

НАБЛЮДЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОГЕТЕРОФАЗНОГО СОСТОЯНИЯ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ДВУХ СЛАБОРАСТВОРИМЫХ ЖИДКОСТЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

© А. П. Глебов, Ю. В. Пахаруков, А. А. Саидов, Е. В. Ясколко

Известно, что в случае фазового перехода системы в условиях медленного изменения состояния термодинамические степени свободы могут не успеть прийти в состояние полного равновесия. В этом случае можно ожидать появления новых метастабильных состояний системы, возникновение и устойчивость которых будут зависеть от спектра времен релаксаций термодинамических параметров [1-3]. В работах [4,5] на примере системы метанол/гептан были рассмотрены условия появления микрогетерофазного состояния на границе раздела слаборастворимых жидкостей. Было показано, что в случае релаксации возбуждения, вызванного слабым механическим перемешиванием в слое, прилегающем к границе раздела, должно появиться однородное состояние с низким межфазным натяжением.

В этой работе впервые представлены результаты эксперимента по прямому наблюдению за релаксационными процессами, происходящими в пограничной области двух слаборастворимых жидкостей после механического возмущения границы и приводящими к образованию и стабилизации микрогетерофазного состояния в отсутствие поверхностно-активных веществ (ПАВ). При выборе методики учитывали тот факт, что образование микрогетерофазного слоя, отличного по своим свойствам от исходных жидкостей, будет сопровождаться организацией новых границ. Поэтому естественно было выбрать наблюдение за рассеянием света в качестве способа регистрации. Действительно, появление нового слоя должно привести к "раздвоению" исходного пика рассеяния с границы фаз. К тому же по изменениям величины сигнала рассеяния, в соответствии с известной зависимостью $I_p \sim 1/\gamma$ (где I_p — величина сигнала рассеяния и γ — коэффициент межфазного натяжения), можно судить об изменениях величины γ . Для этого проводилось периодическое сканирование в направлении, перпендикулярном границе под 90° к направлению тест-сигнала. В качестве

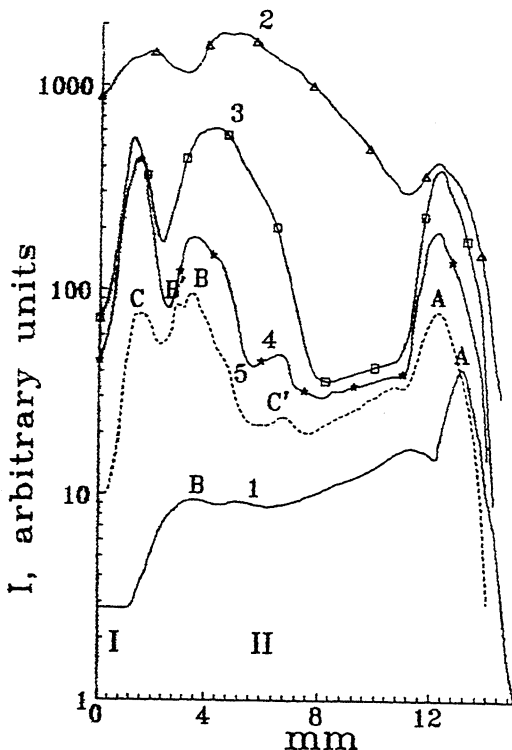


Рис. 1. Сигнал рассеяния системы вода/масло: 1 — исходный (до возмущения), после возмущения: 2 — через 20 мин, 3 — через 1500 мин, 4 — через 4400 мин, 5 — через 20220 мин.

источника использовалась проекционная лампа, дающая параллельный пучок белого света, в качестве приемника — ФЭУ-85 с регулируемой спектральной щелью. Скорость сканирования в 1 мм/мин при наблюдающей щели порядка 30 мкм вполне обеспечивала полное разрешение исследуемого скана с учетом постоянной времени аппаратуры. При этом погрешность поддержания скорости $< 2.5\%$, а погрешность определения интенсивности за время эксперимента от часов до нескольких суток составила около 12%. Ламинарное механическое возмущение осуществлялось поперек границы с частотами от 0.8 до 10 Гц при помощи электромагнитной мешалки, удалявшейся из кюветы при наблюдениях.

Измерения проводились на системе дегазированная вода/фильтрованное масло в одинаковых объемах, последовательно заливаемых в кювету с кварцевым выходным окном. Скан их исходного состояния представлен на рис. 1 (кривая 1). Ясно различимы две области: рассеяние воды (I); затем, после слегка уширенного неровностью границы (ме-

ниск смачивания) пика рассеяния B пограничного слоя вода/масло, экспоненциально возвышающийся (за счет поглощения) в сторону источника сигнал рассеяния масла (II), переходящий в пик рассеяния A с границы масло/воздух.

Процесс релаксации здесь продолжителен, что связано с присутствием в масле некоторых примесей. Это позволило нам уверенно наблюдать организацию микрогетерофазного состояния.

Сразу после перемешивания с частотой 3 Гц в течение 3 мин мы наблюдаем резкий рост уровня рассеяния, а наряду с пиком A — новый мощный максимум рассеяния в области пика B , что связано с появлением здесь взмученного слоя смеси воды и масла (см. рис. 1, кривая 2).

