

**Городская конференция обучающихся муниципальных
образовательных учреждений «Шаги в науку»**

Научное общество учащихся «Поиск» МОУ «Лицей № 149»

Образовательная область «Физика»

Сравнение теплопроводности металлов

Омск, 2011

Оглавление

Введение.....	3
Основная часть.....	4
§1. Экспериментальный способ измерения коэффициента теплопроводности.....	4
§2. Сравнение коэффициентов теплопроводности металлов.....	6
§3. Результаты эксперимента и их обсуждение.....	7
Заключение.....	10
Библиографический список.....	11
Приложения.....	12

Введение

Общеизвестно, что изменение внутренней энергии тела может осуществляться путём совершения работы и теплообмена. Существуют такие виды теплообмена как конвекция, излучение, теплопроводность (1, 2).

В школьном курсе физики для сравнения теплопроводности различных веществ предлагается следующий опыт. «В стальной шарик... вставляют три стержня одинаковой длины и толщины – медный, стальной и стеклянный. На каждом из них на равных расстояниях приклеивают воском гвоздики. Нагревая шарик пламенем спиртовки или газовой горелки, видят, что сначала отваливаются гвоздики от медного стержня, а затем – от стального. На стеклянном стержне гвоздики очень долго держаться. Мы приходим к выводу, что теплопроводность меди велика, потому, что она быстро прогревается, воск тает и гвоздики отпадают. Теплопроводность стали значительно меньше теплопроводности меди, а теплопроводность стекла совсем маленькая» (2, с. 97 – 98). Аналогичный прибор для соответствующего опыта описан на ряде сайтов, например (3). Изображение прибора приведено в приложении 1 к докладу.

Однако в рассмотренном опыте гвоздики отваливаются, когда воск расплавляется, достигая температуры плавления. Тем самым данный опыт демонстрирует в первую очередь не передачу энергии, а изменение температуры. Изменение же температуры зависит не только от переданного количества теплоты, но и от теплоёмкости и плотности вещества. Процессы *теплопроводности* и *температуропроводности* характеризуют, соответственно, коэффициент теплопроводности α и температуропроводности γ . Эти коэффициенты связаны между собой соотношением:

$$\gamma = \frac{\alpha}{c\rho},$$

где γ - коэффициент температуропроводности, м²/с;

α - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

c - удельная теплоёмкость, Дж/(кг·К);

ρ - плотность, кг/м³ (4, с. 743).

Справочные значения коэффициента теплопроводности, теплоёмкости, плотности (5, с. 56, 146 – 148, 171), а также вычисленное нами значение коэффициента температуропроводности указаны в приложении 2. Анализ данных, приведенных в таблице 1, показывает, что не во всех случаях высокая теплопроводность металла соответствует и его высокой температуропроводности.

Как видно описанный выше опыт не является корректным и таким образом *актуально* проведения разграничения двух понятий - теплопроводности и температуропроводности. По этой причине *целью* данной работы являлась разработка способа сравнения теплопроводности металлов.

В работе ставились и решались следующие *задачи*:

1. Изучить теоретические соотношения, которые описывают явление теплопроводности.
2. Разработать метод сравнения теплопроводности металлов.
3. Изготовить экспериментальную установку, провести измерения по сравнению теплопроводности металлов и оценить их точность.

В соответствии с целью работы *объектом исследования* является процесс теплопроводности, а *предметом исследования* - теплопроводность металлов.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что применение первого закона термодинамики позволило обосновать метод сравнения теплопроводности металлов. Работа так же имеет *практическое значение*, так как разработанная установка может быть успешно использована при изучении школьного курса физики.

Основная часть

§1. Экспериментальный способ измерения коэффициента теплопроводности

Стандартный метод определения коэффициента теплопроводности твердых тел основан на использовании закона Фурье (6, с.72-76).

«Явление теплопроводности имеет место тогда, когда существует разность температур, вызванная какими-либо внешними причинами, и заключается в переносе некоторого количества теплоты от более горячего слоя к более холодному.

