



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Егорьевский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
(ЕТИ ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН»)

Факультет технологии и управления производствами
Кафедра естественнонаучных дисциплин

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ**
Методические указания к выполнению лабораторной работы

ЕТИ. Ф.ЛР.14.

г. Егорьевск 2014

Составители: _____ В.Ю. Никифоров, ст. преподаватель ЕНД

В методических указаниях даны основные определения молекулярной физики и термодинамики, рассмотрены: понятия теплообмена, количества теплоты, виды теплообмена: теплопроводность, конвекция, излучение; закон Фурье, определение теплофизических характеристик (плотности, коэффициента температуропроводности, коэффициента теплопроводности) сыпучих материалов.

Методические указания предназначены для студентов 1 курса, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 280700 Техносферная безопасность для лабораторных работ по дисциплине "Физика".

Методические указания обсуждены и одобрены на заседании учебно-методической группы (УМГ) кафедры ЕНД

(протокол № _____ от _____ г.)

Председатель УМГ _____ Г.Г Шабаетова

Определение теплофизических характеристик сыпучих материалов

- 1 **Цель работы:** изучение явлений теплопроводности и определение теплофизических характеристик сыпучих материалов (коэффициента температуропроводности, коэффициента теплопроводности).
- 2 **Оборудование и материалы:** Ящик с исследуемым материалом, Термометр -2 шт., Зонд - 2 шт., электроплитка, секундомер

3 Содержание работы

Изучить теоретический материал
Подготовить конспект лабораторной работы
Подготовить конспект лабораторной работы
Ответить на контрольные вопросы
Определить коэффициент температуропроводности и теплопроводности песка и волластонита
Оформить отчет по работе

4 Теоретические сведения к работе

4.1 Теплообмен. Количество теплоты

Внутренняя энергия тел может изменяться и без совершения механической работы. Вынув из кипящей воды металлический цилиндр, опустим его в стакан с водой. Измерив первоначальную и конечную температуру воды, мы убеждаемся, что ее внутренняя энергия увеличилась, так как температура воды в стакане стала выше. В этом опыте внутренняя энергия передается от цилиндра воде без совершения механической работы.

Передача внутренней энергии от одного тела к другому без совершения механической работы называется теплообменом. Пусть первоначальная внутренняя энергия воды равна U_1 . В результате теплообмена внутренняя энергия увеличилась и стала равной U_2 , т. е. изменилась на величину $\Delta U = U_2 - U_1$.

Количество внутренней энергии, передаваемое от одного тела к другому в процессе теплообмена, называется количеством теплоты. Количество теплоты обозначается буквой Q . Следовательно, $Q = \Delta U$.

Как известно из механики, количество механической энергии, которое передается от одного тела к другому в процессе их механического взаимодействия, измеряется работой. Количество внутренней энергии, передаваемой от одного тела к другому, измеряется количеством теплоты.

Если две системы, находящиеся при разных температурах, привести в тепловой контакт, то между ними происходит передача тепловой энергии, пока не установится тепловое равновесие и температуры не станут одинаковыми. Энергия, переносимая от одной системы к другой только за счет разницы в температурах этих систем, называется **количеством теплоты**.

Принятое обозначение для количества теплоты: Q , $[Q] = \text{Дж}$.

Количество теплоты — это не запас внутренней энергии, а та её часть, которую передаёт или получает тело в процессе теплообмена.

4.2 Виды теплообмена

В естественных условиях передача внутренней энергии тем теплообмена всегда происходит в строго определенном направлении: от тела с более высокой температурой к телу с более низкой температурой. Когда же температуры тел становятся одинаковыми, наступает состояние теплового равновесия: тела обмениваются энергией в равных количествах.

Совокупность явлений, связанных с переходом тепловой энергии из одних частей пространства в другие, который обусловлен различием температур этих частей, называют в общем случае теплообменом. В природе существует несколько видов теплообмена. Существуют три способа передачи количества теплоты от одного тела к другому: *теплопроводность, конвекция и излучение*.

4.2.1 Теплопроводность.

Поместим в пламя спиртовки конец металлического стержня. К стержню на равных расстояниях друг от друга прикрепим с помощью воска несколько спичек. При нагревании одного конца стержня восковые шарики плавятся, и спички одна за другой падают. Это свидетельствует о том, что, внутренняя энергия передается от одного конца стержня к другому.



Рисунок 1 Демонстрация процесса теплопроводности

Выясним причину этого явления.

При нагревании конца стержня интенсивность движения частиц, из которых состоит металл, возрастает, их кинетическая энергия увеличивается. Вследствие хаотичности теплового движения они сталкиваются с более медленными частицами соседнего холодного слоя металла и передают им часть своей энергии. В результате этого внутренняя энергия передается от одного конца стержня к другому.

Передача внутренней энергии от одной части тела к другой в результате теплового движения его частиц называется теплопроводностью.

4.2.2 Конвекция

Передача внутренней энергии путем теплопроводности происходит главным образом в твердых телах. В жидких и газообразных телах передача внутренней энергии осуществляется и другими способами. Так, при нагревании воды плотность ее нижних, более горячих, слоев уменьшается, а верхние слои остаются холодными и плотность их не изменяется. Под действием сил тяжести более плотные холодные слои воды опускаются вниз, а нагретые поднимаются вверх: происходит механическое перемешивание холодных и нагретых слоев жидкости. Вся вода прогревается. Аналогичные процессы происходят и в газах.

