

СУЩЕСТВЕННО НЕЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗАРЯЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОГО ДИЭЛЕКТРИКА

В. Л. Островский, М. М. Русанов

Эффект перестройки поверхности жидкого диэлектрика в электрическом поле широко используется при фототермопластической записи оптической информации [1]. Данное явление представляет интерес также с точки зрения теории фазовых переходов и широко исследуется на жидком гелии. Однако теоретические модели [2-7], в которых учитывается конечное число членов разложения гамильтониана системы в ряд по амплитуде деформации (слабая нелинейность), не позволяют исследовать рельеф поверхности, если глубина деформации ξ сравнима с толщиной слоя h . В последнем случае отношение ξ/h не является малым параметром, так что рассматриваемая задача относится к классу существенно нелинейных и должна решаться вне рамок теории возмущений по указанному параметру. Данная постановка задачи стимулирована экспериментальными наблюдениями [8].

В настоящей работе предложена существенно нелинейная (в указанном выше смысле) модель реконструкции заряженной поверхности несжимаемой диэлектрической жидкости. В модели предполагается лишь выполнение условия $h \ll a$, где $a = (\alpha/\rho g)^{1/2}$ — капиллярная постоянная, α — коэффициент поверхностного натяжения, ρ — плотность жидкости. Ограничиваясь двумерным случаем, примем, что свободная поверхность жидкого слоя, задаваемая уравнением $y = \xi(x)$, заряжена с плотностью σ , при которой поверхность «металлизована» [9]. В рамках принятых приближений энергия системы имеет вид

$$W[\xi] = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\alpha \left(\frac{d\xi}{dx} \right)^2 + \rho g \xi^2 - \frac{4\pi\sigma^2 h^2}{\epsilon(h+\xi)} \right] dx, \quad (1)$$

где ϵ — диэлектрическая проницаемость жидкости.

Последнее слагаемое в (1) описывает кулоновское взаимодействие между зарядами свободной поверхности и их «изображениями» в металлической подложке, на которой располагается слой. Функция $\xi(x)$ находится из условия экстремума функционала $W[\xi]$ при дополнительном ограничении на полный объем жидкости h

$$\frac{\delta W}{\delta \xi} = C, \quad (2)$$

где C — множитель Лагранжа.

Подставляя (1) в (2), получаем

$$-\alpha \frac{d^2 \xi}{dx^2} + \rho g \xi + \frac{2\pi\sigma^2 h^2}{\epsilon(h+\xi)^2} = C. \quad (3)$$

Введем надкритичность $\beta = [(4\pi\sigma^2/\epsilon\rho gh) - 1]$. При $\beta > 0$ решения уравнения (3) периодичны в пространстве, а при $\beta < 0$ аperiodичны. В данной работе мы ограничимся рассмотрением только последнего случая, отвечающего часто наблюдаемым уединенным лункам или канавкам. Искомое решение имеет вид

$$\frac{|\beta|^{1/2} |x|}{2a} = \text{Arcth } \Psi - |\beta|^{1/2} \text{Arcth } \frac{\Psi}{|\beta|^{1/2}}, \quad (4)$$

где $\Psi = [(h+\xi)/(h+\xi/|\beta|)]^{1/2}$, $-1 \leq \beta \leq 0$.

Формула (4) определяет рельеф поверхности неявно. В предельном случае $|\beta| \ll 1$ из (4) получаем

$$\xi(x) = -|\beta| h \operatorname{sech}^2 \left(\frac{|\beta|^{1/2} x}{2a} \right), \quad (5)$$

а при $\beta \rightarrow -1$ находим

$$\xi(x) = -h \exp \left(-\frac{|x|}{a} \right). \quad (6)$$

Таким образом, уединенная деформация поверхности существует ниже порога срыва устойчивости плоской конфигурации ($\beta < 0$). Решение (5) описывает канавку малой амплитуды, а решение (6) — форму, получившую в силу наличия острия в точке минимума название «воронка». Оба предельных типа уединенных структур наблюдаются экспериментально [8], причем «воронка» реализуется в условиях стационарной подзарядки поверхности, компенсирующей стекание зарядов на подложку.