Если процесс стационарный и температура меняется от слоя к слою равномерно, то количество теплоты Q^1 , передаваемое через площадку S за время Δt можно определить по закону Фурье:

$$Q = -\alpha \frac{\Delta T}{\Delta x} S \Delta t, \quad (1 - 1)$$

где $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ - градиент температуры,

α - коэффициент теплопроводности» (6, с. 72).

Общий вид экспериментальной установки показан на рисунке 1. «Пар от кипятильника 1 непрерывно поступает в сосуд 2, благодаря чему температура стенок сосуда остается постоянной и равной, примерно, 100 °С. На верхнюю крышку сосуда 5 кладется диск 3 из исследуемого материала, сверху которого устанавливается сосуд 4 с водой. Изменение температуры воды фиксируется с помощью термометра 5. Зная толщину L , площадь S и температуру воды до нагревания и через некоторое время Δt после нагревания, можно определить коэффициент теплопроводности α » (6, с. 74).

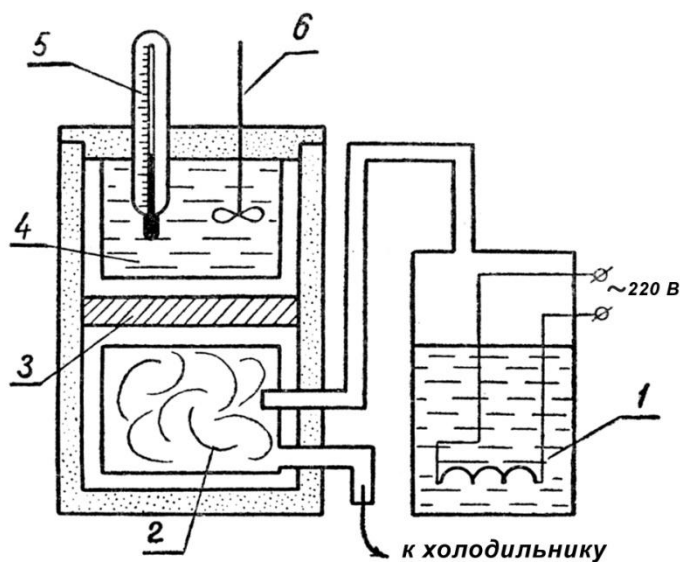


Рис. 1

¹ Здесь и далее обозначения некоторых физических величин изменены в сравнении с цитируемым источником.

Количество теплоты Q , полученное водой за время Δt равно:

$$Q = mc\Delta T, \quad (1-2)$$

где c - удельная теплоемкость воды,

m - масса воды,

ΔT - изменение температуры воды за время нагрева Δt .

С другой стороны, по закону Фурье:

$$Q = -\alpha \frac{\Delta T}{\Delta x} S \Delta t. \quad (1-3)$$

Градиент температуры $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ в данном случае равен:

$$\frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{T - T_{\text{нагр}}}{L}, \quad (1-4)$$

где T - температуры воды через время нагрева Δt .

$T_{\text{нагр}} = 373 \text{ К}$ - температура кипящей воды.

Тогда с учетом (1-2) – (1-4) имеем:

$$mc\Delta T = -\alpha \frac{T - T_{\text{нагр}}}{L} S \Delta t. \quad (1-5)$$

Дальнейший расчёт коэффициента теплопроводности по формуле (1-5) требуют знания

высшей математике, так как градиент температуры $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ в данном случае величина переменная.

Для упрощения расчетов можно предложить модифицировать установку, поместив в сосуд 4 (рис. 1) не воду, а воду со льдом при температуре $T_{\text{хол}} = 273 \text{ К}$. При этом переданное количество теплоты Q расходуется на плавление льда:

$$Q = m\lambda, \quad (1-6)$$

где m - масса льда, растаявшего за время Δt ,

λ - удельная теплота плавления льда.

Градиент температуры в этом случае равен:

$$\frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{T_{\text{хол}} - T_{\text{нагр}}}{L}. \quad (1-7)$$

Из (1-1), (1-6), (1-7) имеем:

$$m\lambda = -\alpha \frac{T_{\text{хол}} - T_{\text{нагр}}}{L} S \Delta t.$$

Отсюда

$$m\lambda = -\alpha \frac{T_{\text{хол}} - T_{\text{нагр}}}{L} S \Delta t.$$

§2. Сравнение коэффициентов теплопроводности металлов

Рассмотренный выше экспериментальный метод определения теплопроводности металлов не позволяет быстро и оперативно сравнить теплопроводности металлов.

