

МЕТАСТАБИЛЬНОСТЬ ЖИДКОЙ ФАЗЫ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТОГО ИСПАРЕНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

*Н.В.Карлов, Б.Б.Крынецкий, В.А.Мишин
А.А.Самохин*

Сообщается о непосредственном экспериментальном наблюдении эффекта метастабильности перегретой жидкой фазы в условиях развитого испарения конденсированных сред электромагнитным излучением

При воздействии достаточно интенсивного излучения на поверхность поглощающей конденсированной среды температура вещества в поверхностном слое может превышать температуру кипения T_V (развитое испарение). Явление перегрева обсуждалось неоднократно с точки зрения соотношения поверхностного и объемного испарения (см., например, [1, 2]), однако влияние метастабильности перегретого слоя на динамику процесса испарения оставалось невыясненным. Некоторые возможные проявления метастабильности жидкой фазы были отмечены недавно в работах [3 – 5]. В нашей работе сообщается о первом экспериментальном наблюдении эффекта метастабильности в условиях развитого испарения.

Метастабильная жидкая фаза обладает конечным временем жизни, которое очень резко зависит от степени перегрева. Это позволяет говорить о предельной температуре перегрева T_L , зависящей от внешнего давления p [6]. В условиях развитого испарения p определяется температурой поверхности T_0 и составляет примерно половину от давления насыщенных паров $p_S(T_0)$. При резком уменьшении интенсивности излучения I температура поверхности падает, что приводит к уменьшению $p(T_0)$. Если $T_L(p)$ оказывается при этом меньше фактической температуры внутри не успевшего остыть жидкого слоя, то произойдет быстрое (взрывное) превращение метастабильной жидкости в гетерофазную систему. Оценки основных характеристик этого эффекта для сильно поглощающих сред (металлы) приведены в [4].

Здесь будет рассматриваться случай, когда обратный коэффициент поглощения α^{-1} не является малым по сравнению с характерной длиной температурного влияния в стационарном режиме χ/ν которая определяется коэффициентом температуропроводности χ и скоростью

движения границы испарения v . В этих условиях ($\alpha \chi / v \ll 1$) максимальная температура внутри перегретого слоя могла бы достигать значений $T_0 + \epsilon/c$, где ϵ и c обозначают соответственно теплоту испарения и теплоемкость единицы объема [7]. Эта величина, однако, обычно превышает критическую температуру T_c , и поэтому стационарный режим развитого испарения в таком виде фактически не реализуется. При достаточной длительности импульса излучения должен произойти распад метастабильного состояния, как только температура внутри перегретого слоя достигнет T_L . Если начальная температура жидкости есть $T(0)$, то для достижения T_L необходимо время $t_0 \approx c \Delta T / \alpha I$, где $\Delta T = T_L - T(0)$.

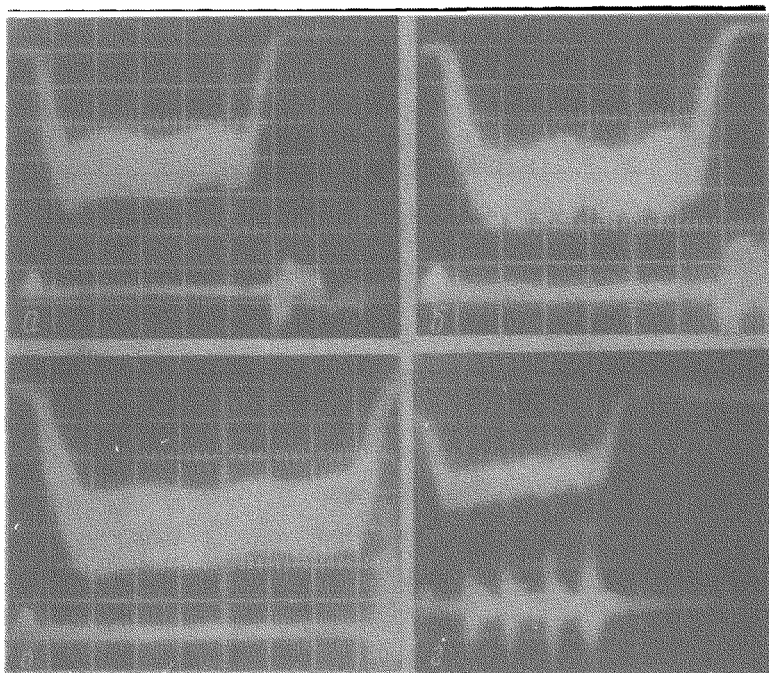
Однако еще до того, как температура внутри слоя поднимется до T_L , температура на поверхности уже может значительно превысить T_B , что является характерным признаком развитого испарения. Если в этом случае резко уменьшить I , то соответствующее снижение T_L может вызвать распад метастабильного состояния и при $t < t_0$, причем момент взрыва будет совпадать с задним фронтом импульса излучения. Этот эффект действительно наблюдался на эксперименте, который осуществлялся следующим образом.

