



<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/be3-118-038>

DOI: 10.30889/2523-4692.2018-03-01-038

AGGREGATE TRANSFORMATIONS AND PHASE TRANSITIONS OF THE 2nd GENUS

АГРЕГАТНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ 2-ГО РОДА

Serkov A.T. / Серков А.Т.,

Serkov A.A. / Серков А.А.

ООО НИЦ (Научно-инженерный центр) «Углекимволокно»,
141 009. Московская обл., г. Мытищи, ул. Колонцова, д. 5

Аннотация. Рассмотрен новый подход к проблеме агрегатных и фазовых переходов, при котором в основу берётся предположение о том, что частицы вещества (атомы, молекулы) взаимодействуют между собой своими массами по обратно квадратичному закону тяготения. Поэтому во всех состояниях они находятся в орбитальном движении относительно друг друга. Принципиальное отличие агрегатных переходов от фазовых состоит в том, что при агрегатных переходах изменяются типы орбит. Разомкнутая параболическая орбита при конденсации превращается в замкнутую круговую. Круговая орбита при отверждении превращается в эллиптическую. В то время как при фазовых переходах происходит только изменение ориентации частиц относительно друг друга без изменения типа орбитального движения. Фазовый переход 2-го рода связан с изменением характера орбитального движения. Движение по эллиптическим орбитам превращается в движение по круговым орбитам и скорее может быть отнесён не к фазовым, а к агрегатным переходам. Поскольку при этом переходе резко повышается хрупкость и наблюдается тенденция к измельчению материала, поэтому предлагается назвать возникающее агрегатное состояние порошковым агрегатным состоянием.

1. Введение.

Агрегатные и фазовые превращения веществ являются наиболее распространёнными явлениями в природе. Всего же в различных литературных источниках называют более двух десятков термодинамических состояний вещества, которые переходят из одного состояния в другое, не изменяя химического состава.

Приведём одну из известных классификаций. Твёрдое тело: аморфное (стеклообразное) состояние, кристаллы (монокристалл, поликристалл, кристаллит), сверхтекучее твёрдое тело. Мезофазное состояние: жидкий кристалл (нематик, смектик, холестерик), мезоген, колончатая фаза, клеточная мембрана. Жидкость: расплав, перегретая жидкость, переохлаждённая жидкость, растянутая жидкость, сверхкритическая жидкость, сверхтекучая жидкость. Газообразное состояние: идеальный газ, реальный газ, пар, насыщенный пар, перегретый пар, пересыщенный пар. Плазменное состояние.

Принято считать, что в основе переходов из одного состояния в другое лежит температура вещества, количество подведённого тепла и в конечном итоге тепловая скорость частиц (атомов, молекул), из которых состоит вещество. И это действительно так. Вопрос не требовал бы дополнительного рассмотрения, если с подводом (отводом) тепла наблюдалось плавное, монотонное изменение свойств вещества. Фактически в большинстве случаев при нагреве твёрдого тела в результате агрегатного (фазового) перехода происходит плавление, а нагреве жидкости – её кипение. Это указывает на сложность явления перехода. Объяснение его механизма помимо



теплопередачи требует привлечения других физических закономерностей.

Наиболее сложно дело обстоит с фазовыми переходами 2-го рода. Их чётко зафиксированное количество сравнительно невелико: переход ферромагнитных веществ (железа, никеля) при определенных давлении и температуре в парамагнитное состояние; переход металлов и некоторых сплавов при температуре, близкой к 0 К в сверхпроводящее состояние, характеризующееся скачкообразным уменьшением электрического сопротивления до нуля; превращение обыкновенного жидкого гелия (гелия I) при $T = 2,9$ К в другую жидкую модификацию (гелий II), обладающую свойствами сверхтекучести. Интуиция подсказывает, что фазовые переходы второго рода имеют универсальный всеобщий характер и присущи всем веществам, но с конкретными особенностями проявления для каждого вещества.