С целью сравнения теплопроводности металлов нами была сконструирована следующая установка (рис. 2, фотография установки приведена в приложении 3).

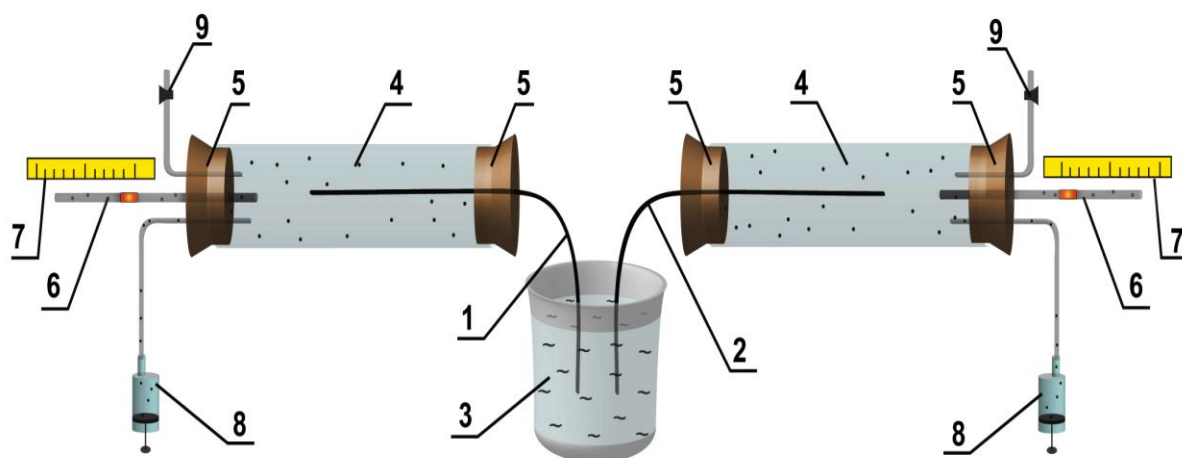


Рис. 2

- 1 – медный стержень,
- 2 – алюминиевый стержень,
- 3 – емкость с горячей водой,
- 4 – воздушный резервуар,
- 5 – пробка, герметизирующая воздушный резервуар,
- 6 – капилляр, замкнутый капелькой жидкости,
- 7 – измерительная шкала,
- 8 – шприц малой емкости,
- 9 – зажим.

Медный и алюминиевый стержни помещают концами в кипящую воду. Благодаря теплопроводности металлов в воздушные резервуары поступает некоторое количество теплоты. Это приводит к повышению температуры воздуха, изменению его внутренней энергии, а также совершению работы воздухом по смещению капельки жидкости в капилляре. Выясним, как смещение капельки жидкости в капилляре x зависит от полученного воздухом количества теплоты Q (рис. 3).

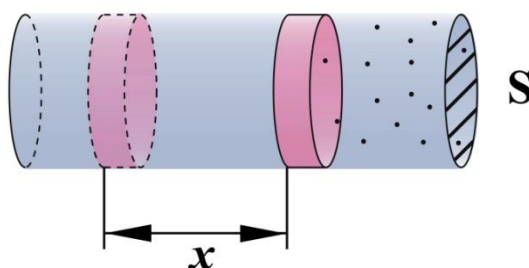


Рис. 3

Количество теплоты Q можно вычислить по формуле:

$$Q = mC_p\Delta T \quad (2 - 1)$$

где m - масса воздуха в резервуаре,

C_p - теплоемкость воздуха при постоянном давлении,

ΔT - изменение температуры воздуха в резервуаре.

Связь между давлением p , объемом V и абсолютной температурой T для определенной массы газа устанавливает уравнение Клапейрона - Менделеева (7, с. 110):

$$pV = \frac{m}{M}RT.$$

Следовательно увеличение температуры воздуха на ΔT при постоянном давлении приводит к увеличению объема воздуха на ΔV :

$$p\Delta V = R\frac{m}{M}\Delta T. \quad (2 - 2)$$

В свою очередь, изменение объема воздуха ΔV равно:

$$\Delta V = Sx, \quad (2 - 3)$$

где S - площадь поперечного сечения капилляра,

x - смещение капельки жидкости в капилляре.

