

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Герасимова Дениса Николаевича

«Механика жидкости и излучение плазмы в узких диэлектрических каналах»,

представленной на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук по специальности

1.3.17. – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа посвящена исследованию процессов, происходящих при течении жидкости в узких каналах и в пористой среде. Эти процессы сопровождаются значительным количеством разнообразных нетривиальных явлений, проявление которых в значительной степени зависит от внешних условий. Например, давно известные трибоэлектрические эффекты до сих пор нельзя считать полностью изученными. Практическое значение имеет исследование аномальной диффузии, например, при намокании строительных материалов. Сложной и актуальной с практической точки зрения является также задача исследования разнообразных явлений при течении жидкости в пористых средах. В целом актуальность научных задач, решаемых в диссертации Герасимова Д. Н. не вызывает сомнений.

Анализ содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во введении кратко описаны проблемы, решению которых посвящена диссертационная работа. Намечены пути подхода к задачам, рассмотренным в диссертации, сложности, возникавшие перед учеными, занимавшимися подобными проблемами, и внесшими определенный вклад в их решение. Сформулированы еще не решенные задачи, намечены цели и пути их решения. Здесь же приведен список публикаций автора по теме диссертации, содержащий три монографии, один учебник и 33 статьи в ведущих научных журналах на русском и английском языках.

Первая глава посвящена описанию течения жидкости в пористой среде. В диссертации рассматриваются способы описания этого процесса, который является по существу частным случаем аномальной диффузии. Для его описания с успехом применяется известный в математике аппарат производных дробного порядка. Другими словами элементарный процесс диффузионного перемещения в пористой среде не может рассматриваться как независимый от предыдущих перемещений, то есть диффузия здесь является немарковским процессом и носит аномальный характер. Для описания аномальной диффузии применяется обобщенное соотношение Нернста–Эйнштейна. Развитый в первой главе теоретический аппарат с успехом применяется для сопоставления с экспериментальными данными ряда работ других авторов. Показано, что применение аппарата аномальной диффузии с использованием производных дробного порядка объясняет процесс проникновения жидкости в пористую среду, описанный в ряде экспериментальных работ. А сам процесс существенным образом зависит от влагосодержания в этой среде. Показано также, что обычные уравнения диффузии не в состоянии его описать. Другими словами такой процесс является существенно немарковским.

Во второй главе рассматривается гидродинамическая люминесценция при течении жидкости в узком диэлектрическом канале, в частности – при акустической кавитации. В отличие от первой главы, в которой диссертант использовал экспериментальные данные других авторов, взятые из литературы, в этом случае потребовалось проведение собственных экспериментов. В этой главе описаны установки для исследования гидролюминесценции воды и масла, а также установка для исследования сонолюминесценции (при ультразвуковом воздействии) воды, глицерина и других жидкостей. Проводится сопоставление этих двух эффектов, выявляется различие между ними и схожие свойства. Для обработки экспериментальных данных использовалось самостоятельно разработанное программное обеспечение, которое верифицировалось на хорошо изученных газовых разрядах. Довольно интенсивная гидролюминесценция воды и масла наблюдалась в узкой части канала при высоком перепаде давлений – порядка 30–40 атм. При этом свечение было тем ярче, чем больше воздуха содержалось в системе. Таким образом, делается вывод, что, по крайней мере, одной из основных причин свечения в рассматриваемых условиях является наличие газа в системе. Он может возникнуть в результате процессов испарения, либо присутствовать первоначально. В этой же главе рассмотрена возможность возникновения сонолюминесценции в разных средах, в частности зависимость ее интенсивности от частоты ультразвука. Сделана попытка обнаружить в рассматриваемых условиях излучение на высоких частотах, но в выполненных экспериментах ни рентгеновское, ни гамма-излучение зарегистрировано не было.

В третьей главе исследован процесс электризации жидкости при ее протекании в узких каналах под давлением в десятки и даже до ста атмосфер в результате трения о стенки канала. В этом случае электризация жидкости происходит при механическом воздействии на нее, в частности при протекании ее через резкое сужение канала. В качестве жидкости использовалась вода с подкачкой в некоторых случаях аргона, а также масло И-40А – смазочно-охлаждающая жидкость, активно применяющаяся в технике и обладающая люминесцентными свойствами. Исследования проводились в основном спектроскопическими методами, которые показали существенную неравновесность плазмы. Сравниваются экспериментальные и расчетные спектры. В основном они хорошо согласуются между собой, но есть и исключение. В эксперименте наблюдается резкое превышение (в несколько раз) интенсивности излучения аргона в эксперименте на длине волны 751 нм по сравнению с расчетом, хотя на других длинах волн имело место хорошее согласие расчета и эксперимента. Автор перебирает возможные варианты объяснения такого превышения. В результате предложен интересный вариант заселения уровня аргона $3s^23p^5(^2P^{\circ}_{1/2})4p$ через образование молекулярного иона ArH^+ с последующим захватом электрона и его диссоциацией на атом водорода и возбужденный атом аргона. Отмечается, что это возможно только при электронных температурах, значительно превышающих 10^3 К. Диагностика второй положительной серии азота показала, что колебательная температура молекул азота 4000–5000 К, а вращательная всего 300 К. Далее выполнен анализ заселенностей возбужденных уровней атома аргона в газовом пузырьке внутри жидкости. Получены распределения атомов по возбужденным уровням атома аргона в газовом пузырьке при давлениях 55, 70 и 90 атм. Во всех случаях

зависимость $N_i(E_i)$ имеет «ярко выраженный перегиб», отделяющий область высоко лежащих уровней вблизи порога континуума от остальных с меньшей энергией возбуждения. Дана интерпретация такого вида распределения атомов по возбужденным уровням. Далее в этой главе рассматривается излучение плазмы, образующейся при течении в узком канале масла И-40А. Наблюдаемые спектры содержат излучение нейтральных и ионизованных молекул азота. На основании результатов целого ряда выполненных наблюдений делается заключение, что сплошные гидролюминесцентные спектры масла – это его собственная люминесценция. А ее возбуждение происходит возникающими в разряде электронами.

