
ИНФОРМАЦИЯ

**Рецензия на монографию
С.О. Ширяевой, А.И. Григорьева
«Заряженная капля в грозовом облаке».**

Заряженная капля является субъектом многочисленных и разносторонних исследований, отмеченных в кратком и емком введении впечатляющей монографии (изданной в Ярославском государственном университете им. П.Г. Демидова в 2008 году). Она свидетельствует о широте информированности, познавательных и профессиональных интересов авторов, среди которых физические механизмы поведения заряженных капель в грозовых облаках занимают главенствующие позиции. Авторы в рамках аналитического асимптотического подхода рассматривают линейные и нелинейные осцилляции и устойчивость заряженной капли как в вакууме, так и при наличии внешней диэлектрической среды, и осложняющем влиянии внешних силовых полей и вязкости жидкости; анализируют общефизические закономерности реализации неустойчивости капли по отношению к собственному и индуцированному электрическим зарядом; обсуждают возможность излучения осциллирующей заряженной каплей акустических и электромагнитных волн; анализируют возможность зажигания коронного разряда в окрестности нелинейно-осциллирующей заряженной капли в реалиях грозового облака. Авторам удалось собрать и в логической последовательности описать результаты теоретических исследований (проведенных ими и другими учеными), имеющих отношение к капле в грозовом облаке. Грозовое облако характеризуется множеством заряженных капель, слабых электрических полей и восходящих потоков воздуха, возможностью пробоя воздушного промежутка большой протяженности. Капля в облаке, как правило, заряжена и находится во внутриоблачном электрическом поле во взвешенном состоянии в суперпозиции гидродинамического, электрического и гравитационного полей. Осцилляции капли в этих условиях делают ее источником акустического и электромагнитного излучения. В окрестности осциллирующей в интенсивном внешнем электрическом поле сильно заряженной капли, крупной тающей градины или нескольких близко расположенных капель и градин может зажечься коронный разряд. Но перерастет ли коронный разряд в стример и приведет ли к инициированию разряда молнии, не очевидно. Остается только догадываться, какие превращения и взаимодействия капель, электрических, гравитационных и гидродинамических полей в грозовом облаке могут привести к разряду молнии.

Разряды молний и сопутствующие им раскаты грома – наиболее масштабные и заметные внешними проявлениями процессы, протекающие в грозовом облаке. Но, несмотря на то что по зрительно-слуховым впечатлениям мы хорошо знакомы с грозой, ясное представление о физических закономерностях инициирования и поддержания разряда молнии отсутствует даже у специалистов по физике атмосферного и грозового электричества. Такая ситуация, по-видимому, является следствием недостатка наблюдательной и экспериментальной информации о микро- и макропроцессах, происходящих в грозовом облаке. Многочисленные же теоретические наработки имеют пока малую гносеологическую ценность ввиду чрезвычайно большого количества реализующихся процессов, не поддающихся обобщению и осмыслению с единых позиций.

Существует множество теоретических моделей грозы разной степени убедительности, которые, однако, не раскрывают всей совокупности вопросов, возникающих у заинтересованного исследователя. Пока нет ответа на напрашивающийся простой вопрос: каким образом молния за доли секунды существования собирает для поддержания тока электрические заряды с огромного множества капелек в облаке объемом в не-

сколько кубических километров. Тем не менее можем надеяться, что каждое новое исследование закономерностей реализации линейных и нелинейных осцилляций, электростатического распада и эволюции заряженных капель в условиях грозового облака приближают нас к созданию теории грозы, адекватной современному уровню развития физики.

Изложение имеющегося материала о заряженной капле в условиях грозового облака в монографии несколько сужено, поскольку количество научных публикаций об экспериментальном и теоретическом исследовании заряженных капель, капель во внешних силовых полях, о различных аспектах электрических разрядов при атмосферном давлении и грозового электричества исчисляется многими тысячами. Отчасти это следствие того, что авторы книги ограничились главным образом рассмотрением теоретических исследований, и о многих экспериментальных работах, посвященных заряженной капле, просто не упомянули. О неоднократных успешных экспериментах по проверке справедливости критерия Рэлея, выполненных многими исследователями в разное время, сказано вскользь, без анализа специфических особенностей и условий экспериментов. Не рассмотрен и важный для понимания процессов, происходящих в грозовом облаке, вопрос об испарении заряженных капель и конденсации пара на них. Тем не менее, учитывая изобилие публикаций, появление рецензируемой монографии представляется весьма своевременным. И важно то, что она позволила свести в единую систему физических представлений значительную часть теоретических работ, посвященных заряженной капле, и наметить целесообразные направления дальнейших исследований.

