

СТАЦИОНАРНЫЙ СВЕТОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В НЕПРЕРЫВНО НАГРЕВАЕМОМ ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ

С.А. Визнюк, А.Т. Суходольский

Обнаружен стационарный светогидравлический эффект при освещении поглощающей жидкости, текущей по капилляру, излучением непрерывного лазера. Сущность эффекта состоит в увеличении скорости потока жидкости в условиях светоиндуцированного фазового перехода. Дана его интерпретация на основе решения уравнения теплового баланса с учетом нагрева движущейся жидкости, в которой происходит фазовый переход, и уравнения непрерывности потока.

Известен светогидравлический эффект [1], заключающийся в ускорении покоящейся жидкости излучением мощного импульсного лазера. В данной работе сообщается о наблюдении стационарного светогидравлического эффекта в потоке поглощающей жидкости, индуцированного излучением непрерывного аргонового лазера, состоящий в ускорении потока в условиях светоиндуцированного фазового перехода. Дана интерпретация эффекта на основе решения уравнения теплового баланса в движущейся жидкости с учетом фазового перехода и уравнения непрерывности.

Эксперимент проводился с использованием излучения непрерывного аргонового лазера ЛГН-404А. Луч лазера фокусировался на участке капилляра (рис. 1) диаметром ~ 200 мкм вблизи его среза. На расстоянии 2–3 мм от среза капилляр имел перетяжку с диаметром в центре порядка 100 мкм. В качестве поглощающей жидкости использовался насыщенный раствор родамина 6Ж в воде, который вытекал в емкость с чистой водой. Движение окрашенной струи, вытекающей из капилляра со скоростью 0,5–1,5 мм/с, наблюдалось в микроскоп. При небольших накачках не происходило заметного изменения характера движения струи. Но при превышении некоторой пороговой мощности подводимого излучения (~ 100 Вт/см²) происходило резкое увеличение скорости потока на выходе из капилляра, которое сопровождалось образованием в зоне нагрева пузырьков, выносимых потоком жидкости наружу. Скорость потока на выходе из капилляра достигала 1,0 см/с, при этом измеряемый общий расход жидкости через капилляр практически не менялся. Эффект носил устойчивый, стационарный характер при плотности мощности до 500 Вт/см. При дальнейшем увеличении плотности мощности в зоне нагрева возникал один неподвижный пузырек и эффект прекращался.

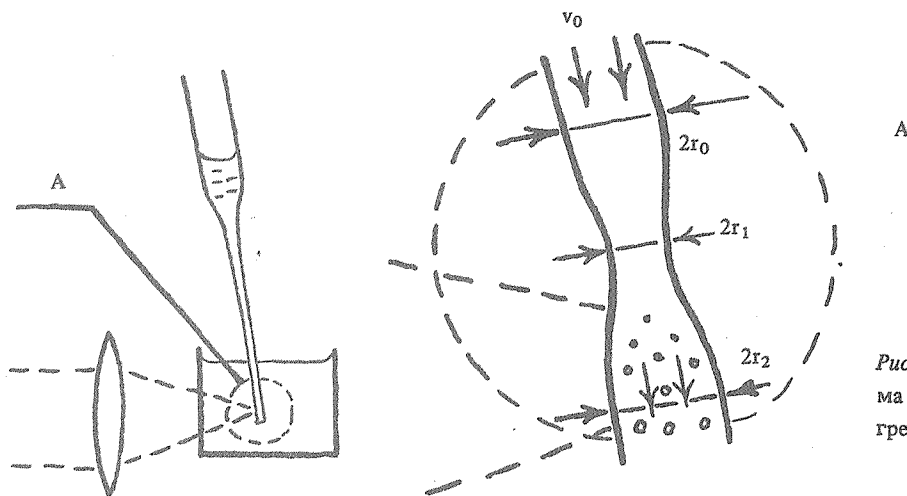


Рис. 1. Схема эксперимента. А – форма капилляра в зоне лазерного нагрева.

Для интерпретации эксперимента рассмотрим участок трубки (рис. 1А) радиуса r_0 перед перетяжкой, r_1 в самой перетяжке и r_2 на выходе из капилляра. Считаем скорость течения равномерной по сечению трубки и обозначим через V объем нагреваемой области, G — мощность источников тепла, $\dot{\rho}_v$ — скорость роста суммарного объема пара в единице объема потока. Полагаем также, что пузырьки растут достаточно медленно, так что создаваемое ими избыточное давление в жидкости пренебрежимо мало по сравнению с динамическим напором набегающего потока. В этом приближении процесс парообразования в нагреваемой области не меняет существенным образом скорость жидкости v_0 перед перетяжкой. Запишем уравнение непрерывности с учетом происходящего фазового перехода:

$$dv/dx + (2v/r) dr/dx = \dot{\rho}_v, \quad (1)$$

где $r = r(x)$ — профиль сечения капилляра. Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$GV = \pi r_0^2 v_0 \rho C_p (T_k - T_0) + q\dot{M}. \quad (2)$$

Обозначим через \dot{V}_b суммарный объем выносящихся через выходное отверстие пузырьков; \dot{V}_b связано с массой \dot{M} образующегося в единицу времени пара уравнением Клапейрона

$$\dot{V}_b = \dot{M}RT_k / \mu P_H. \quad (3)$$

где P_H — давление насыщенного пара при температуре кипения $T_k/2$. Интегрируя вдоль капилляра уравнение (1) и используя (2) и (3), находим скорость потока на выходе:

$$v_2 = (r_0/r_2)^2 v_0 + (1/\pi r_2^2) \int \pi r^2 \dot{\rho}_v dx = (r_0/r_2)^2 v_0 + \dot{V}_b / \pi r_2^2 = (r_0/r_2)^2 v_0 + (RT_k / \mu P_H \pi r_2^2 q) \times \\ \times [GV - \pi r_0^2 v_0 \rho C_p (T_k - T_0)].$$

Изменение в единицу времени импульса протекающей жидкости равно $F = \pi r_0^2 v_0 \rho (v_2 - v_0)$. При $r_2 = r_0$, $F = \rho v_0 (RT_k / \mu P_H q) [GV - \pi r_0^2 v_0 \rho C_p (T_k - T_0)]$. Максимальное значение $F_{\max} = (GV)^2 RT_k / [4\pi r_0^2 C_p \mu P_H q \times (T_k - T_0)]$ получается при $v_0 = GV / [2\pi r_0^2 \rho C_p (T_k - T_0)]$.

Таким образом, в рассматриваемой системе происходит непрерывное преобразование энергии света в кинетическую энергию движения потока жидкости. Особенность эффекта состоит в стационарности процесса преобразования тепла в работу, который достигается при непрерывной оптической накачке. Эффект может применяться для создания струй, распыления или ускорения потоков жидкости.

Авторы благодарны П.П. Пашнину и С.Ф. Раstopову за полезные обсуждения полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аскарьян Г. А. и др. ЖЭТФ, 44, вып. 6, 2180 (1963).
2. Нессис Е. И. Кипение жидкостей. М., Наука, 1973.

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 23 сентября 1987 г.