Утверждается, что фазовые переходы второго рода не связаны с поглощением или выделением теплоты и изменением объёма. Эти переходы характеризуются постоянством объёма и энтропии, но скачкообразным изменением теплоёмкости. Их трактовка предложена *ЛД Ландау*. Согласно этой трактовке, фазовые переходы второго рода связаны с изменением симметрии. Выше точки перехода система, как правило, обладает более высокой симметрией, чем ниже точки перехода. В настоящее время принято говорить не об изменении симметрии, но о появлении в точке перехода параметра порядка, равного нулю в менее упорядоченной фазе и изменяющегося от нуля (в точке перехода) до ненулевых значений в более упорядоченной фазе [1].

Как видно из приведенных примеров фазовых переходов 2-го рода, все они совершаются при очень низких температурах, где тепловые эффекты крайне малы и с трудом обнаруживаются экспериментально. Тем не менее, исходя из закона сохранения энергии, трудно представить процесс изменения состояния вещества без выделения или поглощения энергии. Правда, такая возможность появляется, если в выражении термодинамического потенциала вместо термодинамического значения энтропии вводится её вероятностное значение [2], что, видимо, и было сделано.

Возможен новый подход к проблеме агрегатных и фазовых переходов, если в основу взять предположение о том, что частицы вещества (атомы, молекулы) взаимодействуют между собой своими массами по обратно квадратичному закону тяготения. Поэтому во всех состояниях они находятся в орбитальном движении относительно друг друга [3]. В этом случае агрегатные и фазовые переходы увязываются с характером орбитального движения, изменениями орбит, по которым движутся частицы. Например, переход от реального газа (перегретого пара) к насыщенному состоянию означает изменение орбиты с гиперболической к параболической. Переход к жидкому состоянию вызван сменой разомкнутой параболической орбиты на замкнутую эллиптическую и круговую орбиту. В том и другом случае мы имеем дело с изменением агрегатного состояния, которое совпадает с фазовым переходом 1-го рода.

Переход от жидкого состояния к твердому, следуя принятой логике,



происходит при изменении орбитального движения частиц с кругового на эллиптическое по траектории эллипса, вписанного в круговую орбиту. Наконец, при охлаждении твёрдого тела и, соответственно, снижения энергии орбиты, по которой осуществляется орбитальное движение в твёрдом теле, орбита при очень низких температурах неминуемо из-за потери энергии снова превращается в круговую, но с меньшим радиусом по сравнению с предыдущей круговой орбитой, см. кривая (2) на рис.1.

В этой статье обосновывается предположение, что это последнее превращение соответствует фазовому переходу 2-го рода. То есть фазовый переход 2-го рода есть фазовый переход в твёрдом теле, обусловленный изменением эллиптической орбиты на круговую орбиту при охлаждении твёрдого тела до определённой температуры – температуры фазового перехода 2-го рода данного вещества.

При орбитальном движении определяющим параметром является расстояние между взаимодействующими частицами в системе. Для заданных масс гравитирующих частиц оно определяет орбитальную скорость и вид орбиты и, следовательно, тип агрегатного состояния. Таким образом, расстояние между частицами может служить однозначным критерием и признаком того или иного агрегатного состояния. Правда, эта однозначность нарушается, когда в действие вступает параметр ориентации взаимодействующих частиц. Это имеет место при отклонении формы частиц от шарообразной. Например, при кристаллизации расстояние между частицами, предписываемое закономерностями орбитального движения, нарушается вследствие образования сильных межмолекулярных связей, действующих асимметрично. Типичным примером здесь является агрегатный переход «вода – лёд». Он же фазовый переход 1-го рода.

Существует смешение понятий, и даже недопонимание различий между агрегатными и фазовыми переходами. В свете изложенных выше соображений представляется логичным связать явление агрегатного перехода с изменением расстояния между частицами, то есть с типом орбит в орбитальном взаимодействии. А явление фазовый переход – с разной ориентацией молекул во время фазового перехода, но в пределах одного типа орбитального взаимодействия.

В этом случае становится понятным возникновение нескольких фазовых состояний вещества, находящегося в одном и том же агрегатном состоянии, например, в твёрдом, или жидкокристаллическом. В целом «орбитальный» подход к проблеме агрегатных и фазовых переходов, как будет показано ниже, позволяет дать исчерпывающую характеристику фазовым переходам 1-го и 2-го рода и установить их место в общей цепи (картине) агрегатных и фазовых переходов.

