Uzbek Journal of Physics

Vol.20(№2) 2018 PP.121-125

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ИЗОБУТАНОЛА И ЦИКЛОГЕКСАНОЛА

С.З. Мирзаев, Ф.Р. Ахмеджанов, В.Н. Авдиевич, О.З. Султанов, С.К.Теляев

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистон
akhmedzhanov.f@gmail.com
(Получена 19.01.2018)

Изобутанол ва циклогексаноллarда 293–363 K диапазонида иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентининг температуравий боғлиқлиги тадқиқ қилинган. Иссиқлик ўтказувчанликнинг температурага чизиқли боғланиши кўрсатилди ва температуравий коэффициенти 1.83×10^{-3} град$^{-1}$ га тенг бўлганлиги аниқланди. Иссиқлик ўтказувчанлиги, товуш тезлиги ва солиштирма иссиқлик сиғими бир бирига боғлиқлигини характероловчи ўзаро муносабат катталиги ҳисобланди.

Исследована температурная зависимость коэффициента теплопроводности циклогексанола и изобутилового спирта в диапазоне 293–363 K. Показано, что наблюдается линейная зависимость теплопроводности от температуры с отрицательным температурным коэффициентом, равным 1.83×10^{-3} град$^{-1}$. Рассчитано соотношение между теплопроводностью и скоростью звука и удельной теплоемкостью, которое характеризует взаимосвязь тепловых и упругих свойств жидкостей.

The temperature dependence of the coefficient of thermal conductivity of cyclohexanol and isobutyl alcohol in the range 293–363 K was studied. It is shown that a linear dependence of the thermal conductivity on temperature with a negative temperature coefficient equal to 1.83×10^{-3} deg^{-1} is observed. The dependence between the thermal conductivity and the speed of sound and the specific heat which characterizes the relationship between the thermal and elastic properties of liquids has been calculated.

I. ВВЕДЕНИЕ

Изучению теплового движения молекул жидкости и их взаимосвязи посвящены активно развивающиеся в последнее время экспериментальные исследования различными методами, такими как релеевское рассеяние света, рассеяние медленных нейтронов и другими. Необходимым элементом этих исследований является выявление основных закономерностей поведения теплопроводности жидкостей и сопоставление с выводами теоретических работ на основе определенных концепций и моделей. Такой подход позволяет получить информацию о природе теплового движения и о характере процессов переноса тепла в жидкостях.

Помимо чисто научного интереса, исследования теплопроводности жидкостей существенным образом стимулируются интенсивным развитием таких областей техники, как ракетная техника, современная химия, металлургия, атомная энергетика. Использование жидкостей в качестве горючего, окислителей, смазочных масел, хладоагентов и теплоносителей требует знания их основных свойств, к числу которых принадлежит и теплопроводность. Так, в связи с использованием жидких металлов в качестве высокотемпературных теплоносителей в атомной энергетике, экспериментальное изучение тепловых

свойств жидких металлов стало одной из актуальных задач теплофизики высоких температур [1-3]. Также большое внимание уделяется изучению теплопроводности широкого круга неметаллических жидкостей, включая органические жидкости разной природы [4]. Несмотря на ряд работ в этом направлении, выявление основных закономерностей, относящихся к температурной зависимости теплопроводности и связи теплопроводности с другими физико-химическими характеристиками вещества, остается одной из востребованных задач теплофизики.

II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Известно, что определение теплопроводности материалов является одним из наиболее сложных экспериментов. Обусловлено это трудностью создания условий совершенной теплоизоляции, необходимой, чтобы направить тепловой поток только сквозь исследуемый образец и предотвратить утечку тепла по другим направлениям. При исследовании жидкости к этой основной трудности добавляются такие, как конвективное перемешивание и перенос тепла излучением.

Применительно к неметаллическим жидкостям широкое распространение получили относительные методы измерения [1, 5]. Использование относительных методов определения теплопроводности позволяет существенно упростить измерительную схему и конструкцию рабочей части установки, сделать процесс измерения доступным и для условий лабораторий промышленных предприятий. В то же время можно добиться достаточно хорошей точности результатов, поскольку имеются достоверные экспериментальные значения теплопроводности ряда жидкостей, которые могут быть использованы в качестве эталонных.

Для определения коэффициента теплопроводности органических жидкостей нами использован метод коаксиальных цилиндров, который детально описан в работах [1, 6]. Конструкция измерительной ячейки, изготовленной нами из стекла, показана на рис. 1. Исследуемая жидкость заполняет зазор (1) между тонкостенными внутренней (2) и наружной (3) трубками. Толщина зазора равна 0.7±0.2 мм, внутренний диаметр трубки составляет 4.5 мм. Внутренняя трубка (сердечник) наполняется ртутью, в которую погружен нагревательный элемент (4) и один спай дифференциальной термопары (5). Изолированный конец термопары (медь-константан) находится на 30 мм выше дна трубки. Второй спай термопары располагается внутри термостатирующей жидкости, циркулирующей в теплоизоляционной рубашке (6).