Монография вводит читателя в круг методов и идей аналитического расчета осцилляций и устойчивости заряженной капли, закономерностей сброса избыточного заряда при реализации электростатической неустойчивости, излучения акустических и электромагнитных волн, зажигания коронного разряда в ее окрестности. Краткое введение к обсуждаемым проблемам составляет содержание первой главы.

Вторая глава знакомит с аналитическими исследованиями осцилляций и устойчивости заряженной капли, выполненным в линейном по амплитуде осцилляций приближении, для различных наборов внешних условий. В ней приводится первое исследование устойчивости заряженной капли идеальной несжимаемой жидкости, находящейся в вакууме, выполненное Рэлеем. Исследуются влияние наличия внешней диэлектрической среды, вязкости жидкости и закономерности потери устойчивости высокими модами осцилляций при вытягивании капли в сфероид. Проводится оценка характерного времени развития электростатической неустойчивости сильно заряженной капли, рассматриваются закономерности сброса избыточного заряда. Проанализированы особенности квадрупольного акустического и электромагнитного излучения от капли, совершающей линейные осцилляции.

В третьей главе в линейном по амплитуде осцилляций приближении анализируется влияние однородного внешнего электростатического поля на осцилляции и устойчивость заряженной капли при наличии ламинарно обтекающего ее потока газа и на закономерности ее электростатического распада.

Четвертая глава посвящена анализу, с учетом слагаемых третьего порядка, малости нелинейных осцилляций заряженной капли идеальной жидкости и исследованию влияния на нелинейные осцилляции внешней диэлектрической среды. В частности, в нелинейных расчетах оказываются отличными от нуля нулевая (радиальная) и первая (трансляционная) моды осцилляций, не учитывавшиеся в линейном анализе в силу законов сохранения объема и импульса капли. Показано, что задание начальной деформации равновесной сферической формы заряженной капли, характерное для всех типов установок по экспериментальной проверке критерия устойчивости Рэлея, приводит

к заметному искажению измеряемых значений критического заряда. Исследованы нелинейные осцилляции заряженного слоя проводящей жидкости на поверхности твердого сферического ядра (слоя воды на поверхности заряженной сферической градины).

Акустическое и электромагнитное излучения от нелинейно-осциллирующей заряженной капли исследуются в пятой главе. Поскольку в нелинейных расчетах оказываются возбужденными радиальная и трансляционная моды, осциллирующая во внешней среде капля становится источником монополярного и дипольного акустического излучения, а также источником дипольного электромагнитного излучения. Интересно, что монополярное акустическое излучение имеет большую мощность, чем дипольное и квадрупольное.

Шестая глава посвящена анализу нелинейных осцилляций заряженной капли, движущейся относительно среды. В расчетах третьего порядка малости выяснилось, что в нелинейных вторичных комбинационных резонансах возможна раскачка амплитуды основной моды, движущейся относительно среды заряженной капли, что может привести к существенному снижению критических условий реализации ее электростатической неустойчивости.

Седьмая глава исследует анализ нелинейных осцилляций заряженной капли во внешних силовых полях: электрическом, гравитационном и инерционном. Особенностью проведенных расчетов является использование разложений по двум малым параметрам: амплитуд осцилляций и стационарной деформации капли в силовом поле.

Восьмая глава изучает особенности зажигания коронного разряда в окрестности нелинейно-осциллирующей заряженной капли или обводненной градины как в отсутствие, так и при наличии внешнего электростатического поля. Выяснилось, что коронный разряд у поверхности нелинейно-осциллирующей заряженной капли (или незаряженной капли во внешнем электростатическом поле) может зажечься при зарядах, реально регистрируемых на крупных каплях в грозовых облаках (или при напряжениях внутриоблачного электрического поля).

Аналитический нелинейный расчет нелинейных осцилляций заряженной капли вязкой жидкости вошел в девятую главу.

Десятая, заключительная глава содержит попытку приложения полученной в предыдущих главах информации о заряженной капле и ее электростатической устойчивости к моделированию физического механизма инициирования разряда молнии в грозовом облаке.

Таким образом, изучен широкий круг вопросов, раскрывающих особенности поведения заряженных капель во внешних силовых полях, и это существенно приближает нас к пониманию процессов, происходящих в грозовых облаках.

Заряженная капля неисчерпаема. Она играет определяющую роль и в интенсификации массообменных процессов в газодисперсных системах, а также при реализации электрогидродинамических приемов получения воды и генерирования электрической энергии из атмосферы. Круг фундаментальных и прикладных аспектов электрогидродинамики дисперсных систем необъятный, а исследователей и практиков ждут превосходящие результаты, по оригинальности и значимости.

М.К. Болога, Ф.П. Гросу