

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ЛУЧЕЙ НА ТЕПЛОЕМКОСТЬ ЖИДКОСТЕЙ

А.Н.МАМЕДОВА

*Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия
AZ 1010, Баку, пр. Азадлыг, 20*

Теоретически решена задача о влиянии интенсивности лазерных лучей на теплоемкость жидкостей. Установлено, что с увеличением интенсивности излучения теплоемкость линейно увеличивается. Рассмотрен случай нелинейного поглощения, который приводит к возникновению нелинейных эффектов.

Исследованию взаимодействий лазерных лучей с жидкостью посвящен ряд работ [1-5], в которых, в основном, выясняется физический механизм изучаемого процесса, возникающего непосредственно при взаимодействии. В [5], исходя из феноменологических соображений, теоретически исследуется влияние различных физических полей, в частности, и лазерных лучей на коэффициент теплопроводности. Следует отметить, что при взаимодействии мощных лазерных лучей с жидкостью из-за нелинейного поглощения возникают нелинейные эффекты, исследование которых теоретически сводится к решению нелинейных задач. Общая теория распространения мощного лазерного излучения в нелинейной среде исследована в [6], где рассмотрены методы исследования и некоторые результаты по распространению мощных лазерных импульсов в среде, описываемой уравнением Максвелла. Показано, что при интенсивностях лазерного излучения $10^{10} \div 10^{11}$ Вт/см² в веществах происходит существенное нелинейное поглощение, которое приводит к возникновению универсальной многофокусной структуры, т.е. эти структуры возникают независимо от вида нелинейного поглощения.

В работе [7] приводятся результаты теоретических расчетов динамики формирования рельефа свободной поверхности жидкости за счет светового давления под действием лазерного излучения.

При взаимодействии мощных лазерных лучей с жидкостью из-за нелинейного поглощения происходит сильное нагревание. При нагревании одна часть притекающей теплоты тратится на повышение ее температуры, т.е. на увеличение кинетической энергии как молекул, так и их составных частей, т.е. более простых молекул и атомов. Вторая, вообще весьма малая часть тепла, тратится на внешнюю работу распространения жидкости, она, как и для газов, определяется по формуле $A = \int p dV$. Третья часть тепла идет на внутреннюю работу, которая, со своей стороны, в самом общем случае, вероятно, распадается на три части: 1) на работу разъединения составных частей сложных молекул жидкости; 2) на работу разъединения молекул жидкости друг от друга, и, наконец, 3) на работу перемещения атомов, из которых состоит простая молекула.

В связи с вышеотмеченным, при взаимодействии лазерных лучей с жидкостью все теплофизические свойства, в том числе, и коэффициент теплоемкости существенно изменяются. В данной работе теоретически исследуется влияние интенсивности лазерного излучения на коэффициент теплоемкости.

Следует отметить, что в настоящее время накоплен достаточно большой материал о теплофизических свойствах жидкостей, но пока недостаточно изучено влияние на них различных физических полей. Одним из важных, но не исследованных до сих пор вопросов современной теплофизики жидкостей является установление влияния лазерных лучей на теплоемкость. Краткий обзор

существующих методов экспериментального исследования теплоемкости жидкостей приводится в [8], где отмечаются преимущества и недостатки существующих и перспективных методов измерения теплоемкости. В работе [9] приведены результаты экспериментальных исследований влияния акустических волн на теплоемкость, но теоретический метод исследования влияния лазерных лучей на теплоемкость пока не разработан.

При взаимодействии лазерных лучей с жидкостью из-за поглощения жидкость нагревается и ее теплофизические свойства, в том числе и теплоемкость, изменяются. Учитывая актуальность данного вопроса, настоящая статья посвящена теоретическому исследованию влияния лазерных лучей на теплоемкость жидкостей. Математически это сводится к решению дифференциального уравнения теплопроводности, которое для одномерного случая имеет вид:

$$c\rho\left(\frac{\partial T}{\partial t} + v\frac{\partial T}{\partial X}\right) = \lambda\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \alpha I, \quad (1)$$

где λ - коэффициент теплопроводности, α - коэффициент поглощения лазерных лучей, I - интенсивность лазерного излучения.

Для оценки влияния лазерных лучей на теплоемкость рассмотрено несколько случаев.

Учитывая, что перенос тепла за счет конвекции намного больше, чем за счет диффузии, т.е.

$$c\rho v\frac{\partial T}{\partial X} \gg \lambda\frac{\partial^2 T}{\partial X^2},$$

то уравнение (1) запишется в виде:

$$c\rho\left(\frac{\partial T}{\partial t} + v\frac{\partial T}{\partial X}\right) = \alpha I. \quad (2)$$

В случае, когда происходит взаимодействие лазерных лучей с покоящейся жидкостью, т.е. когда $v=0$, уравнение (2) имеет вид:

$$c\rho\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha I. \quad (3)$$

Решая уравнение (3) при $t \leq \tau_0$, когда $T(t) = T^*$ для теплоемкости имеем следующее соотношение:

$$c\rho = \frac{\alpha I(\tau_0 - t)}{T^* - T}, \quad (4)$$

где τ_0 и T^* - время и температура выхода нестационарного температурного поля в стационарное.