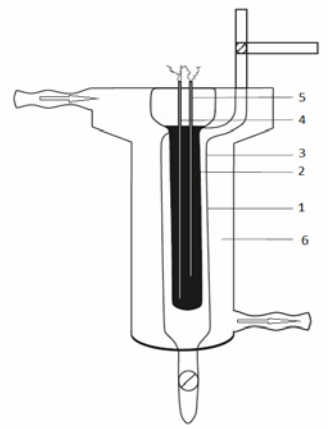


Рис. 1. Устройство измерительной ячейки для определения теплопроводности жидкостей методом коаксиальных цилиндров.

Термостат, подключенный к измерительной ячейке, позволяет устанавливать необходимую температуру наружной трубки. В результате величина разности температур ΔT в двух выбранных точках этой системы, одна из которых находится на наружной трубке, другая в сердечнике, зависит при прочих равных условиях только от теплопроводности вещества, заполняющего слой.

Величину термоЭДС, возникающей на дифференциальной термопаре, и падение напряжения постоянного тока на нагревательном элементе ячейки определяли с помощью раздельных высокоточных цифровых вольтметров. Величина тока через нагреватель ограничивалась с помощью реостата, включенного последовательно с источником постоянного тока. Схема позволяла проводить измерения при различных постоянных напряжениях на нагревателе (в диапазоне от 4 до 8 В). В качестве термостатирующей жидкости использовали дистиллированную воду. Измерения проводили в диапазоне температур 293–363 К.

Результатами измерений являются две величины: e – термоЭДС термопары и U – напряжение на нагревателе. При этом рассчитываемая величина $\kappa = e/U^2$ не должна зависеть от напряжения на нагревателе [1]. Постоянство величины κ может рассматриваться как критерий отсутствия конвекции и, следовательно, независимости коэффициента теплопроводности λ от ΔT. Строго говоря, на величину κ оказывает влияние зависимость сопротивления нагревателя и величины de/dT от температуры. Однако соответствующими поправками для малых ΔT можно пренебречь [5].

Соотношение между получаемой из измерений величиной κ и теплопроводностью среды записывается в виде [1]

$$(\kappa - \beta)\lambda = C. \qquad (1)$$

Формула (1) содержит коэффициенты β и C, которые определяются при помощи двух эталонных веществ с известной теплопроводностью и уравнений (1) для каждого из этих веществ. В общем случае величины этих коэффициентов могут зависеть от температуры. Поэтому проведены калибровочные измерения во всем диапазоне исследуемых температур. В качестве эталонных жидкостей использованы бидистиллированная вода и толуол, для которых значения коэффициента теплопроводности получены из [4]. Бидистиллированную воду получали на перегонном устройстве, изготовленном из специального стекла “Rathoterm”. Циклогексанол (99.8%) и изобутиловый спирт (99%) были использованы без дополнительной очистки. Температура плавления циклогексанола составляла 23°C.

На рис. 2 представлен градуировочный график зависимости значений β и C от температуры, построенный по результатам калибровочных измерений.

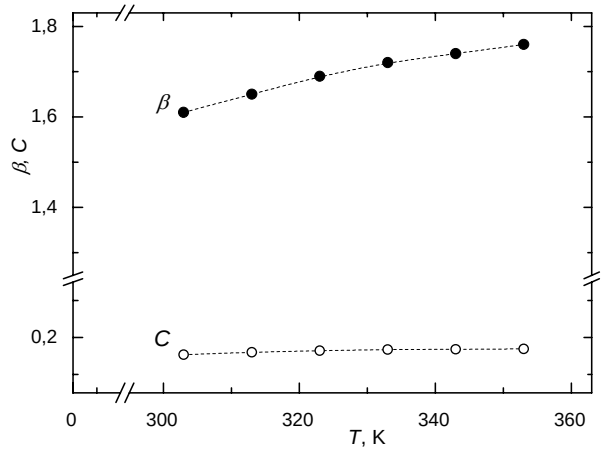


Рис. 2. Градуировочный график зависимости коэффициентов β и C от температуры.

Отметим, что высокая чувствительность установки обеспечивает хорошую воспроизводимость результатов измерений и достаточно высокую точность определения коэффициента теплопроводности жидких сред. Знание конкретных значений коэффициентов β и *C* при температурах, на которых производятся измерения теплопроводности, позволяет существенно повысить точность ее определения. Случайная ошибка измерений составляет обычно доли процента. Систематическая погрешность, связанная с погрешностью значений коэффициента теплопроводности жидкостей, используемых в качестве эталона, составляет ~3% [3, 4].