С целью более объективного применения постулированного выше «орбитального подхода» к рассмотрению агрегатных состояний веществ рассмотрим некоторые закономерности динамики орбитального движения в астрономии, где оно изучено наиболее детально и имеет богатые традиции.



2. Орбитальное движение тел в астрономии.

Орбитальное движение тел рассматривается в разделе астрономии – небесная механика. Её основой являются закон тяготения **И Ньютона** и законы орбитального движения небесных тел **И Кеплера**. Основные закономерности орбитального движения обычно суммируются в виде рисунка с изображением орбит разного типа в зависимости от орбитальной скорости или расстояния между гравитирующими телами. Такое изображение даётся на рис.1.

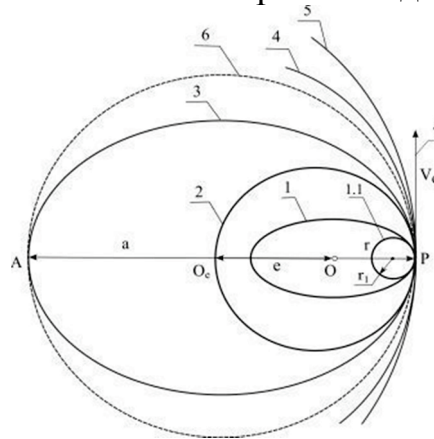


Рис.1. Типы орбит в зависимости от орбитальной скорости

(потенциальной энергии орбиты, расстояния между телами): *O*- центр круговой орбиты, *O_e*- центр эллиптической орбиты, *P*- перигей (перигеицентр) орбиты, *A*- апогей (апогеицентр) орбиты, *r*- радиус круговой орбиты, *r₁*- радиус круговой орбиты «внутреннего» эллипса, *a*- большая полуось, *e = Oe/OP*- эксцентриситет орбиты, *v_o*- орбитальная скорость, *1*- эллиптическая орбита («внутренний» эллипс), *1.1*- круговая орбита «внутреннего» эллипса, *2*- круговая орбита, *3*- эллиптическая орбита, *4*- параболическая орбита, *5*- гиперболическая орбита, *6*- круговая орбита с радиусом большой полуоси эллипса, энергетически эквивалентная эллиптической орбите.

Вид орбиты в конечном итоге определяется её потенциальной энергией тяготения E_p :

$$E_p = GM_1M_2/R, \tag{1}$$

где G - гравитационная постоянная, M_1 и M_2 - масса центрального и орбитального тела, R - расстояние между телами.

Для круговой орбиты (кривая 2) с орбитальной скоростью v_0 потенциальная энергия равна двум кинетическим:

$$E_p = 2E_k = M_2v_0^2, \tag{2}$$

Это следует из приводимых ниже соотношений. Если уравнение орбитальной скорости круговой орбиты (3.1) умножить на величину $M_o/2$, то получим выражение (3.2)

$$v_k^2 = GM_c/r_p \tag{3.1} \quad v_k^2 M_o/2 = GM_c M_o/2r_p \tag{3.2} \quad 2v_k^2 M_o/2 = GM_c M_o/r_p \tag{3.3} \tag{3}$$

Здесь v_k - орбитальная скорость на круговой орбите, G - гравитационная постоянная, r_p - радиус в перигеицентре, M_c и M_o - массы центрального и орбитального тела.

Левая часть полученного уравнения (3.2) выражает кинетическую энергию



орбитального тела, а правая половину его потенциальной энергии. Следовательно, потенциальная энергия тела, находящегося на круговой орбите равна двум кинетическим на той же орбите (3.3).

При увеличении скорости выше круговой для эллиптической орбиты с возросшей орбитальной скоростью и максимальным эксцентриситетом (кривая 3), или параболической орбиты (кривая 4) орбитальная скорость (v_p) равна:

$$v_p^2 = 2GM_c/r_p = 2v_k^2, \quad (4)$$

то есть к фактической орбитальной круговой скорости добавляется ещё v_k^2 и энергия параболической орбиты становится равной трём кинетическим энергиям круговой орбиты $E_p = 3E_k = 3/2 M_o v_o^2$. Это можно видеть, если левую и правую часть уравнения круговой орбитальной скорости (3.1) умножить на величину $3M_o/2$:

$$v_k^2 3M_o/2 = GM_c 3M_o/2r_p, \quad (5.1) \quad 3v^2 M_o/2 = 3GM_c M_o/2r_p \quad (5.2) \quad (5)$$

Уравнение (5) имеет сходство с основным уравнением молекулярно-кинетической теории, что может указывать на общность закономерностей. Детально этот вопрос рассматривается в разделе 3.