А в случае, когда рассматривается стационарное температурное поле, уравнение (2) имеет вид:

$$c\rho v\frac{\partial T}{\partial X} = \alpha I. \quad (5)$$

Учитывая, что при движении жидкости со средней скоростью v в трубе длиной ℓ изменение температуры равно $\Delta T = T_2 - T_1$, для теплоемкости получаем следующее соотношение:

$$c\rho = \frac{\alpha I \ell}{\Delta T v}. \quad (6)$$

Формула (6) устанавливает связь между теплофизическими и оптическими свойствами жидкости.

Уравнение (2) при следующих краевых условиях

$$\begin{aligned} T(X,0) &= T_0 = const \\ T(0,t) &= f(t) \\ T(\ell,t) &= \varphi(t) \end{aligned} \quad (7)$$

решается с применением преобразования Лапласа. В изображениях уравнение (2) имеет вид:

$$\frac{dT^*}{dX} + \frac{S}{v} T^* = \frac{\alpha I}{c\rho v S} + \frac{T_0}{S}. \quad (8)$$

Решая уравнение (8) при граничных условиях (7), имеем

$$\varphi^*(S) = e^{-\frac{S}{v}\ell} f^*(S) + \left(\frac{\alpha I}{c\rho S^2} + \frac{T_0}{S} \right) \left(1 - e^{-\frac{S}{v}\ell} \right) \quad (9)$$

Учитывая, что $S = \frac{1}{t_0}$, где t_0 - характерное время, равное $\frac{1}{4}$ времени релаксации, для определения теплоемкости имеем следующее соотношение

$$\frac{\alpha I}{c\rho} t_0^2 = \frac{\varphi^*(t_0) - e^{-\frac{\ell}{vt_0}} f^*(t_0)}{1 - e^{-\frac{\ell}{vt_0}}} - T_0 t_0. \quad (10)$$

Из формулы (10) видно, что зависимость левой части, т.е. $\frac{\alpha I}{c\rho}$ от t_0^2 есть прямая линия. Если обозначим правую часть уравнения (10) через Φ , то и ее зависимость от t_0^2 должна быть прямой. Построив график зависимости $\Phi(t_0)$ от t_0^2 можно определить $tg\varphi$. Тогда для теплоемкости получается следующее выражение

$$\frac{\alpha I}{c\rho} = tg\varphi. \quad (11)$$

Все полученные уравнения для теплоемкости позволяют оценить влияние лазерных лучей на теплоемкость. Также из них следует, что с увеличением интенсивности излучения лазерных лучей теплоемкость увеличивается.

1. Ф.В.Бункин, М.И.Трибельский, *УФН*, **130** (1980) 193.
2. В.Э.Гусев, А.А.Карабутов, *Лазерная оптоакустика*, М. Наука, (1991) 304.
3. И.В.Алешин, С.И.Анисимов, А.М.Бонч-Бруевич, *ЖЭТФ*, **70** (1976) 1246.
4. Н.Е.Галич, *ЖТФ*, **53** (1983) 768.
5. Х.Т.Гасанов, *Гидродинамические исследования взаимодействия акустических и лазерных излучений с жидкостью*. Баку, изд. «Асіг дйнуа», (2002) 384.
6. В.Н.Луговой, А.М.Прохоров, *УФН*, **111** (1973) 324.
7. Г.В.Островская, *ЖТФ*, **58** (1998) 762.
8. М.М.Баширов. *Новые калориметры нестационарного режима, тепловые свойства одноатомных спиртов и их смесей*. Дисс. на соис. уч. степ. докт. техн. наук, АзТУ, Баку, (2004).
9. Г.Т.Гасанов, А.А.Алиев, Л.П.Гурьянова, *Физика*, **6** (2000) 41.

MAYELƏRİN İSTİLİK TUTUMUNA LAZER ŞÜALARLNİN TƏSİRİ

A.N. MƏMMƏDOVA

Mayelərin istilik tutumuna lazer şüalarının intensivliyinin təsiri nəzəri olaraq tədqiq olunmuşdur. Təyin edilmişdir ki, lazer şüalarının intensivliyi artdıqca istilik tutumu xətti artır.

INFLUENCE OF LASER RAYS ON HEAT CAPACITY OF LIQUIDS

A.N.MAMEDOVA

Theoretically a task of influence of intensity of laser rays on heat capacity of liquids has been solved. It has been revealed that heat capacity has increased linearly by increasing of intensity of radiation. A case of non-linear absorption, which causes appearance of non-linear effects has been studied.

Редактор: М.Алиев