



ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(СПбГУ)

**ВЫПИСКА**

14 мая 2019 г. \_\_\_\_\_ из протокола № \_\_\_\_\_ 05

заседания Ученого совета Физического факультета  
Санкт-Петербургского государственного университета

Подлинник протокола находится в делах Ученого совета Физического факультета СПбГУ

Председатель: декан физического факультета профессор, член-корреспондент РАН  
М.В.Ковальчук

Председательствующий: профессор А.К. Щекин  
Ученый секретарь: доцент Т.Л. Ким  
Присутствовали: 30 из 36 членов Ученого совета

**СЛУШАЛИ:** о выдвижении на соискание премии РАН имени академика  
П.А. Ребиндера

Председатель Научной комиссии в области физики и астрономии физического факультета СПбГУ профессор В.М. Шабает выступил с предложением выдвинуть авторский коллектив в составе **Щёкина Александра Кимовича**, член-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессора, зав. кафедрой статистической физики СПбГУ и **Кучмы Анатолия Евдокимовича**, д.ф.-м.н., профессора, профессора кафедры статистической физики СПбГУ на соискание премии РАН имени академика П.А. Ребиндера в 2019 г. за цикл работ **«Теория нуклеации и роста частиц новой фазы в многокомпонентных системах»**.

Обнаружение универсальных особенностей в таких различных явлениях, как образование туманов и дымок в атмосфере Земли, образование пор в твердых телах, дегазация газонасыщенных жидких растворов и извержение магматических пород, всегда представляло первостепенный интерес для фундаментальной науки и требовало совместных усилий специалистов по коллоидной химии, теоретической физике, математике и физико-химической механике. В условиях быстрого установления метастабильности в замкнутой системе фазовые переходы, независимо от того, появляются ли капли, поры, кристаллы или пузырьки газа в виде частиц новой фазы, проходят через схожие стадии с определенной иерархией временных масштабов. Самой быстрой является инкубационная стадия, на которой появляются первые закритические частицы новой фазы (то есть частицы, размер которых больше

размера частицы в неустойчивом равновесии с метастабильной фазой) с преодолением активационного барьера нуклеации. Следующей является стадия нуклеации, на которой квазистационарное образование новых закритических частиц продолжается вместе с ростом уже ранее сформированных, и накопление вещества в закритических ядрах постепенно начинает истощать начальное пересыщение исходной фазы, в конечном итоге останавливая образование новых закритических ядер. Гораздо дольше длится стадия интенсивного роста крупных закритических частиц без образования новых, пока не исчезнет пересыщение.

В специально разработанных экспериментах возможно остановить или искусственно продлить любую стадию фазового перехода. Если кинетическая теория стадии известна, каждая стадия открывает определенные возможности для получения информации о свойствах дисперсных нано- и микрочастиц с различными размерами и составом, который может быть использован для передовых технологий производства наноструктурированных твердых пленок, высокопористых пен и твердых матриц. Самые богатые возможности появляются здесь в случае многокомпонентной нуклеации.

В представляемом цикле работ получили новое развитие термодинамика и кинетика образования и роста частиц новой фазы в различных по природе системах с двумя и произвольным числом компонентов в широком диапазоне внешних условий. Этот цикл включает 28 статей, выполненных на кафедре статистической физики физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета в период с 2008 по 2019 гг. и опубликованных в ведущих отечественных и зарубежных журналах и материалах международных рабочих семинаров. Результаты этих работ были представлены (в том числе, в виде пленарных докладов и приглашенных лекций) на 31 международной конференции и семинарах, проходивших в России, Португалии, Канаде, Австрии, Италии, Германии, Испании, Японии, Южной Корее, Китае, Болгарии, Чехии, Бельгии, Голландии и других странах.

В частности, выдвигаемый цикл работ содержит новые теоретические результаты, объясняющие термодинамические и кинетические закономерности зарождения капель раствора на частицах гигроскопической соли при увеличении влажности в парогазовой среде и обратной кристаллизации соли из раствора в малой капле при понижении влажности или температуры парогазовой среды. С учетом ограниченности количества молекул соли внутри капли, осмотического и расклинивающего давлений в капле и малости размера капли проанализированы химический потенциал растворенного вещества, активационные барьеры прямого и обратного переходов с частичным и полным растворением кристаллика соли и его кристаллизацией. Аналитически решено кинетическое уравнение, описывающее установление квазиравновесного и квазистационарного распределения частиц новой фазы на инкубационной стадии фазового перехода при наличии устойчивой и неустойчивой переменной состояния



частицы новой фазы и показана возможность их кроссовера при изменении внешних условий.