Релаксационные процессы довольно быстро изменяют наблюдаемую картину. Вместе с общим спадом сигнала в результате расслоения происходит не только “проявление” пика B , но и появление новых пиков. Понятно, что осаждение воды из масла и возгонка масла из воды будут приводить не только к естественному спаду величины рассеянного сигнала, но и к суживанию вновь созданного слоя, или к встречному смещению пика B и новых пиков. Это и видно на рис. 1 (кривые 2–5). Ясно, что после стабилизации процесса наряду с возможным образованием эмульсии следует ожидать существования по обе стороны от границы переходных слоев (“масло в воде” и “вода в масле”), отмеченных, вообще говоря, “своими” максимумами рассеяния. При этом по расстоянию между ними можно оценивать и мощность этих слоев. Отметим, что сканирование проводилось и на разных длинах волн (использовались фильтры для 0.405, 0.436, 0.546 и 0.579 мкм), причем регистрируемая структура скана не изменялась, что исключало дифракционное происхождение наблюдаемой картины.

Кривая 5 на рис. 1 показывает скан рассеяния после стабилизации процесса релаксации (14-й день после перемешивания). Смещение пика A вызвано вынужденным удалением небольшого объема масла при изъятии мешалки из кюветы. Как видим, картина пиков рассеяния вполне отвечает изложенным выше исходным предположениям: переходная фаза — пики $C-B'$, слой эмульсии — пики $B'-B$ и переходная фаза — пики $B-C'$. Действительно, наличие провала между пиками B и B' указывает на образование в пограничной области слоя с однородными оптическими свойствами, т. е. показатель преломления остается постоянным. А рост сигнала рассеяния свидетельствует о существенном спаде величины межфазного натяжения. Последнее также подтверждается визуальным наблюдением обращения мениска на видимой границе вода/масло. Таким образом, на кривой 5 зафиксирована стабилизация микрогетерофазного

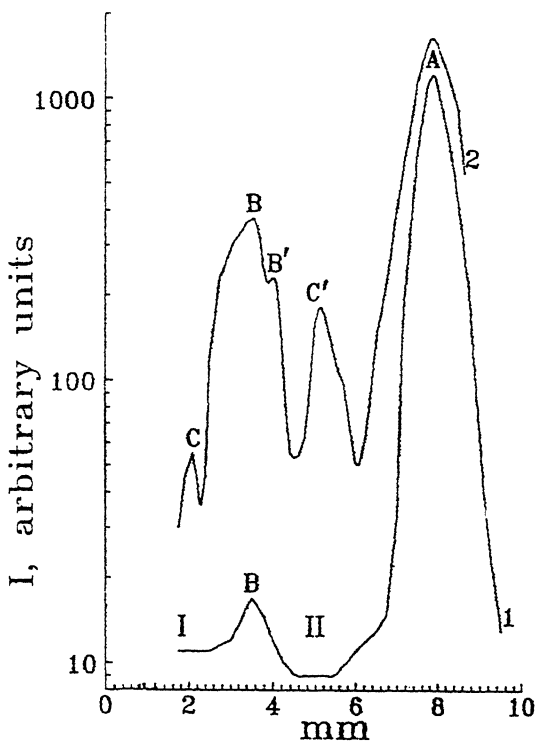


Рис. 2. Сигнал рассеяния системы метанол/гептан: 1 — исходный (до возмущения), 2 — через 80 мин после возмущения.

состояния, порожденного простым механическим перемешиванием.

Во втором эксперименте исследовались чистые жидкости — метанол и гептан. Скан их исходного состояния, снятый после отстаивания, представлен на рис. 2 (кривая 1). Ясно различимы 2 области: рассеяние метанола (I) и, после уширенного неровностью границы пика рассеяния B пограничного слоя метанол/гептан, сигнал рассеяния гептана (II), переходящий в мощный пик рассеяния на границе с воздухом A.

После такого же, как и в первом эксперименте, перемешивания границы регистрируются резкий рост уровня рассеяния и появление новых пиков на скане, причем происходит это на фоне визуально наблюдаемого восстановления линий раздела (мениска) метанола с гептаном. Кривая 2 на рис. 2 получена на 80-й, после перемешивания, минуте. При этом величина (по интенсивности) новых максимумов не остается постоянной и имеет колебания во времени до 25% от пикового значения. Последнее указывает на незавер-

шенность процесса релаксации. Полная аналогичность наблюдаемой картины первому эксперименту подтверждает факт организации микрогетерофазного состояния на границе метанол/гептан в отсутствие ПАВ как результата релаксации гидродинамического возмущения пограничного слоя.

Таким образом, в полном соответствии с высказанными ранее положениями [4,5], можно говорить об организации и стабилизации в узком слое на границе двух слаборастворимых жидкостей микрогетерофазного состояния как результата релаксации слабого возмущения границы раздела.

Список литературы

- [1] Бункин Ф.В., Подгаецкий В.И., Семин В.Н. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 2. С. 162-165.
- [2] Калашников Е.В., Ганжерли Н.М., Маурер И.А. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 4. С. 87-90.
- [3] Антонов А.В., Бункин Н.Ф., Краснослободцев А.В., Лобеев А.В., Ляхов Г.А., Маляровский А.И. // ЖЭТФ. 1993. Т. 104. В. 2(8). С. 2761-2773.
- [4] Хабибуллаев П.К., Бутабаев М.М., Патаруков Ю.В., Саидов А.А. // ДАН СССР. 1991. Т. 320. № 6. С. 1372-1374.
- [5] Хабибуллаев П.К., Бутабаев М.М., Карабаев М.К., Патаруков Ю.В., Саидов А.А. // ДАН России. 1993. Т. 332. № 2. С. 164-166.

Отдел теплофизики АН РУз
Ташкент

Поступило в Редакцию
18 августа 1995 г.