Дальнейшее увеличение орбитальной скорости приводит к переходу к гиперболическим орбитам (кривая 5) и сопровождается максимальным ростом их потенциальной энергии.

Теперь рассмотрим изменение вида орбиты при уменьшении орбитальной скорости ниже круговой. В этом случае потенциальная энергия орбиты становится меньше $2E_k$, а сама орбита приобретает форму эллипса (кривая 1), вписанного в круговую орбиту с радиусом r . По соображениям, которые будут рассмотрены позже, назовём эту эллиптическую орбиту в отличие от эллиптической орбиты (кривая 3) «внутренней» эллиптической орбитой. Если продолжать уменьшать орбитальную скорость, то есть снижать потенциальную энергию орбиты, она снова приобретёт форму круга радиуса r_1 (кривая 1.1), вписанного во внутренний эллипс (1).

Описанная схема превращения орбит применялись при многоимпульсных запусках спутников с использованием низкопотенциальной промежуточной орбиты, схема которых показана на рис.2. Подобный прием использовался при запусках советских спутников связи типа «Молния», апогеи которых должны располагаться на высоте около 40000 км и американских спутников связи.

Рассмотрим пример многоимпульсного запуска спутников, то есть многократного увеличения потенциальной энергии орбиты спутника. Спутник запускается с космодрома, расположенного в точке A , см. рис.2, на эллиптическую орбиту с апогеем над точкой A . Разогнав спутник до круговой скорости в точке B , мы выведем его на низкую промежуточную круговую орбиту (кривая 1).

Если сообщить спутнику в точке C приращение скорости, включив двигатель, то спутник перейдет на эллиптическую орбиту с апогеем, расположенным над A . Если в апогее эллиптической орбиты сообщить еще одно приращение скорости, то можно перевести спутник на новую орбиту. В частности, если довести скорость в точке D до местной круговой, то спутник



перейдет на круговую орбиту (кривая 3). Если точка D находится на высоте 35 800 км, то мы получим геостационарный спутник с орбитальной скоростью 3,08 км/с.

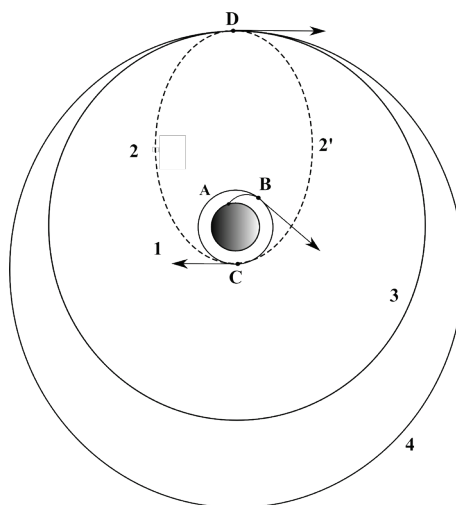


Рис.2. Схема многоимпульсного запуска спутников Земли:

1- круговая орбита, 2- эллиптическая орбита («внутренний» эллипс), 3- круговая орбита, 4- эллиптическая орбита; А- запуск спутника (космодром), В- вывод на круговую орбиту, С- вывод на эллиптическую орбиту, D- вывод на круговую орбиту.

Наконец, в апогее промежуточной орбиты (кривая 2) можно превысить с помощью бортового двигателя местную круговую скорость, и тогда точка D станет перигеем новой эллиптической орбиты (кривая 4). Таким путем выводятся спутники на эллиптические орбиты с высокими перигеями. В качестве примера можно указать американский спутник связи «Реле-2», запущенный на орбиту с перигеем на высоте 2 091 км и апогеем на высоте 7 411 км.

Подчеркнём, что в обоих случаях, как на рис.1, так и на рис.2, при снижении потенциальной энергии орбит после круговой орбиты следует снова эллиптическая орбита с меньшей энергией и затем с ещё меньшей энергией малая круговая орбита. Это обстоятельство важно для рассмотрения проблемы фазового перехода 2-го рода.