Из соотношений (2 - 1) – (2 - 3) несложно определить, как смещение капельки жидкости в капилляре x зависит от полученного воздухом количества теплоты Q :

$$x \sim Q.$$

С другой стороны, количество теплоты Q , поступившее в воздушный резервуар за определенное время, в соответствии с законом Фурье прямо пропорционально коэффициенту теплопроводности металла α :

$$Q \sim \alpha.$$

Таким образом,

$$x \sim \alpha.$$

Значит для сравнения теплопроводности металлов - меди и алюминия - достаточно сравнить смещение капелек жидкости в капиллярах:

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{x_1}{x_2}. \quad (2 - 4)$$

Более подробный вывод соотношения (2 - 4) дан в приложении 4 доклада.

§3. Результаты эксперимента и их обсуждение

При проведении эксперимента были измерены смещения x_1 и x_2 капелек жидкости в капиллярах, которые замыкают резервуары с медным и алюминиевым стержнями, соответственно. Это позволило получить значение отношения коэффициента теплопроводности меди к коэффициенту теплопроводности алюминия. Обозначим данное отношение как K . С учетом соотношения (2 - 4) K равно:

$$K = x_1/x_2.$$

Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1. Измерение смещения капелек жидкости в капиллярах

Номер опыта	1	2	3	4	5
Продолжительность нагрева, с	20	30	60	120	180
Смещение x_1 , мм	7	15	20	35	42
Смещение x_2 , мм	3	8	10	16	20
$K_{экс}$	2,3	1,9	2,0	2,2	2,1

Оценим погрешность полученного результата. Относительная погрешность результата ε_k равна сумме относительных погрешностей измерения x_1 и x_2 :

$$\varepsilon_k = \varepsilon_{x_1} + \varepsilon_{x_2}.$$

где Δx – абсолютная погрешность измерения смещений x_1 и x_2 , которую можно принять равной 2 мм.

Тогда, например, для опыта № 4 имеем:

$$K = \frac{35_{\text{мм}}}{16_{\text{мм}}} = 2,2.$$

$$\varepsilon_{x_1} = \frac{2}{35} = 0,057.$$

$$\varepsilon_{x_2} = \frac{2}{16} = 0,13.$$

$$\varepsilon_k = 0,19.$$

Выразим абсолютную погрешность Δk :

$$\varepsilon_k = \frac{\Delta K}{K},$$

отсюда

$$\Delta K = \varepsilon_k \cdot K.$$

$$\Delta K = 0,4.$$

Окончательно имеем:

$$K = 2,2 \pm 0,4.$$

Для опыта №5:

$$K = \frac{42_{\text{мм}}}{20_{\text{мм}}} = 2,1.$$

$$\varepsilon_{x_1} = \frac{2}{42} = 0,048.$$

$$\varepsilon_{x_2} = \frac{2}{20} = 0,10.$$

$$\varepsilon_k = 0,15.$$

$$\Delta K = 0,3.$$

$$K = 2,1 \pm 0,3.$$

Справочные значения коэффициентов теплопроводности меди и алюминия указаны в приложении 2 доклада. Для температуры 100⁰С они равны:

$$\alpha_1 = (392 \pm 0,5) \frac{Вт}{м \cdot К}$$

$$\alpha_2 = (207 \pm 0,5) \frac{Вт}{м \cdot К}$$

Тогда отношение коэффициентов теплопроводности меди и алюминия $K_{спр}$, вычисленное по справочным данным, равно:

$$K_{спр} = \frac{392}{207} = 1,89.$$

$$\varepsilon_{\alpha_1} = \frac{0,5}{342} = 0,0013,$$

$$\varepsilon_{\alpha_2} = \frac{0,5}{207} = 0,0024,$$

$$\varepsilon_k = 0,0037.$$

$$\Delta K = 0,01.$$

$$K_{спр} = 1,89 \pm 0,01.$$

Как видно из приведенных расчетов полученное значение отношения теплопроводности находится в согласии со значением, вычисленным по справочным данным.

