

**Калиберда М. Е., Баранник М. А., Стороженко И. П.**

*Национальный фармацевтический университет*

**ПОСТАНОВКА ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ  
«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДЫ И ПАРАМЕТРОВ ГАЗА МЕТОДОМ СТОЯЩИХ ВОЛН»**

*Статья посвящена разработке и описанию виртуальной лабораторной работы по курсам «Механические волны» и «Молекулярная физика». В статье рассмотрены основные понятия и приведены основные формулы по данным темам, знание и владение которыми необходимы для понимания и успешного выполнения данной работы. Авторами дано описание виртуальной установки и методические указания к выполнению предложенной работы.*

**Ключевые слова:** виртуальная лабораторная работа, электронное обучение, молекулярная физика, газы, звук, акустическая волна.

**ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**Калиберда Мстислав Євгенович** – кандидат фізико-математичних наук, викладач кафедри фізики Національного фармацевтичного університету, доцент кафедри фізики НВЧ факультету РБЕКС Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна.

*Коло наукових інтересів:* моделювання фізичних процесів.

**Баранник Мар'яна Олександрівна** – кандидат фізико-математичних наук, викладач кафедри фізики Національного фармацевтичного університету.

*Коло наукових інтересів:* міжклітинна адгезія; мембранна та клітинна біофізика; кріобіофізика; сучасні проблеми методики викладання фізико-математичних дисциплін.

**Стороженко Ігор Петрович** – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедрою фізики Національного фармацевтичного університету, проблематика сучасного дистанційного навчання.

*Коло наукових інтересів:* фізика приладів мікро- і нанометрових розмірів; розробка і моделювання приладів електромагнітних хвиль надвисокочастотного діапазону; математичне моделювання біологічних об'єктів; проблематика сучасного дистанційного навчання.

УДК 53(077)

**С.А. Лукашевич, Т.П. Желонкина, Ю.В. Никитюк**

*Гомельський державний університет імені Франціска Скорини*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

*В работе изучается метод исследования температурной зависимости теплопроводности металлов в интервале температур от 25 оС до 150 оС. В данном интервале температуры изменяется и теплоемность металла. Передача тепла осуществляется шляхом теплообмена.*

**Ключові слова:** теплопровідність, температура, теплоємність, тепловий потік, кінетична енергія.

**Постановка проблемы.** Если в одной области газа средняя кинетическая энергия молекул больше, чем в другой, то с течением времени вследствие постоянных столкновений молекул происходит процесс выравнивания средних кинетических энергий молекул, т.е. иными словами, выравнивание температур.

Опытным путём установлено, что в случае, если в какой-либо среде вдоль некоторого направления  $x$  температура не остаётся постоянной, то вдоль этого направления устанавливается поток тепла, подчиняющийся закону Фурье:

$$q = -\kappa \frac{dT}{dx} S, \quad (1)$$

где  $q$  – количество тепла, протекающее за единицу времени через площадку  $S$ ,

расположенную перпендикулярно к оси  $x$ ,  $dT/dx$  – градиент температуры,  $\kappa$  – коэффициент теплопроводности, зависящий от свойств среды. Согласно классической теории предполагается, что передача тепла осуществляется исключительно путём теплообмена и отсутствием конвекции. В твёрдых телах это осуществляется само собой. В математической теории теплопроводности распространение тепла рассматривается подобно течению жидкости. Из молекулярной физики на основе явлений переноса известно, что коэффициент теплопроводности имеет следующий вид:

$$\kappa = \frac{1}{3} \rho \bar{v} \lambda C_v, \tag{2}$$

где  $\rho$  – плотность вещества,  $\bar{v}$  – средняя скорость теплового движения молекул,  $\lambda$  – длина свободного пробега,  $C_v$  – удельная теплоёмкость при постоянном объёме. Все величины, входящие в коэффициент теплопроводности по разному зависят от температуры. Коэффициент теплопроводности не зависит от давления и возрастает с температурой несколько быстрее, чем  $\sqrt{T}$ .

Учитывая все законы теплопроводности твердых тел нами была поставлена лабораторная работа по изучению зависимости теплопроводности металлов от температуры в лаборатории «Молекулярная физика и теплота», которая была внедрена в учебный процесс для студентов физических специальностей.

**Экспериментальная часть.** Установка состоит из измерителя ИТ-ж-400, который предназначен для исследования температурной зависимости теплопроводности твёрдых, механически обрабатываемых материалов в режиме монотонного нагрева, микровольнаноамперметра Ф136, который предназначен для исследования малых величин тока и напряжения в пределах от источников ЭДС напряжения и тока.

Для измерения теплопроводности в измерителе использован метод динамического калориметра. Испытуемый образец  $O$ , контактная пластина  $Пк$  и стержень  $C$  монотонно разогреваются тепловым потоком  $Q(\tau)$ , поступающим от основания  $D$ . Стержень  $C$  и контактная пластина изготовлены из меди, обладают высокой теплопроводностью, по этому перепады температур незначительны (Рисунок 1).