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные значения β и *C* были использованы для определения температурной зависимости коэффициента теплопроводности циклогексанола и изобутилового спирта, литературные данные для которых сильно различаются. Следует отметить, что вопрос о зависимости теплопроводности от температуры интересен и с точки зрения механизмов взаимосвязи теплопроводности с другими физическими и физико-химическими характеристиками жидкостей [1, 7]. Результаты измерений и расчета приведены на рис. 3. Прямая линия проведена в предположении линейной зависимости с отрицательным температурным коэффициентом теплопроводности, определяемым соотношением:

$$\lambda = \lambda_0(1-\alpha\Delta T), \qquad (2)$$

где λ_0 – значение теплопроводности при более низкой (например, комнатной) температуре, α – температурный коэффициент теплопроводности жидкости. Расчеты показали, что этот коэффициент практически одинаков для исследованных жидкостей и равен по абсолютной величине 1.83×10^{-3} град$^{-1}$.

Таким образом, полученные нами результаты подтверждают вывод экспериментальных и теоретических работ о линейном характере убывания теплопроводности с температурой, за исключением лишь многоосновных спиртов, таких как глицерин и этиленгликоль [1-4].

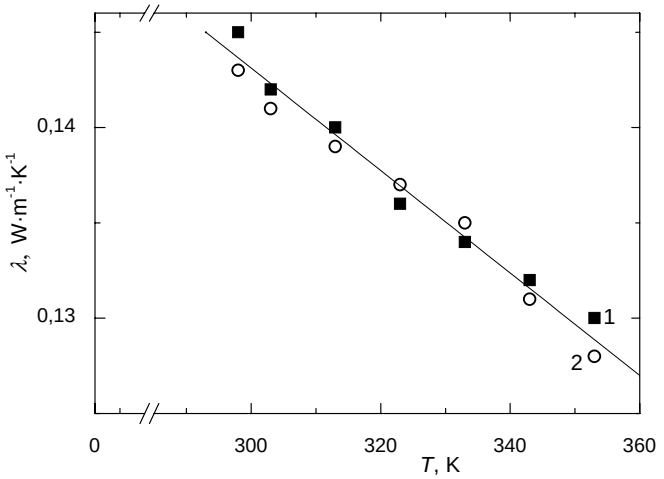


Рис. 3. Температурная зависимость теплопроводности циклогексанола (*1*) и изобутилового спирта (*2*). Прямая линия проведена в предположении линейной зависимости.

Интерес представляет проверка взаимозависимости величин теплопроводности, скорости звука и удельной теплоемкости в исследованных нами жидкостях. Согласно работам [1-3], можно говорить не просто о зависимости теплопроводности жидкости от скорости звука и теплоемкости, а о прямой пропорциональности этих величин. Существование закономерности такого рода может быть полезной для предсказания значений теплопроводности жидкостей, для которых нет таких экспериментальных данных. Кроме того, корреляция теплопроводности со скоростью звука может являться аргументом в пользу представления о дебаевском механизме переноса тепла в жидкостях. В таблице представлены соответствующие рассчитанные соотношения между величинами при температуре 293 K. Значения скорости звука и удельной объемной теплоемкости исследованных жидкостей, необходимые для расчетов, брались из работ [8-10].

Таблица. Связь теплопроводности изобутанола и циклогексанола со скоростью звука и удельной теплоемкостью при T=293 K

Жидкость	λ, Вт м$^{-1}$K^{-1}	u, 10^3 м/с	C_V, 10^6 Дж/м^{3}K	λ/u, 10^{-4}	$(\lambda/u)/C_V$, 10^{-10}
Изобутанол	0.140	1.24	1.92	1.14	0.594
Циклогексанол	0.145	1.45	2.01	1.01	0.502

Видно, что прослеживается определенная пропорциональность между коэффициентом теплопроводности и скоростью звука. Соотношение $(\lambda/u)/C_V$ может быть использовано в качестве параметра, характеризующего взаимосвязь тепловых и упругих свойств жидкостей. Для более полного вывода необходимо проведение дополнительных исследований на более сложных жидкостях с различными связями и структурами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.П. Филиппов. Исследование теплопроводности жидкостей (Москва, МГУ, 1970).
2. А. Миснар. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций (Москва, Мир, 1968).
3. А.Г. Коротких. Теплопроводность материалов: учебное пособие (Томск, ТПУ, 2011).
4. Н.Б. Варгафтик, Л.П. Филиппов, А.А. Тарзиманов, Е.Е. Тоцкий. Теплопроводность жидкостей и газов. Справочные данные (Москва, Изд. стандартов, 1978).
5. О.А. Сергеев. Метрологические основы теплофизических измерений (Москва, Изд. стандартов, 1972).
6. M.M. Bashirov, Ya.M. Naziev, High Temperature **41**, № 4, 459 (2003).
7. А.Б. Мазо. Основы теории и методы расчета теплопередачи (Казань, КазГУ, 2013).
8. Handbook of Chemistry and Physics. Editor in Chief Haynes. 93rd Edition (CRC Press, 2012-2013).
9. S.Z. Mirzaev, P.K. Khabibullaev, A.A. Saidov, V.S. Kononenko, J. Acoust. Soc. Am. **107**, 585 (1998).
10. В.Ф. Ноздрев, Акустический журнал **1**, вып. 3, 234 (1955).