Заключение

Проведенная нами работа позволяет более четко разграничить два понятия - теплопроводность и температуропроводность. Изготовленная установка по сравнению теплопроводности металлов может быть использована на уроках физики при изучении вопросов, связанных с теплопроводностью металлов.

В дальнейшем данную установку планируется применить для измерения энергии, выделяющейся при разрядке конденсаторов. Для этого в воздушный резервуар необходимо поместить спираль, которая будет нагреваться при прохождении по ней тока, возникающего при разрядке конденсатора. Таким образом можно будет опытным путем выяснить, как энергия электрического поля, накапливаемая в конденсаторе, зависит от зарядного напряжения.

Библиографический список

1. Перышкин, А. В. Физика. 8 кл.: Учеб. для общеобразов. учреждений. – 8-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2004. – 192 с.
2. Физика и астрономия: Учеб. для 8 кл. общеобразоват учреждений / А. А. Пинский, В. Г. Разумовский, Н. К. Гладышева и др.; Под ред. А. А. Пинского, В. Г. Разумовского. – 3-е изд. – М.: Просвещение, 1999. – 303 с.
3. Электронный ресурс. Точка доступа: [www. school_edu_ru](http://www.school_edu_ru):: Теплопроводность металлов.
4. Физический энциклопедический словарь. / Гл. ред. А. М. Прохоров. Ред. кол. Д. М. Алексеев, А. М. Бонч-Бруевич, А. С. Боровик-Романов и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1984. – 944 с.
5. Енохович А. С. Справочник по физике. – М.: Просвещение, 1978. – 415 с.
6. Руководство к лабораторным работам по физике (Для I курса) / Составители: В. Г Грицай, Л. И. Кирюхина, Н. М. Любота и др.; Под ред. Э. А. Майера. – Омск: СибАДИ, 1973. – 168 с.
7. Физика: учеб. для 10 кл. с углубл. изучением физики: профил. уровень / [О. Ф. Кабардин, В. А. Орлов, Э. Е. Эвенчик и др.]; под. ред. А. А. Пинского, О. Ф. Кабардина. – 10-е изд. – М.: Просвещение, 2007. – 431 с.

Приложение 1



Коллекция: естественнонаучные эксперименты

Теплопроводность металлов

Демонстрация различий в теплопроводности металлов

Оборудование

Прибор для демонстрации теплопроводности (металлическая шайба с пятью стержнями из различных металлов); спички; воск (пластилин); спиртовка (или свеча).

Техника безопасности

Опыт безопасен.

Образовательный уровень

базовый курс

Источники

С. А. Ловягин Изучение физики в 7-8 классах на основе простых, наглядных и содержательных экспериментов. - М., 2002.

[Каталог ре-сурсов](#) » [Молекулярная физика и термодинамика](#)

Описание опыта

В массивную латунную шайбу вкручено пять стержней: стальной, латунный, алюминиевый, медный и железный. На каждом из стержней закреплены воском три спички. Греем шайбу на пламени спиртовки или свечи – через несколько секунд падает первая спичка: ближняя к шайбе на медном стержне. Тепло быстро распространилось по медному стержню и расплавilo восковую подошву ближней к шайбе спички. Следующей будет спичка на алюминиевом стержне, потом – на латунном, железном... К этому моменту с медного и алюминиевого стержней упадет уже по несколько спичек. Последней падает крайняя спичка на стальном стержне.



Теплопроводность металлов

Опыт наглядно демонстрирует процесс распространения тепла по металлу. Свойство металлов проводить тепло называется теплопроводностью. Мы убедились в том, что разные металлы обладают разной теплопроводностью. Са-

мая высокая теплопроводностью среди рассмотренных металлов - у меди, самая низкая – у железа и стали.

Постановка опыта

В латунную шайбу диаметром 3 см вкручены стержни одинаковых размеров, но сделанные из различных металлов: стали, латуни, алюминия, меди и железа. На каждом стержне сверху закрепляем по три спички на восковой (или пластилиновой) подошве. На всех стержнях расположение спичек должно быть одинаковым. Шайба закреплена на кронштейне, позволяющем нагревать шайбу спиртовкой или свечой. Через несколько секунд переворачивается вниз «головой» первая спичка: ближайшая к шайбе на медном стержне, затем – на алюминиевом, латунном, железном. Последней опускается вниз крайняя спичка на стальном стержне.