Теперь рассмотренные основные закономерности орбитального движения тел в космосе попытаемся адаптировать к движениям микро объектов, то есть движениям атомов и молекул, где до настоящего времени господствующее положение занимает молекулярно-кинетическая теория, которая, к сожалению, не учитывает роль орбитального движения при агрегатных и фазовых переходах.

3. Орбитальное движение атомов и молекул при агрегатных и фазовых переходах веществ.

В двух независимых научных центрах в СССР и Великобритании было показано [4, 5, 6], что атомно-молекулярные силы притяжения зависят от кривизны поверхности взаимодействующих частиц. Для шарообразных частиц диаметром менее 1 мм они изменяются прямо пропорционально массам и



обратно пропорционально квадрату расстояния между частицами, то есть выполняется обратно квадратичный закон тяготения Ньютона, но с константой тяготения на 36 десятичных порядков больше. К сожалению, этот экспериментальный факт не был оценен специалистами. В большинстве публикаций продолжают утверждать, что атомно-молекулярные силы обратно пропорциональны расстоянию в шестой степени, что справедливо только для плоских поверхностей и не согласуется с экспериментальными данными для атомов и молекул, имеющих шарообразную форму.

Из обратно квадратичной зависимости атомно-молекулярных сил от расстояния однозначно следует, что атомы и молекулы во всех агрегатных состояниях находятся в орбитальном движении относительно друг друга. Это утверждение сегодня признаётся только для обращения электронов под действием электрических сил **Кулона** вокруг ядер по неким вероятностным орбитам (орбиталям). Последовательное применение обратно квадратичного закона взаимодействия масс атомов и молекул с константой микрогравитации $1,847 \cdot 10^{28} \text{ см}^3/\text{гс}^2$ позволяет получить цельную логичную картину агрегатных превращений веществ в широком диапазоне температур, включая фазовые переходы 2-го рода.

Для наглядности рассмотрения обратимся к рис.1, суммирующему все виды орбитального движения. Но на этот раз проследим возникающие изменения в характере орбитального движения по мере уменьшения энергии орбит, что будет отражать снижение температуры и соответствующее изменение агрегатного состояния веществ при их охлаждении.

Поскольку в газообразном состоянии не сохраняется ни форма, ни объём вещества логично принять, что разомкнутые параболические (кривая 4) и гиперболические (кривая 5) орбиты, отражают реальные газы. Прямолинейное движение (кривая-«прямая» 6) соответствует идеальному газу, так как предполагает отсутствие какого-либо взаимодействия частиц, искажающих траекторию их движения. Напротив, степень отклонения от прямолинейности при параболическом и гиперболическом движении говорит о силе межмолекулярного взаимодействия и, следовательно, о роли орбитальной составляющей в энергии движения частиц. Энергия прямолинейной орбиты (траектории) максимальна. Далее по мере снижения температуры и усиления роли орбитальной составляющей в ряду орбит: гиперболическая, параболическая, эллиптическая, круговая, эллиптическая и снова круговая, энергия орбиты достигает своего минимального значения при круговой орбите (кривая 1.1), вписанной во внутренний эллипс (1), на рис.1.

Энергию орбиты в астрономии принято выражать через интеграл энергии, который часто дают формулой:

$$v_o^2 = 2GM_1/R + h, \quad (6)$$

где h постоянная величина, характеризующая тип орбиты.

Формула состоит из трёх членов, отражающих кинетическую (v^2), потенциальную (GM_1/R) энергию, и постоянной величины h , выражающей постоянство суммы потенциальной и кинетической энергии орбиты и



являющейся, по-существу, энергетической характеристикой орбиты. При $h > 0$ имеем дело с гиперболическими орбитами, при $h = 0$ с параболическими орбитами и при $h < 0$ с эллиптическими и круговыми орбитами. Параболическая орбита, у которой кинетическая энергия равна потенциальной, одновременно является предельным случаем параболической и эллиптической с максимальным эксцентриситетом.

