

Отзыв на автореферат диссертации Люшнина Андрея Витальевича
«Динамика ультратонкого слоя жидкости»
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Диссертация посвящена актуальной проблеме создания теории гидродинамики микроскопических жидких объектов, к которым, несомненно, принадлежат нано размерные жидкие пленки. Теоретическое исследование движения таких жидких пленок, свободно лежащих на плоской твердой поверхности и контактирующих с газовой фазой другой своей поверхностью, является целью диссертации. Очевидно, что форма свободной поверхности определяется динамикой движения пленки под действием рассматриваемых в диссертации физико-химических процессов. Именно эволюция формы свободной поверхности жидкой пленки исследуется в диссертации, и именно эта эволюция может наблюдаться экспериментально и, в частности, пространственная не-монотонность изменения толщины жидкой пленки.

Строго говоря, возможность применения гидродинамики сплошных сред на микроскопических масштабах должна быть подвергнута сомнениям из-за относительной применимости механики сплошной среды на этих масштабах. Как правило, в известных по литературе работах считается, что на рассматриваемых толщинах жидких пленок, хотя и может применяться механика сплошной среды, но при этом на первый план выходят различные физико-химические явления практически не влияющие на движение жидкости в макроскопических объемах. Подход автора диссертации полностью соответствует такой традиции «микроскопической» гидродинамики. В отличие от макроскопической гидродинамики и гидродинамики космических масштабов.

Изучение движения жидкой пленки в диссертации проводится в гидравлическом приближении. В этом приближении задача определения формы движущейся пленки сводится к анализу решений квазилинейного уравнения в частных производных для функции толщины жидкой пленки имеющего первый порядок по времени и четвертый по пространственным координатам. Такого сорта уравнения иногда называют «эволюционными». Из-за высокого порядка и нелинейности эти уравнения достаточно сложны для аналитического исследования. Поэтому автор вынужденно ограничивается численными методами и некоторым упрощением геометрической постановки соответствующих задач математической физики. Так в ходе исследования он предполагает «плоскую» геометрию жидкой пленки, когда имеется единственная пространственная координата, от которой зависит толщина пленки. А также использует решения типа «простой волны», при которой задача сводится к автомодельному движению. Если иметь в виду, что цель автора – исследовать физический феномен, то такие «упрощения» никак не влияют на результаты анализа. Случай трехмерного исследования, результаты которого приведены во второй главе диссертации, к сожалению, недостаточно подробно изложены в автореферате, хотя и выглядят физически обоснованными.

Необходимо отметить еще одно обстоятельство, существенно усложняющее такого сорта исследования. Часто образование ультратонких (по терминологии автора диссертации) пленок жидкости на твердых поверхностях связано с их контактом с макроскопическими объемами жидкости, что предполагает необходимость вычислений сразу на физически разных масштабах. Следствием этого является огромный объем вычислений при проведении численного эксперимента и высокие требования к точности и устойчивости вычислений. В пределах проводимого автором анализа этой проблемы не возникает, поэтому применяемые автором диссертации стандартные численные методы вполне адекватны характеру исследуемых проблем.

Заметим также, что используемые в диссертации уравнения эволюции жидкой пленки являются вырождающимися при толщине пленки стремящейся к нулю, то есть порядок уравнений при этом понижается. Эта проблема, вообще говоря, требует дополнительного исследования, так как носитель решения может оказаться меньше области определения. Обращение в ноль толщины пленки физически бы означало оголение твердой поверхности. В рамках проводимых исследований этот факт учтен предполагаемым характером исследуемых жидких пленок, покрывающих твердую поверхность без ее оголений. Исключение из рассматриваемых вариантов движения жидкой пленки такой ситуации также свидетельствует об адекватности применяемых математических методов.

Результаты исследований изложены в главах 2 – 5 диссертации. Основополагающей главой диссертации, несомненно, является глава 2, где фактически изложена методика исследований, применяемая и в последующих главах. В главе 2 рассматривается задача о растекании при испарении жидкости со свободной поверхности. В рамках применяемой теории автору удалось описать не-монотонное изменение толщины жидкой пленки и ее эволюция при различных скоростях испарения. Далее исследуется устойчивость образующегося фронта (резкого перепада толщин жидкой пленки) относительно трансверсальных возмущений в линейном приближении и образование при возможной неустойчивости «пальцевой» трехмерной формы испаряющейся поверхности.

Следует заметить, что динамика испарения сама представляется достаточно сложным физико-химическим процессом. Например, известно, что давление насыщающего пара зависит от кривизны свободной поверхности испаряемой жидкости. В диссертации испарение моделируется достаточно простой моделью, что, впрочем, не отменяет полученные во второй главе результаты.