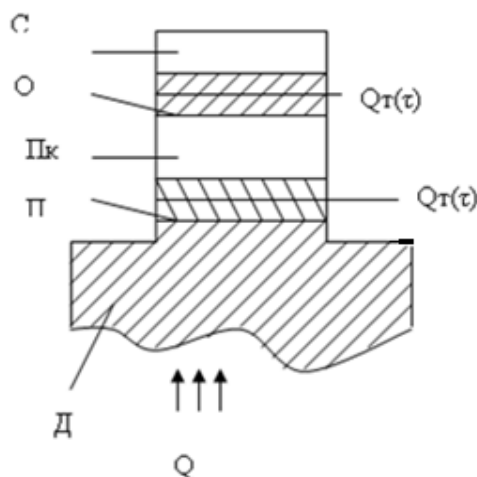


Рис. 1

Тепловой поток  $Q(\tau)$ , проходящий через среднее сечение пластины  $П$ , частично поглощается ею и идёт на разогрев пластины  $Пк$ , образца  $O$  и стержня  $C$ . Размеры системы выбраны таким образом, чтобы потоки тепла, аккумулируемые образцом и пластиной, были по крайней мере в 5-10 раз меньше поглощаемых стержнем потоков.

Температурное поле образца О и пластины П оказывается близким к линейному, стационарному. Все детали системы разогреваются примерно с одинаковыми скоростями, а для тепловых потоков  $Q_0(\tau)$  и  $Q_T(\tau)$  для любого уровня температуры справедливы формулы:

$$Q_0(\tau) = \frac{v_0 S}{P} = \left(\frac{C_0}{2} + C_c\right) b, \tag{3}$$

где  $Q_0(\tau)$  – тепловой поток, проходящий через образец и поглощаемый стержнем, измеряемый в Ваттах;  $v_0$  – перепад температуры на образце, (К);  $P$  – тепловое сопротивление между стержнем и контактной пластиной, ( $m^2K/Вт$ );  $C_0$  – полная теплоёмкость образца, (Дж/К);  $C_c$  – полная теплоёмкость стержня, (Дж/К);  $b$  – скорость разогрева измерительной ячейки, (К/с);  $S$  – площадь поперечного сечения образца, ( $m^2$ ),

$$Q_T(\tau) = k_T^x v_T = \left(\frac{C_T}{2} + C_{п} + C_c + C_c\right) b \tag{4}$$

где  $Q_T(\tau)$  – тепловой поток, проходящий через среднее сечение пластины П, Вт;  $k_T^x$  – коэффициент пропорциональности, характеризующий теплопроводность пластины, (Вт/К);  $v_T$  – перепад температуры на пластине П, (К);  $C_T$  – полная теплоёмкость пластины П, (Дж/К);  $C_{п}$  – полная теплоёмкость контактной пластины Пк, (Дж/К). Тепловое сопротивление между стержнем и контактной пластиной определяется по формуле:  $P = P_0 + P_k$ ,

(5)

где  $P_0$  – тепловое сопротивление образца О, ( $m^2K/Вт$ );  $P_k$  – поправка, учитывающая тепловое сопротивление контакта, не идентичность и тепловое сопротивление заделки термопар, ( $m^2K/Вт$ ). Тепловое сопротивление образца определяется по формуле:

$$P = \frac{h}{\kappa}, \tag{6}$$

где  $h$  – высота образца,  $\kappa$  – теплопроводность образца.

На основании формул (3, 4, 5, 6) получены рабочие расчётные формулы для теплового сопротивления образца и его теплопроводности:

$$P_0 = \frac{v_0 S (1 + \sigma_c)}{v_T k_T}, \tag{7}$$

где  $\sigma_c$  – поправка, учитывающая теплоёмкость образца.

$$\sigma_c = \frac{C_0}{2(C_0 + C_c)}, \tag{8}$$

где  $C_0$  – полная теплоёмкость исследуемого образца, Дж/К;  $C_c$  – полная теплоёмкость стержня, Дж/К.

$$C_c = C_0(t) m_0, \tag{9}$$

где  $C_0(t)$  – значение удельной теплоёмкости образца;  $m_0$  – масса образца, кг.

$$C_c = C_m(t) m_c, \tag{10}$$

где  $C_m(t)$  – удельная теплоёмкость меди;  $m_c$  – масса стержня, кг.

Влияние  $\sigma_c$  обычно не превышает 5-10% и может оцениваться по ориентировочным данным теплоёмкости образца.

Значение тепловой проводимости пластин определяется по следующей формуле:

$$K_T^x = K_T \frac{C_c}{\frac{C_T}{2} + C_{п} + C_c}. \tag{11}$$

Тогда коэффициент теплопроводности  $\kappa = \frac{h}{P_0}$ . \tag{12}

Вычисление значения теплопроводности исследуемого образца следует относить к средней температуре образца, которая определяется по формуле:

$$\bar{t} = t_c + 0,5 A_t P_0, \tag{13}$$

где  $\bar{t}$  – средняя температура образца ( $^{\circ}C$ );  $t_c$  – температура, при которой проводилось

измерение теплопроводности;  $A_t$  – чувствительность термопары хромель-алюмель, К/мВ;  $P_0$  – перепад температуры на образце в микровольтах.