Излучение от CO_2 -лазера ($\lambda = 10,6 \text{ мк}$), работающего в непрерывном режиме с обтюратором, фокусировалось на свободную поверхность жидкости (ацетон, этанол). Площадь фокального пятна составляла $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$, что соответствовало интенсивности $I \approx 6 \cdot 10^3 \text{ вт/см}^2$. Взрывной распад метастабильного состояния сопровождается характерным звуком, который регистрировался микрофоном, расположенным над поверхностью жидкости примерно в 4 см от фокального пятна¹⁾. Длительность импульсов облучения (варьируемая) составляла несколько *мсек* при частоте повторения десятки герц.

Для ацетона в рассматриваемых условиях минимальная длительность импульса, при которой еще наблюдался взрыв метастабильного состояния, составляла *2,5 мсек*. При увеличении длительности облучения до *3,5 мсек* момент взрыва перемещался вместе с задним фронтом импульса, причем амплитуда звукового сигнала заметно возрастала (рис. а - в). Оценка времени максимальной задержки по формуле $t_0 = c \Delta T / \alpha I$ дает в рассматриваемом случае заниженную величину ($< 10^{-3} \text{ сек}$) из-за того факта, в частности, что характерная длина нестационарного температурного влияния $\sqrt{\chi t} \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ см}$ оказывается одного порядка с α^{-1} , и теплопроводностью в таких условиях нельзя пренебрегать.

Дальнейшее увеличение t приводит к появлению еще одного взрыва, т. е. режим оказывается периодическим. Пульсирующий режим типичен для развитого испарения, что связано с экранировкой падающего излучения продуктами разлета и остыванием поверхности. В рассматриваемом случае характерной особенностью режима является правильная периодичность, хорошо видная на рис. г (этанол).

¹⁾ Подчеркнем, что в рассматриваемых условиях звуковой сигнал обусловлен именно распадом метастабильного состояния, а не изменением давления отдачи истекающих паров в начале и конце импульса излучения [8].



Нижняя кривая – сигнал микрофона, верхняя – импульс облучения. (Развертки: $a - b - 0,5$ мсек / деление, $c - 2,5$ мсек / деление)

Для этанола, однако, не было обнаружено заметной зависимости момента взрыва от длительности импульса. Такое отличие от ацетона может быть объяснено качественно тем фактом, что у этанола величина $\epsilon = 734$ дж/см³ существенно больше, чем у ацетона $\epsilon = 393$ дж/см³. По этой причине температура поверхности у этанола растет относительно медленнее и к моменту достижения внутри прогреваемого слоя температуры T_L значение температуры на поверхности еще мало отличается от T_B (отметим также, что разность $T_C - T_B$ у ацетона больше, чем у этанола: 179 и 165° соответственно). Другими словами, для этанола уменьшение интенсивности не сопровождается заметным уменьшением T_L и не приводит к более раннему распаду метастабильного состояния.

Заметим в заключение, что поведение поверхности жидкости в области фокального пятна облучения контролировалось также с помощью тонкого луча видимого света (He – Ne – лазер, $\lambda = 0,63$ мк), испытывающего полное внутреннее отражение от поверхности жидкости. В момент распада метастабильного состояния возникало сильное рассеяние, связанное с нарушением границы раздела и возникновением гетерофазной системы. Результаты более подробного исследования эффекта метастабильности в условиях развитого испарения (зависимости от интенсивности, формы импульса и т. п.) будут изложены отдельно.

Авторы выражают благодарность А.М.Прохорову за внимание к работе и ценные замечания.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
10 декабря 1973 г.

Литература

- [1] Ю.В. Афанасьев, О.Н.Крохин. ЖЭТФ, 52, 966, 1967.
 - [2] В.Н.Кондратьев. ПМТФ, №5, 49, 1972.
 - [3] В.А.Батанов, Ф.В.Бункин, А.М.Прохоров, В.Б.Федоров. ЖЭТФ, 63, 586, 1972.
 - [4] А.А.Самохин. Краткие сообщения по физике (ФИАН), №4, 7, 1973.
 - [5] Б.М. Жиряков, Н.Н.Рыкалин, А.А.Углов, А.К.Фаннибо. Сб. "Квантовая электроника", изд. Советское Радио, Москва, №1 13, 119, 1973.
 - [6] В.П.Скрипов. Метастабильная жидкость, М., изд. Наука, 1972.
 - [7] Р.В.Каранетян, А.А.Самохин. ЖЭТФ, 66, вып. 5, 1974.
 - [8] Ф.В.Бункин, Н.В.Карлов, В.М.Комисаров, Г.П.Кузьмин. Письма в ЖЭТФ, 13, 479, 1971.
-