При снижении энергии орбиты ниже параболической происходит переход от разомкнутого типа орбит (гиперболических, параболических) к замкнутым орбитам (эллиптическим, круговым). Естественно связать этот переход с изменением агрегатного состояния от газообразного к жидкому, поскольку для газа характерно, что не сохраняется ни форма, ни объём. В жидком состоянии сохраняется объём вещества, но не сохраняется его форма. Правда, снижение температуры жидкости также сопровождается некоторым уменьшением объёма. Это можно объяснить переходом от более энергоёмких эллиптических орбит с большим эксцентриситетом к орбитам с меньшим эксцентриситетом и круговым орбитам, обладающими меньшей энергией.

Дальнейшее охлаждение вещества приводит к его отверждению. Оно может происходить по механизму нуклеации или стеклования. При росте твердой фазы по механизму нуклеации чаще всего образуются кристаллы. По механизму стеклования образуются аморфные вещества – стёкла и гели.

Охлаждение жидкости приводит к снижению скорости движения атомов (молекул) ниже орбитальной круговой v_k , формула (7):

$$v_k^2 = g m_c / r, \quad (7)$$

Здесь g - константа микрогравитации, m_c - масса центрального тела, r - орбитальный радиус

Возвращаясь к рис.1, можно предположить, что при этом произойдёт изменение орбитального движения частиц с круговой орбиты (кривая 2) к орбите внутреннего эллипса (кривая 1), энергия которого ниже энергии круговой орбиты. Переход к менее энергоёмкой орбите макроскопически сопровождается тепловым эффектом. Выделяется теплота кристаллизации. Одновременно вследствие большой анизодиметрии эллиптических орбит происходит их взаимное перекрытие так, что орбита каждой орбитально движущейся частицы одновременно «управляется» из двух центров масс. Схематично картина такого орбитального движения в кристалле хлорида натрия показана на рис.3.

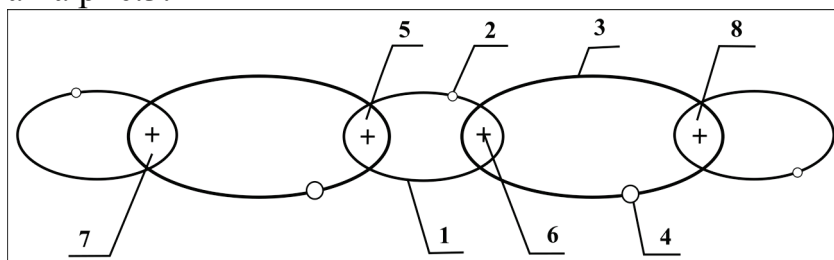


Рис.3. Схематическое изображение фрагмента кристалла хлорида натрия:
 1- эллиптическая орбита Na^+ , 2- орбитально движущийся Na^+ , 3- эллиптическая орбита Cl^- ,
 4- орбитально движущийся ион хлора, 5-, 6-, 7- и 8- центры масс.



Ионы натрия (2) и хлора (4) движутся соответственно по эллиптическим орбитам (1) и (3). Орбитальное движение инициируется в основном двумя центрами масс (5) и (6). Другие центры масс (7) и (8) оказывают значительно меньшее влияние на данные

ионы, так как удалены на большее расстояние. Центры масс расположены в узловых точках кристалла, и они неподвижны, что и обеспечивает сохранение формы твердого тела. В то время как ионы натрия и хлора орбитально вращаются вокруг них. Такое положение не просто представить себе. Оно сродни задаче, после решения которой и преследований Галилей повторил: «И всё же она вертится!».

Теперь самое главное, и несомненно новое в этой статье. Если продолжить охлаждение твёрдого тела, то энергия эллиптической орбиты будет снижаться, оси «внутреннего» эллипса уменьшаться и в конечном итоге эллиптическая орбита (кривая 1, рис. 1) превратится в круговую орбиту (кривая 1.1). Такое изменение характера орбитального движения макроскопически, можно предположить, выражается в виде фазового перехода 2-го рода. В пользу такого предположения говорят три обстоятельства. Первое. Превращение эллиптической орбиты в круговую происходит в твердом состоянии при низкой температуре, что характерно для некоторых случаев фазовых переходов 2-го рода (изменение магнитных свойств, появление сверхпроводимости).