Также в работах цикла впервые описана переходная динамика диффузионного роста или исчезновения отдельных частиц новой фазы, для которых можно пренебречь избыточным лапласовым давлением, в многокомпонентных системах до достижения стационарного состава частиц, отвечающего заданным начальным внешним условиям. Получена строгая система уравнений для размера, состава и температуры многокомпонентной капли неидеального раствора при ее неизотермическом конденсационном росте или испарении в диффузионном режиме в многокомпонентной смеси паров и неконденсирующегося газа-носителя. Вместе с полными уравнениями переноса вещества и тепла в парогазовой среде вокруг капли, полученная система в общем случае описывает нестационарный рост или испарение капли при произвольных начальных условиях (начальных размерах и температуре капли и концентрациях неидеального многокомпонентного раствора в капле) и установление стационарных значений состава, температуры и скорости изменения размера капли с учетом тепловых эффектов, диффузионного, термодиффузионного переноса вещества, стефановского течения и перемещения поверхности капли, неидеальности раствора в капле. Рассмотрена упрощенная система, полученная при пренебрежении вкладами от течения, перекрестных эффектов и теплового расширения в уравнения переноса вещества и тепла в парогазовой среде. Исследована динамика изменения размера и состава капли в смеси двух паров и неконденсирующегося газа-носителя при произвольном начальном размере капли и двух предельных начальных концентрациях раствора в капле, соответствующих чистым первому и второму компонентам. Проанализированы условия немонотонного изменения радиуса капли во времени. Исследована физическая ситуация при бинарной конденсации, когда на начальном этапе, прежде чем капля начинает расти и устанавливается стационарная концентрация раствора в ней, происходит существенное уменьшение размера капли. Рассмотрена и противоположная ситуация, когда капля на начальном этапе растет, а затем переходит в режим монотонного испарения. Были также получены уравнения, описывающие переходные и стационарные режимы изменения размера и состава газового пузырька, который растет или сжимается вследствие диффузии нескольких газов, растворенных в жидком растворе. Аналитические решения для полученных эволюционных уравнений были найдены для пузырьков любого размера с произвольным числом компонентов в случае равных произведений диффузии и растворимости растворенных газов в жидком растворе и для достаточно больших бинарных пузырьков, для которых капиллярными эффектами можно пренебречь.

Построена теория стадии нуклеации и роста закритических многокомпонентных капель и пузырьков с учетом эффектов нестационарности, лапласова давления, неизотермичности, исключенного объема и стефанова течения, концентрационной зависимости коэффициентов

диффузии и неидеальности многокомпонентной системы. Следует отметить, что существует два основных подхода к теории фазовых переходов первого рода в замкнутой системе: подход со среднеполевым пересыщением и подход с исключенным объемом. Первый подход подразумевает, что зарождение и рост закритических частиц новой фазы определяется стационарной диффузией молекул и сопровождается синхронным и равномерным уменьшением среднего пересыщения. Подход с исключенным объемом основан на автотомельном решении для нестационарной диффузии в закритические частицы и учитывает, что зарождение новых частиц подавлено вокруг растущих частиц. В выдвигаемом цикле была последовательно построена теория стадии нуклеации с произвольным числом компонентов и любыми значениями пересыщений при образовании газовых пузырьков в жидких растворах и при образовании капель в пересыщенных парах. Стадия нуклеации является важной стадией дегазации при декомпрессии в жидкогазовых растворах и конденсации в пересыщенных парах, на которой образуется распределение размеров пузырьков газа или капель жидкости, являющееся отправной точкой для их дальнейшей эволюции. В работах цикла было показано, что зависимость поверхностного натяжения малого закритического пузырька от состава и размера не влияет на развитие стадии нуклеации, но влияет на скорость нуклеации при начальном полном пересыщении. Анализ эффектов нестационарной диффузии подтвердил, что они могут быть очень значительными в росте многокомпонентных пузырьков и, в частности, ответственны за большое набухание и вспенивание жидкого раствора. Был предложен подход, позволяющий находить пересыщения паров и распределение закритических капель по размерам в зависимости от времени для идеального и реального многокомпонентного раствора в каплях.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Ученый совет Физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета считает, что по своему научному уровню и тематической направленности цикл работ «Теория нуклеации и роста частиц новой фазы в многокомпонентных системах» авторского коллектива в составе Щёкина Александра Кимовича, чл.-корр. РАН, зав. кафедрой статистической физики СПбГУ и Кучмы Анатолия Евдокимовича, профессора, профессора кафедры статистической физики СПбГУ соответствует премии имени академика П.А. Ребиндера, присуждаемой за выдающиеся работы в области коллоидной химии и химии поверхностных явлений.

Ученый секретарь

Верно:  
ученый секретарь совета  
«14» мая 2019 г.



Т.Л. Ким

Т.Л. Ким