ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе
П.С.Терентьева «Кинетические закономерности роста морфологически сложных диссипативных структур»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Основная часть рецензируемой работы посвящена исследованию кинетики формирования дендритных структур при кристаллизации хлористого аммония из его водного раствора. В ней в сбалансированном объеме присутствуют и экспериментальная, и теоретическая части. Закономерности, обобщающие экспериментальный материал по росту кристаллов различного вида, являются предметом поиска многочисленных исследователей. Поэтому **актуальность работы П.С.Терентьева не вызывает сомнений**. Поводом для столь общего названия диссертации, по-видимому, послужил материал заключительной главы, в которой тенденции, выявленные в процессе изучения роста кристаллов, переносятся в совершенно иную область – в изучение законов роста различных живых организмов и показывается универсальность этих тенденций. Сразу отмечу, что проведение столь сложного исследования, несомненно, под силу только широко образованному специалисту, который хорошо представляет основные законы природы, управляющие столь разнородными процессами. П.С.Терентьев демонстрирует эти качества.

Диссертант выбрал метод сегментации цифровых изображений растущих кристаллов, основанный на выделении яркостных диапазонов, после того как убедился в его большей точности и стабильности при автоматическом расчете площадей кристаллов. Он оценил погрешность измерений площади и исходя из этой оценки установил минимальный размер кристалла, обмер которого сопряжен с 20%-й погрешностью. Используя популярную компьютерную среду MATLAB R2007b и встроенный в нее пакет Image

Вх. №05-1911-401
от 08.12.14 г.

Processing Toolbox, П.С.Терентьев написал программный модуль IAT (Image Autoprocessing Tool), позволивший автоматизировать расчет площади растущих кристаллов по специально выбранным кадрам. Эта часть работы свидетельствует о хорошей экспериментальной и вычислительной подготовке диссертанта.

Научная новизна

Основные результаты своих экспериментов П.С.Терентьев приводит и обобщает в 3-й главе диссертации. Наиболее творческой частью работы был выбор комбинации измеряемых величин, поведение которой было бы более или менее универсальным для различных фрагментов растущих дендритов. Такой комбинацией оказалась скорость роста площади фрагмента S′(t), отнесенная к его площади S(t), т.е. величина, приблизительно пропорциональная производству энтропии кристалла единичного объема. Диссертант установил, что зависимости этого комплекса, а значит, и зависимости массы исследованных кристаллов от времени t имеют гиперболический вид и хорошо аппроксимируются функцией вида $\frac{a}{t} - b$, где a и b – константы процесса. Проанализировав кинетику кристаллизации большого числа фрагментов растущих дендритов, он показал, что значения коэффициента a являются практически идентичными для всех рассмотренных секторов, лишь слегка изменяясь при переходе от дендритов с $a=1.7\pm0.2$ к нерегулярным структурам с $a=1.9\pm0.1$. Введенная П.С.Терентьевым функция описывает имеющиеся экспериментальные результаты по кинетике кристаллизации дендритов как минимум не хуже предложенных ранее, но в отличие от последних она позволяет определить время остановки роста кристалла $t^*=a/b$.

Как уже указывалось, в заключительной главе диссертации П.С Терентьев качественно обосновывает применимость предложенной им двухпараметрической модели (называемой в работе DS-моделью) к процессам роста живых организмов, начиная от таракана до коровы

(табл.4.1). Он использует теорию размерностей, дополненную гипотезой о том, что изменения условий роста пропорциональны самому росту организма. В этом случае относительная скорость нарастания массы объекта должна описываться теми же уравнениями, что и обсуждаемая в предыдущей главе относительная скорость увеличения площади двумерного кристалла. Для живых организмов параметр *a* уже перестает быть универсальным и изменяется от вида к виду в довольно широких пределах, однако и его значение, полученное для кристаллов, попадает в этот интервал.

Кандидатская диссертация П.С.Терентьева представлена к защите по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника. В паспорт этой специальности включены «теоретические и экспериментальные исследования свойств веществ в жидком, твердом и газообразном состоянии при наличии всех видов тепло- и массообмена во всем диапазоне температур и давлений, теория подобия теплофизических процессов»,а также «фундаментальные, теоретические и экспериментальные исследования молекулярных и макросвойств веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии для более глубокого понимания явлений, протекающих при тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах». Таким образом, по своей тематике рецензируемая работа полностью соответствует этим критериям.

