

Неустановившееся электровращение капли в постоянном электрическом поле

А. Н. Тятышкин

НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова

tan@imec.msu.ru

Теоретически исследуется изменение формы капли вязкой слабопроводящей поляризующейся жидкости, взвешенной в несмешивающейся с ней вязкой слабопроводящей поляризующейся жидкости, в постоянном электрическом поле. Под действием приложенного электрического поля в капле и в окружающей ее жидкости возникают электрогидродинамические течения. Кроме того, при определенных условиях имеет место электровращение капли. В результате в постоянном электрическом поле капля, деформируясь, либо стремиться принять некоторую стационарную форму, либо совершает деформационные колебания.

Аналитически решается задача о неустановившемся электрогидродинамическом течении внутри и вне капли и ее электровращении в приложенном однородном постоянном электрическом поле с учетом влияния как поверхностного тока проводимости, так и поверхностного конвективного электротока. Отношение вязкости капли к вязкости окружающей жидкости считается достаточно большим. Рассматриваются малые нестационарные деформации с достаточно большим характерным временем, для которых можно считать каплю сферической и использовать приближения квазистационарного электрического поля и квазиустановившегося течения при расчете поля и течения.

Напряженность электрического поля, а также скорость и давление в электрогидродинамическом течении найдены для случая произвольного отношения вязкости капли к вязкости окружающей жидкости в виде рядов с коэффициентами, зависящими от времени, для которых получены соотношения, позволяющие их определить. С использованием этих соотношений коэффициенты ищутся в виде асимптотических разложений по малому параметру, соответствующему большому отношению вязкости жидкости капли к вязкости окружающей ее жидкости. Установлено, что с точностью до членов нулевого порядка электрическое поле определяется дипольным моментом капли, а поправки первого порядка к полю определяются поправкой первого порядка к дипольному моменту и октупольному моментом. Получены соотношения

для членов нулевого, первого и второго порядков асимптотических разложений коэффициентов, определяющих электрическое поле. Для асимптотических разложений коэффициентов, определяющих течение и форму капли, получены соотношения для членов нулевого, первого и второго порядка. В частности получены дифференциальные уравнения, позволяющие найти с точностью до членов первого порядка электрические дипольный и октупольный моменты капли и угловую скорость электровращения, и дифференциальные уравнения, определяющие форму капли с точностью до членов второго порядка. Найдены в явном виде стационарные решения этих уравнений и исследована их устойчивость.

Установлено, что кроме всегда существующего стационарного решения без электровращения при выполнении определенных условий существуют также и стационарные решения с электровращением, которые определены с точностью до направления вектора угловой скорости электровращения. Если выполняются условия существования решений с электровращением, то все эти решения являются устойчивыми, а решение без электровращения — неустойчиво. Если же условия существования решений с электровращением не выполняются, то решение без электровращения является устойчивым. Таким образом, всегда существует устойчивое стационарное решение. Отсюда можно сделать вывод о том, что при выполнении условий применения используемых при решении задачи приближения малых деформаций и приближения квазистабилизированного течения наблюдавшегося в экспериментах перехода к деформационным колебаниям не происходит.

Установлено, что с точностью до членов первого порядка стационарная форма капли представляет собой эллипсоид общего вида, средняя ось которого направлена вдоль вектора угловой скорости капли, а малая и большая образуют с вектором напряженности приложенного электрического поля некоторые углы. Получены явные выражения для этих углов. С точностью до членов второго порядка капля принимает форму, которая описывается уравнением четвертого порядка.

Работа частично поддержана РФФИ (проекты № 16-01-00157-а и № 14-01-00056-а).