В третьей главе исследовано движение жидкой пленки в постановке аналогичной второй главе диссертации, но с учетом переменности температуры жидкости и появлением, в этой связи, эффекта Марангони, который возникает из-за изменения поверхностного натяжения вдоль продольной координаты жидкой пленки. Здесь также были определены параметры физических процессов, при которых возникает немонотонность изменения толщины жидкой пленки и проведено исследование ее устойчивости к трансверсальным возмущениям формы жидкой пленки в линейном приближении.

В четвертой главе исследовано влияние термокапиллярной неустойчивости на поведение жидкой пленки. При этом предполагается, что жидкость теплопроводная слабоэлектропроводящая, в которую производится инжекция заряда со стороны свободной поверхности, то есть жидкая пленка рассматривается как некоторая неизотермическая электродинамическая система. Устойчивость в данном случае рассматривается в линейном приближении относительно плоских возмущений свободной поверхности жидкости постоянной толщины нормально к ней, бегущих вдоль пленки. Подробно исследуется взаимное влияние различных факторов на устойчивость жидкой пленки.

Здесь следует отметить, что проблема достаточно полного описания электрохимических процессов в ультратонких пленках переменной толщины до сих пор вызывает постоянный теоретический и экспериментальный интерес исследователей. Это связано с высокой сложностью процессов переноса электрического заряда в ультратонких жидких пленках из-за разнообразия их физико-химических свойств. В случае, рассматриваемом в диссертации, сделанные там физические упрощения выглядят вполне обоснованно для пленок, форма которых близка к однородной.

В пятой главе исследуется влияния поверхностно активных веществ на форму поверхности жидкой пленки при испарении. Жидкость считается изотермической, поэтому термокапиллярный эффект отсутствует. Считается в этом случае, что поверхностное натяжение линейно зависит от поверхно-

стной концентрации сурфактанта и, соответственно, имеет место концентрационный эффект Марангони. При этом учитывается как объемная, так и поверхностная диффузия. Также как и в предыдущих главах используется гидравлическое приближение для описания процесса движения жидкости и соответствующее приближение для объемной и поверхностной диффузии сурфактанта.

Постановка такой задачи представляет несомненный теоретический и практический интерес. Следует все же отметить, что строгое разделение диффузии примеси на объемную и поверхностную в случае ультратонких пленок должно быть дополнительно обосновано.

В основном методика исследования и применяемый математический аппарат повторяет предыдущие главы, хотя физические результаты имеют самостоятельное значение. В частности интересна своеобразная «стахостизация» формы поверхности жидкой испаряющейся пленки при определенных параметрах.

Исследовалась также устойчивость однородной пленки относительно нормальных бегущих возмущений ее толщины. При этом удается разделить различные моды колебаний, соответствующие различным физическим факторам.

В заключение анализа материалов автореферата диссертации следует сделать одно принципиальное замечание. Известно, что если неоднородная по толщине жидкая пленка нано размеров свободно лежит на твердой поверхности, то химический потенциал ее поверхности необходимо зависит от угла ее наклона к твердой поверхности. Роль этого фактора, судя по автореферату, никак не обсуждается в диссертации. Тем самым за пределами проведенных исследований остается целый круг физических явлений. В частности, возникновение угла смачивания Юнга.

Поводя итог, следует заключить, что, судя по автореферату, уровень поднимаемых в диссертации проблем, использование математического аппарата, отвечающего существу дела, полученные результаты и их физическая интерпретация вполне соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «механика жидкости, газа и плазмы». Автор диссертации Люшнин Андрей Витальевич заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Я, Винтайкин Борис Евгеньевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Люшнина Андрея Витальевича, и их дальнейшую обработку.

Профессор кафедры физики МГТУ им. Н.Э.Баумана, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр.1, раб.тел. (499) 263-63-68

e-mail: vintaikb@bmstu.ru, vintaikb@mail.ru

Профессор, доктор физ.-мат. наук,

Винтайкин Б. Е.

Я, Семиколонов Андрей Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Люшнина Андрея Витальевича, и их дальнейшую обработку.

Доцент кафедры физики МГТУ им. Н.Э.Баумана, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр.1, раб.тел. (499) 263-63-68, e-mail: avsemik@mail.ru, avsemik@bmstu.ru.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент

В Е Р Н О

Семиколонов А.В.



ЗАМ. НАЧАЛЬНИКА УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ

МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

А. Г. МАТВЕЕВ