Четвертая глава посвящена исследованию эффектов на межфазной поверхности при высокой температуре на границе раздела жидкости с газом или твердой фазой. Вначале рассматривается динамика колеблющегося пузырька газа в жидкости в случае его адиабатичности, находятся аналитические решения для его размеров, скорости расширения и сжатия, давления и температуры внутри него в зависимости от времени. Показано, что стационарное состояние пузыря является неустойчивым. Таким образом, при отсутствии потерь энергии или ее подпитки пузырь обречен на бесконечные колебания. Затем решается аналогичная задача в случае изотермического пузыря. В этом случае все процессы, очевидно, происходят медленнее, но не радикальным образом. Рассмотрена также задача о давлении вокруг сжимающегося пузыря в несколько более общем случае, чем она рассматривалась Релеем. Затем исследуется ситуация, когда внутри пузыря находится не только газ, но и пары окружающей его жидкости. Задача также решается аналитически, при этом полученные результаты качественно сохраняют силу при некоторой коррекции формул. Далее рассматривается процесс испарения с поверхности жидкости. Находится функция распределения испарившихся атомов по скоростям, а с ее помощью и общее количество испаряющихся с поверхности атомов и соответственно вероятность вылета атома с поверхности. Следует отметить, что уже при превышении средней энергией испарившихся с поверхности жидкости атомов их температуры всего в пять раз функция их распределения по скоростям практически перестает зависеть от температуры. Затем находится приближенное аналитическое выражение для функции распределения атомов по потенциальным энергиям, иными словами по работе, которую они совершают при отрыве с поверхности жидкости. Показано, что оно с хорошей точностью совпадает с результатом, полученным численным расчетом. Определен коэффициент испарения и проведен анализ многочисленных значений этого коэффициента, выполненных различными методами и приведенных в литературе, которые сильно различаются между собой. Найдена зависимость количества испаряющихся частиц от температуры. Последний раздел этой главы посвящен численным расчетам. Их результаты в частности хорошо согласуются с результатами аналитических методов и тем самым показывают высокую точность данных, полученных аналитически. Представляет интерес анализ отрыва частицы от поверхности жидкости в процессе испарения, вначале без учета взаимодействия с соседними частицами, потом это взаимодействие учитывается. Детально исследовано взаимовлияние встречных процессов – испарения и конденсации, в частности возможность индуцированного испарения, когда падающий на поверхность атом выбивает из нее более одного. Рассмотрен процесс взрывного вскипания жидкости, например, при контакте с сильно перегретой

поверхностью твердого тела. Представляет интерес также эффект «индуцированного испарения» при контакте жидкости с сильно нагретым паром.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Замечания по диссертации

1. В главе 3 получено распределение атомов аргона по возбужденным уровням с характерным перегибом при $E \cong 13.27$ эВ (рис. 3.1.7 и 3.1.8 в диссертации и рис. 14 в автореферате). Диссертант пытается такой характер распределения атомов по уровням объяснить не вполне оптимальным способом. Между тем такой вид распределения атомов по возбужденным уровням «с перегибом» в припороговой области имеет простое объяснение. Это область постепенного перехода от дискретного спектра к сплошному, высоковозбужденные уровни не реализуются в плазменных микрополях, соответственно их заселенность как дискретных уровней снижается, и они постепенно заменяются сплошным спектром.

2. К сожалению, в диссертации довольно много опечаток, и не только в тексте, но и в номерах формул и рисунков; например рис. 2.5.6 оказался как рис. 10, формула (3.1.12) как (12). Кроме того, для нетривиальных формул из литературы ссылку хотелось бы видеть непосредственно перед формулой, а не где-то на предыдущей странице или еще дальше. Например, это относится к (1.5.2), (1.6.3).

Сделанные замечания не снижают общую высокую положительную оценку диссертации, представленной Герасимовым Д.Н.

Полученные в диссертации результаты являются в полной мере обоснованными, что следует из сопоставления данных, полученных аналитическими методами, численными расчетами и в экспериментах, а также сравнением с литературными данными.

Достоверность и новизна научных положений и выводов диссертанта не вызывает сомнений, что подтверждается его многочисленными публикациями в научных журналах и тремя монографиями по теме представленной диссертации.

Представленная Герасимовым Д.Н. диссертация и автореферат соответствуют критериям для докторских диссертаций, установленным Положением о присуждении ученых степеней от 24.09.2013. Диссертация является завершенным научным трудом.

Дьячков Лев Гаврилович

доктор физико-математических наук по специальности Физика плазмы

dyachk@mail.ru, +7 968 8476049

ведущий научный сотрудник Теоретического отдела им. Л.М. Бибермана

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Объединенный институт высоких температур Российской академии наук

125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр. 2.

Подпись Дьяčkова Льва Гавриловича заверяю.

Ученый секретарь ОИВТ РАН

доктор физико-математических наук



Handwritten signature and date: 21.03.2024

Handwritten signature of A.D. Kivernin

А.Д. Киверин