**Работа измерителя.** Измеритель предназначен для массовых исследований теплофизических свойств, поэтому в его основу положен режим монотонного нагрева, позволяющий из одного эксперимента получить температурную зависимость изучаемого параметра.

Блок питания и регулирования обеспечивает нагрев ядра измерительной ячейки со средней скоростью  $V = 0,1$  К/с и автоматическое регулирование температуры. Скорость разогрева определяется величиной напряжения на нагревателе и скоростью его изменения.

Температурный переключатель имеет четыре положения:  $t_c$ ,  $P_0$ ,  $P_T$ , УСТ.0. В положениях  $P_0$  и  $P_T$  с помощью прибора Ф136 измеряются перепады температур на образце и рабочем слое тепломера в микровольтах (мкВ). В положении  $t_c$  потенциометром измеряется температура стержня, в положении УСТ.0 – проверяется механический нуль прибора Ф136.

**Проведение эксперимента.** При выполнении исследований температурной зависимости теплопроводности проводились следующие измерения: 1) проведены замеры высоты и диаметра образца; определена масса образца; 2) проведен расчет поправки на теплоёмкость образца  $\sigma_c$  по формуле (8); 3) рассчитано тепловое сопротивление  $R_0$  по формуле (7); 4) рассчитана теплопроводность исследуемого образца  $\lambda$  по формуле (12); 5) рассчитана температура измерительного значения теплопроводности  $\bar{t}$  по формуле (13).

В ходе проведения эксперимента получили следующие постоянные измерителя при градуировке, которые отражены в таблице №1.

Таблица №1. Постоянные измерители, полученные при градуировке

t, °C	$R_k, (m^2K/Wt)$	$C_c, (Дж/К)$	$K_T, (Вт/К)$
0	0,000571	16,5188	0,1508
25	0,000561	16,8702	0,1513
50	0,000551	17,2217	0,1519
75	0,000533	17,3975	0,1550
100	0,000516	17,5732	0,1581
125	0,000485	17,6890	0,1623
150	0,000454	17,7928	0,1640

Использованы следующие данные, которые отражены в таблице №2.

Таблица №2. Данные, необходимые при эксплуатации измерителя

t, °C	$C_m, (Дж/кгК)$	$\lambda, (Вт/мК)$	$A_k, (К/мВ)$
25	385	384	24,8
50	392	381	24,5
75	396	379	24,6
100	400	377	24,7
125	403	376	24,8
150	405	375	25,0

В качестве образца исследовалась теплопроводность меди.

Итогом исследования являлось построение графика зависимости коэффициентов теплопроводности от температуры  $\kappa = f(t)$ .

**Выводы.** На основании проведенного эксперимента следует, что теплопроводность металлов во много раз превосходит теплопроводность газов, т.к. в металлах помимо решеточной теплопроводности необходимо учитывать также и электронную теплопроводность за счет переноса теплоты свободными электронами. При высокой температуре электронная теплопроводность очень существенна. Именно ею объясняется высокая теплопроводность металлов по сравнению с неметаллами. При более низкой температуре начинает преобладать решеточная теплопроводность, а при самой низкой температуре, когда решеточная теплопроводность очень мала. Снова начинает преобладать электронная теплопроводность.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шашков, А.Т. Методы определения теплопроводности и температуропроводности / А.Т. Шашков, Т.М. Выухов, Т.Н. Абраменко, В.П. Козлов – М.: Энергия, 1973. – 336с.

**S.A. Lukashevich, T.P. Zhelonkina, Y.V. Nikitjuk**

*Gomel State University*

### THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF THERMAL CONDUCTIVITY OF SOLIDS

*The paper deals with a method to study the temperature dependence of metals at temperatures ranging from 25 °C to 150 °C. In this range of temperature changes and heat capacity of the metal. Heat transfer is carried out by heat exchange.*

**Keywords:** *conductivity, temperature, heat capacity, heat flux, kinetic energy.*

**С.А. Лукашевич, Т.П. Желонкина, Ю.В. Никитюк**

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

*В работе изучается метод по исследованию температурной зависимости теплопроводности металлов в интервале температур от 25 °C до 150 °C. В данном интервале температуры изменяется и теплоёмкость металла. Передача тепла осуществляется путём теплообмена.*

**Ключевые слова:** *теплопроводность, температура, теплоёмкость, тепловой поток, кинетическая энергия.*

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Лукашевич Светлана Анатольевна** – старший преподаватель кафедры теоретической физики УО «Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины».

*Научные интересы:* проблемы методики обучения физике.

**Желонкина Тамара Петровна** – старший преподаватель кафедры общей физики УО «Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины».

*Научные интересы:* проблемы методики обучения физике.

**Никитюк Юрий Валерьевич** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры радиопизики, проректор по воспитательной работе УО «Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины».

*Научные интересы:* проблемы методики обучения физике.