Второе, круговые орбиты малых размеров, см. рис.1, кривая 1.1, должны способствовать снижению электрического и гидродинамического сопротивления, что коррелируется с явлениями сверхпроводимости и сверхтекучести, наблюдаемыми при фазовых переходах 2-го рода.

И, наконец, третье: превращение анизодиаметричных эллиптических орбит в круговые объясняет повышение хрупкости твёрдых тел, их переход в порошкообразное состояние, так что впору говорить о пятом виде агрегатного состояния – порошкообразном агрегатном состоянии веществ.

Понятно, что изменение характера орбит при уменьшении их энергии предписывается обратно квадратичным законом тяготения и потому является всеобщим, универсальным. Следовательно, на основании изложенного можно полагать, что и фазовый переход 2-го рода также имеет универсальный характер, что каждое вещество претерпевает этот переход при снижении температуры в определённом интервале температур путём изменения типа орбиты с эллиптической на круговую. Однако, изменяющиеся свойства (сверхпроводимость, сверхтекучесть, намагниченность, хрупкость) и интервал температур перехода зависят от индивидуальных особенностей вещества, хотя общая закономерность, задаваемая переходом от эллиптических орбит к менее энергоёмким круговым должна сохраняться во всех случаях.

Выводы

1. Предложен новый подход к проблеме агрегатных и фазовых переходов, при котором в основу берётся предположение о том, что частицы вещества (атомы, молекулы) взаимодействуют между собой своими массами по обратно квадратичному закону тяготения. Поэтому во всех состояниях они находятся в



орбитальном движении относительно друг друга.

2. Агрегатные и фазовые переходы увязываются с характером орбитального движения, изменениями орбит, по которым движутся частицы. Переход от реального газа (перегретого пара) к насыщенному состоянию означает изменение орбиты с гиперболической к параболической. Переход к жидкому состоянию вызван сменой разомкнутой параболической орбиты на замкнутую эллиптическую и круговую орбиту.

3. Переход от жидкого состояния к твердому происходит при изменении орбитального движения частиц с кругового на эллиптическое по траектории эллипса, вписанного в круговую орбиту. При охлаждении твёрдого тела и, соответственно, снижения энергии орбиты, по которой осуществляется орбитальное движение в твёрдом теле, орбита при очень низких температурах из-за потери энергии снова превращается в круговую, но с меньшим радиусом по сравнению с предыдущей круговой орбитой.

4. Высказано предположение, что фазовый переход 2-го рода обусловлен изменением типа орбиты с «внутреннего» эллипса на круговую, вписанную в этот эллипс. Это происходит из-за снижения энергии орбиты при глубоком охлаждении твёрдого тела.

5. Резкое (скачкообразное) повышение хрупкости твёрдого тела превращение его в порошок при понижении температуры связано с изменением типа орбиты с анизодиаметричного эллипса на круговую орбиту.

6. Представляется логичным связать явление агрегатного перехода с изменением расстояния между частицами, то есть с типом орбит в орбитальном взаимодействии. А явление фазовый переход – с разной ориентацией молекул во время фазового перехода, но в пределах одного типа орбитального взаимодействия.

7. Скачкообразное повышение хрупкости твёрдых тел и их переход при охлаждении в порошкообразное состояние обусловлено изменением типа орбитального движения в твёрдом теле с эллиптического на круговое. В этой связи порошкообразное состояние следует рассматривать как пятый вид агрегатного состояния, при котором орбитальное движение в основном происходит по круговым орбитам.

Литература

1. ИИ Новиков, Фазовые переходы и критические точки между твёрдотельными фазами, М, Наука, 2008, с.145.

2. АТ Серков, МБ Радишевский, АА Серков, Термодинамическая энтропия, в книге «Гипотезы-2», М. изд. «Авторская Мастерская», 2016г, с.314.

3. A Serkov, A Serkov, Kepler's third law in atomic systems, in the book "Microgravity in atom", Lambert Academic Publishing, 2017, p.39.

4. З. Б.В.Дерягин, Н.В.Чураев, В.М. Муллер, Поверхностные силы, 1985, Изд. «Наука», с106.

5. J.N. Israelachvily, *Contemporary Phys.*, 15, p.159, (1974).

6. J.N. Israelachvily, *Intermolecular and Surface Forces*, 3rd edn N.Y. Acad. Press, 2011, p.151.