[версия для печати](#)

[Система федеральных образовательных порталов](#)

[Российский общеобразовательный портал - Лауреат Премии Правительства РФ в области образования за 2008 год](#)

[Обратная связь](#)

© Издательство "[Просвещение](#)"

Использование материалов сайта в коммерческих и необразовательных целях запрещено

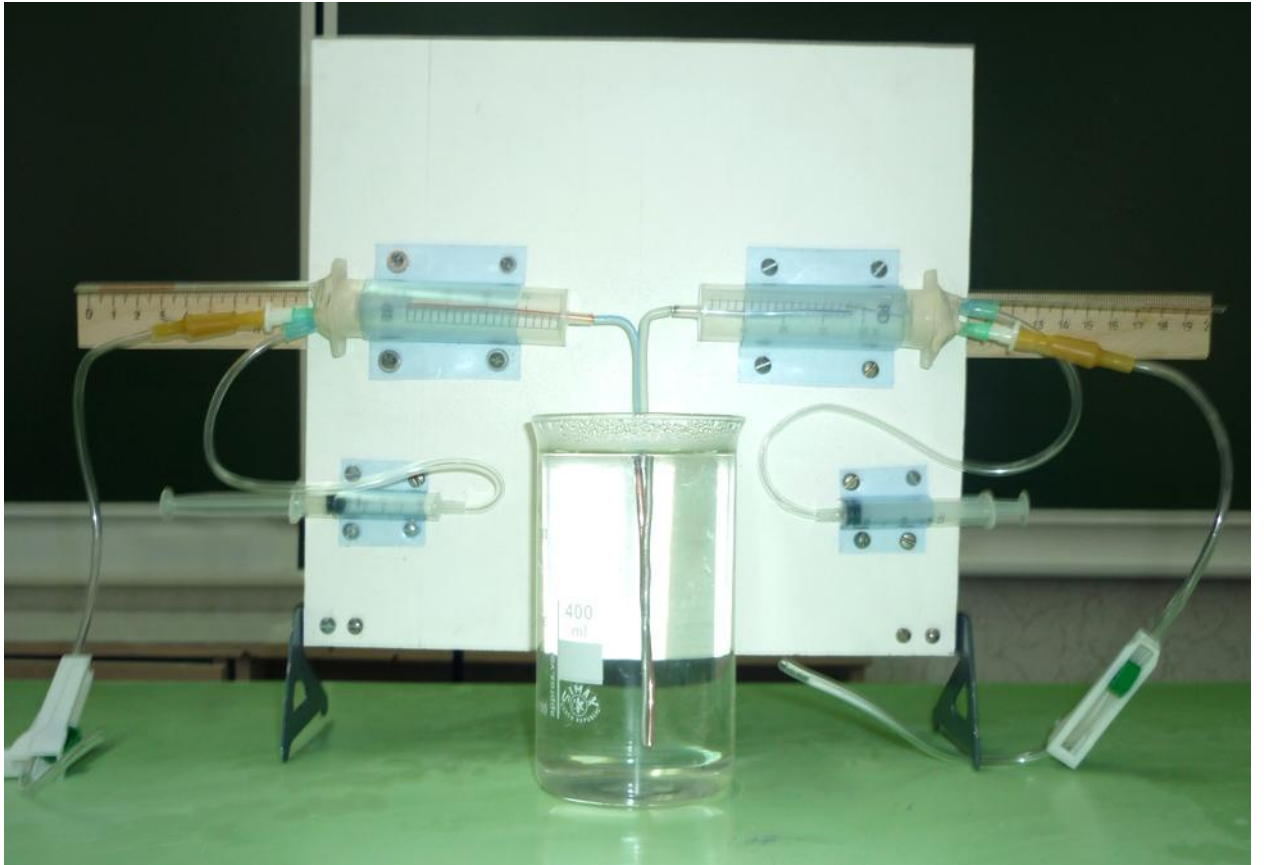
Приложение 2

Значения коэффициента теплопроводности, теплоёмкости, коэффициента температуропроводности для некоторых металлов (по данным приведённым в (5. с. 56, 146 – 148,171) и расчётам авторов).