Научная и практическая ценность работы

В числе наиболее ценных результатов представленного исследования я выделяю:

- разработку и реализацию программного модуля для восстановления временных зависимостей площадей формирующихся квазидвумерных кристаллов и их частей из полученных в экспериментах видеозаписей процесса кристаллизации;
- проведение весьма объемного экспериментального исследования неравновесной нестационарной кристаллизации в пересыщенном водном растворе хлористого аммония с нерегулярной формой межфазной границы;

- обнаружение универсальности временной зависимости удельного прироста массы для сосуществующих кристаллов NH_4Cl и их частей, несмотря на существенные различия их массы, скорости ее роста и регулярности структуры дендрита;

- разработку двухпараметрической DS-модели процесса кристаллизации, включающей возможность остановки процесса роста и установление универсальности коэффициента a во временной зависимости удельного прироста массы: $m'(t)/m(t) = a/t-b$;

- демонстрацию возможности применения DS-модели роста к процессам развития живых организмов различной природы; при этом конструируется зависимость скорости роста массы биообъекта от условий, которая совпадает с зависимостью безразмерной площади растущего кристалла от времени; в отличие от имеющихся формул, в ней предусматривается конечность времени роста биосистемы.

По мнению оппонента, этот перечень говорит о том, что объем, новизна и научная ценность полученных результатов вполне соответствуют требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Замечания по диссертационной работе:

Разумеется, диссертация П.С.Терентьева не лишена и недостатков. В числе основных я бы выделил слишком свободное обращение автора с погрешностями своих измерений. В специальном разделе, посвященном этому вопросу, он называет 20% в качестве относительной погрешности измерения площади кристалла размером в 10 размеров пикселя. Во всех последующих разделах эта оценка периодически снова появляется. Спрашивается, почему для оценки погрешности он везде упоминает эти 20%? Потому, что у него с этой точностью выполняется универсальность зависимости $S'(t)/S(t)$? Но тогда и совпадение удельного прироста площади в частях дендрита со вторичными ветвями и без них тоже имеет смысл только в пределах 20%-ной погрешности!

Другие замечания:

- Диссертант утверждает, что 10-минутная выдержка ячейки перед опытом при повышенной температуре обеспечивает гомогенизацию раствора и удаление всевозможных кристаллических зародышей? (с.37). Не вполне понятно, на чем основано это утверждение?
- Из текста, приведенного на с.45, не ясно, с какой целью производилась автоподстройка фокуса камеры в процессе роста кристалла, если фиксируется его двумерный рост?
- Для доказательства преимуществ комплекса $S'(t)/S(t)$ на стр.57 приводится сравнение с двумя произвольно выбранными функциями – с ними получилось хуже. Но это вовсе не доказывает оптимальность выбора рассматриваемой функции. Получается, что это – случайно угаданная функция. Могут быть, возможно, и более удачные.
- Не могу не отметить обилие стилистических ошибок в тексте диссертации – в среднем не менее одной на страницу – это слишком много!

Разумеется, отмеченные вопросы и замечания имеют своей целью только более полное представление рассматриваемой работы Ученому совету и не ставит под сомнение ее значение для теплофизики процессов роста.

Научные положения, выводы и рекомендации, содержащиеся в диссертации, **обладают достоверностью и обоснованностью**. Поэтому они должны приниматься во внимание специалистами, изучающими закономерности роста кристаллов и живых организмов. Результаты работы хорошо апробированы на 8 международных, российских и других конференциях и опубликованы в 9 печатных работах, в том числе в 2 статьях в журналах, не просто входящих в перечень ВАК, а являющихся наиболее авторитетными в физическом мире (Physical Review E и Physica A). Кроме того, диссертантом и его научным консультантом получено Свидетельство о государственной регистрации разработанного ими программного модуля для автоматического расчета площади кристаллов на сегментированных

бинарных снимках, который упоминается на 1-й странице данного отзыва. Автореферат точно и полно отражает содержание диссертации.

Заключение

Диссертация П.С.Терентьева является законченным самостоятельным научным исследованием, посвященным актуальной проблеме. Она содержит новое научно-обоснованное решение важной проблемы – выявления общих закономерностей, связанных с изменением массы со временем при образовании структур с фазовой границей в неравновесных условиях на основе экспериментальных данных. Считаю, что в целом диссертация отвечает квалификационным требованиям, которые были установлены в п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. Ее автор Терентьев Павел Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент, профессор кафедры физики
и математического моделирования Уральского
государственного педагогического университета,
620017, Екатеринбург, пр. Космонавтов, 26,
Заслуженный деятель науки РФ,
профессор, д.ф.-м.н. Попель Петр Станиславович,
рабочие телефоны: (343) 371-46-56, (343) 371-50-66,
e-mail: pspopel@mail.ru

г.Екатеринбург 21 ноября 2014 г

Подпись Попеля П.С. заверяю инсп. ОК УрГПУ

И.А. Куртамеева