пути снижения аварийности на подземных трубопроводах коммунального хозяйства. // «Инновационные процессы в сфере сервиса: проблемы и перспективы». Сборник научных трудов по результатам II Международной научно-практической конференции 16 июня 2010 г. Том 2. – СПб.: Изд-во СПбГУСЭ, 2010. – С. 296 – 300.
4. Голдобина Л.А., Гусев В.П., Орлов П.С., Шкрабак В.С. Способ повышения стойкости металла трубопроводов к коррозии. // Положительное решение от 01.02.2013 г. о выдаче патента РФ по заявке от 27.04.09 г. Дата публикации заявки 10.11.2010 г. № 2009116050/02 (022007).
5. Орлов П.С. Механизм разрушения трубной стали при наводороживании металла / П.С. Орлов // Материалы докладов межвузовской научно-методической конференции. – Ярославль: ЯГСХА, 1996. – С. 35 – 38/
6. Степин Б.Д., Цветков А.А. Неорганическая химия. – М.: Высшая школа, 1994. – 608 с.
7. Тамм И.Е. Основы теории электричества. – М.: Наука, 1976. – 613 с.
8. Орлов П.С., Гусев В.П. Уточнение физической модели фазовых переходов первого рода на примере водорода. // «Наука и технологии». Т.2. Труды XXVI Российской школы. – М.: РАН, 2006. – С. 153 – 165.
9. Грабовский Р.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1980. – 607 с.
10. Френкель Я.И. Введение в теорию металлов. – Ленинград: Наука, 1972. – 424 с.
11. Таблицы физических величин. // Под ред. И.А. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976.

<sup>1</sup> Гусев Валерий Павлович - кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры ТПМ Ярославского филиала МИИТ, моб.: +7 (920) 650 35 79;

<sup>2</sup> Орлов Павел Сергеевич – д.т.н., доцент; профессор, зав. кафедрой, «Физика и электротехника» ЯГСХА, тел.: (4852) 55 -72-54; (4852)55-28-83;

<sup>3</sup> Голдобина Любовь Александровна – д.т.н., профессор; профессор, кафедры «Техническая механика» СПбГУСЭ, тел. 8 (812) 482-80-47, e-mail: lubagoldobina@rambler.ru