Металл	Температура $t, ^\circ\text{C}$	Коэффициент теплопроводности $\alpha, \text{Вт(мК)}$	Удельная теплоёмкость $c, \text{Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$	Плотность $\rho, \text{кг/м}^3$	Коэффициент температуропроводности $\gamma, \text{см}^2/\text{с}$
Алюминий	0	209	900	2698,9	0,86
	100	207			0,85
Железо	20	29,1	450	7874	0,082
	100	67,5			0,19
Золото	0	310,5	130	19320	1236
	100	310,5			1236
Медь	0	395,4	380	8960	1,16
	100	392			1,15
Олово	0	74,4	230	7298	0,44
	100	66,1			0,394
Свинец	0	35,4	130	11350	0,239
	100	33,4			0,226
Серебро	0	418,7	230	10500	1,72
	100	416,4			
Цинк	0	113	390	7140	0,405

Приложение 3

Фото экспериментальной установки



Приложение 4

Дадим теоретическое обоснование сравнения теплопроводности металлов по сравнению смещения капелек жидкости в капиллярах:

В соответствии с первым законом термодинамики количество теплоты равно:

$$Q = \Delta U + A, \quad (\text{П4 - 1})$$

где ΔU - изменение внутренней энергии воздуха находящегося в резервуаре,

A - работа воздуха при его расширении.

Воздух можно считать двухатомным газом, его внутренняя энергия равна:

$$U = \frac{5}{2} \frac{m}{M} RT, \quad (\text{П4 - 2})$$

где m - масса воздуха в резервуаре,

M - молярная масса воздуха,

$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ - универсальная газовая постоянная,

T - абсолютная температура (7, с. 162, 181 – 182).

Следовательно

$$\Delta U = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R \Delta T, \quad (\text{П4 - 3})$$

где ΔT - изменение температуры воздуха в резервуаре.

Так как воздух в резервуаре замкнут каплей жидкости, то при нагревании воздуха и его расширении давление воздуха в капилляре всегда равно атмосферному. Значит, воздух действует на капельку жидкости с постоянной силой F :

$$F = pS, \quad (\text{П4 - 4})$$

где p - атмосферное давление,

S - площадь поперечного сечения капилляра.

Таким образом, можно использовать формулу механической работы постоянной силы:

$$A = Fx$$

С учетом соотношения (П4 - 4), получим:

$$A = pSx$$

Но произведение Sx равно изменению объема воздуха ΔV :

$$\Delta V = Sx \quad (\text{П4 - 5})$$

Тогда

$$A = p\Delta V \quad (\text{П4 - 6})$$

Соотношение (П4 - 3) и (П4 - 6) позволяют записать первый закон термодинамики в виде:

$$Q = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R \Delta T + p\Delta V. \quad (\text{П4 - 7})$$

Связь между давлением p , объемом V и абсолютной температурой T для определения массы газа устанавливает уравнение Клапейрона - Менделеева:

$$pV = \frac{m}{M} RT.$$

Следовательно увеличение температуры воздуха на ΔT при постоянном давлении приводит к увеличению объема воздуха на ΔV :

$$p\Delta V = R \frac{m}{M} \Delta T$$

Последнее выражение позволяет упростить соотношение (П4 - 7):

$$Q = \frac{5}{2} p\Delta V + p\Delta V.$$

$$Q = \frac{7}{2} p \Delta V.$$

Но изменение объема воздуха ΔV прямо пропорционально смещению капельки жидкости в капилляре x (см. соотношение (П4 - 5)).

Тогда:

$$Q = \frac{7}{2} p S x.$$

Таким образом

$$x \sim Q.$$

Количество теплоты Q , поступившее в воздушный резервуар за определенное время, в соответствии с законом Фурье (см. соотношение (1-1)) прямо пропорционально коэффициенту теплопроводности α :

$$Q \sim \alpha.$$

Значит

$$x \sim \alpha.$$

Таким образом, для сравнения теплопроводности металлов достаточно сравнить смещение капелек жидкости в капиллярах:

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{x_1}{x_2}.$$