Список литературы

- [1] Гуцо Ю. П. Фазовая рельефография. М.: Энергия, 1974. 215 с.
- [2] Горьков Л. П., Черникова Д. М. // ЖЭТФ. 1973. Т. 18. Вып. 2. С. 119—122.
- [3] Черникова Д. М. // ЖЭТФ. 1975. Т. 68. Вып. 1. С. 249—256.
- [4] Горькова Л. П., Черникова Д. М. // ДАН СССР. 1976. Т. 228. № 4. С. 829—832.
- [5] Кузнецов Е. А., Спектор М. Д. // ЖЭТФ. 1976. Т. 71. Вып. 1 (7). С. 262—271.
- [6] Жакин А. И. // Магнит. гидродинамика. 1983. № 4. С. 41—48.
- [7] Жакин А. И. // Изв. АН СССР. МЖГ. 1984. № 3. С. 94—102.
- [8] Панасюк Л. М., Ковтушенко С. И. // ЖНПФик. 1988. Т. 33. № 4. С. 375—386.
- [9] Выборнов В. И., Панасюк Л. М., Русанов М. М. // ЖТФ. 1984. Т. 54. Вып. 5. С. 929—933.

Кишиневский
государственный университет
им. В. И. Ленина

Поступило в Редакцию
31 августа 1988 г.
В окончательной редакции
26 декабря 1988 г.

ВЛИЯНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАЗРЯДА В СМЕСИ H_2 —He

А. В. Демьянов, И. В. Кочетов, А. Ф. Паль, В. В. Пичугин

Несамостоятельный разряд в смесях водорода с инертными газами при комнатной температуре исследовался в ряде работ [1–5]. Цель исследований состояла в получении возможно большего энерговклада в колебательные уровни H_2 . В работах [1–2] были достигнуты предельные энерговклады 1 кДж/л. Наблюдался и был объяснен ряд интересных явлений, таких как провал в зависимости тока разряда от времени [3, 4], связанный с конкуренцией процессов диссоциативного прилипания электронов и разрушения ионов H^- при столкновениях с колебательно-возбужденными молекулами H_2 . Такой провал в зависимости тока наблюдался в смесях H_2 как с Ar, так и с He [5], а также в смесях D_2 с Ar и He. При определенных условиях в 10%-ных смесях H_2 (D_2) с Ar и He впервые наблюдались неподвижные светящиеся слои, ориентированные поперек тока разряда, также получившие объяснение [6].

В ряде случаев, например для увеличения КПД СО лазеров [7], используется несамостоятельный разряд с глубоким охлаждением газа. Это связано с тем, что в охлажденной смеси уменьшается остаточный запас квантов на нижних колебательных уровнях молекулы СО. Молекула H_2 характеризуется большим ангармонизмом, чем СО, и влияние охлаждения на остаточный запас квантов в водородосодержащих смесях менее существенно. Однако представляет интерес исследовать влияние начальной температуры газа на энергетические характеристики и устойчивость разряда в водородосодержащих смесях. Для этого на установке, описанной в [8], разрядная камера была окружена рубашкой, заполненной жидким азотом. Рабочая газовая смесь предварительно охлаждалась до азотной температуры в теплообменнике и по охлажденному жидким азотом трубопроводу подавалась в камеру. Все эксперименты проводились при температуре ~ 100 К. Расстояние между электродами равнялось 1 см, диаметр электродов 1 см, энергия электронов пучка 120 кэВ, плотность тока ~ 100 мкА/см². Разность температур сетчатого катода, через который инжектировался пучок, и анода не превышала 5 К. В камере имелись окна для фотографирования разряда. Поскольку температура газа не регулировалась, то использовались смеси водорода и дейтерия только с гелием.