Передача внутренней энергии вследствие механического перемешивания нагретых и холодных слоев жидкости или газа называется конвекцией.

Явление конвекции играет большую роль в природе и технике. Конвекционные потоки вызывают постоянное перемешивание воздуха в атмосфере, благодаря чему состав воздуха во всех местах Земли практически одинаков. Конвекционные течения обеспечивают непрерывное поступление свежих порций кислорода к пламени в процессах горения. Вследствие конвекции происходит выравнивание температуры воздуха в жилых помещениях при отоплении, а также воздушное охлаждение приборов при работе различной радиоэлектронной аппаратуры.

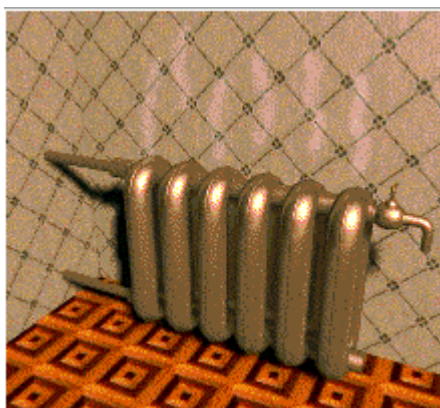


Рисунок 2 Обогрев и выравнивание температуры воздуха в жилых помещениях при отоплении вследствие конвекции

4.2.3 Излучение

Передача внутренней энергии может происходить и путем электромагнитного излучения. Это легко обнаружить на опыте. Включим в сеть электронагревательную печь. Она хорошо обогревает руку, когда мы подносим ее не только сверху, но и сбоку печи. Теплопроводность воздуха очень мала, а конвекционные потоки поднимаются вверх. В этом случае энергия от раскаленной электрическим током спирали в основном передается способом излучения.

Передача внутренней энергии путем излучения осуществляется не частицами вещества, а частицами электромагнитного поля — фотонами. Они не существуют внутри атомов «в готовом виде», подобно электронам или протонам. Фотоны возникают при переходе электронов из одного электронного слоя в другой, расположенный ближе к ядру, и при этом уносят с собой определенную порцию энергии. Достигая другого тела, фотоны поглощаются его атомами и целиком передают им свою энергию.

Передача внутренней энергии от одного тела к другому вследствие ее переноса частицами электромагнитного поля — фотонами, называется электромагнитным излучением. Любое тело, температура которого выше температуры окружающей среды, излучает свою внутреннюю энергию в окружающее пространство. Количество энергии, излучаемое телом в единицу времени, резко возрастает с повышением его температуры.

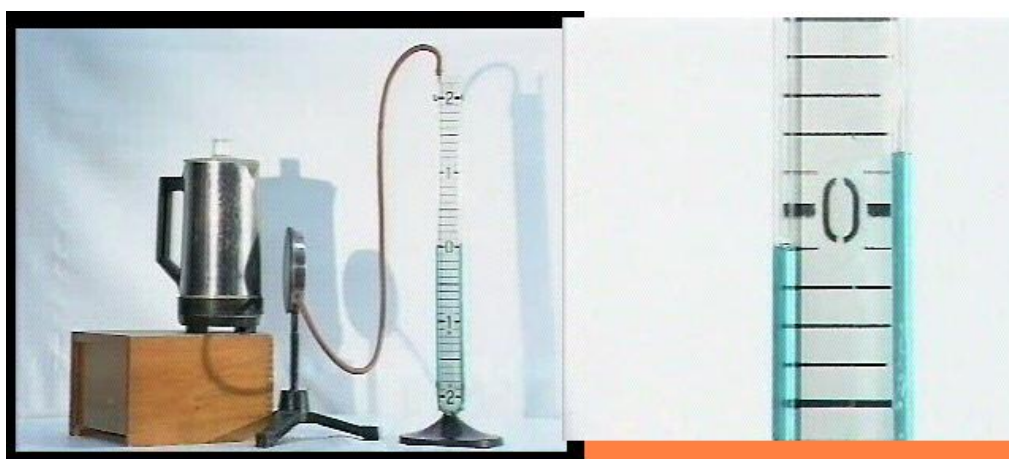


Рисунок 3 Опыт, иллюстрирующий передачу внутренней энергии горячего чайника через излучение



Рисунок 4 Излучение от Солнца

4.2.4 Явления переноса в термодинамически неравновесных системах. Теплопроводность

В термодинамически неравновесных системах возникают особые необратимые процессы, называемые явлениями переноса, в результате которых происходит пространственный перенос энергии, массы, количества движения. К явлениям переноса относятся теплопроводность (обусловлена переносом энергии), диффузия (обусловлена переносом массы) и внутреннее трение (обусловлено переносом количества движения). Для этих явлений перенос энергии, массы и количества движения всегда происходит в направлении, обратном их градиенту, т. е. система приближается к состоянию термодинамического равновесия.

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.

Процесс передачи энергии в форме теплоты подчиняется закону теплопроводности Фурье: количество теплоты q , которое переносится за единицу времени через единицу площади, прямо пропорционально $\frac{dT}{dx}$ - градиенту температуры, равному скорости изменения температуры на единицу длины x в направлении нормали к этой площади:

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

где λ — коэффициент теплопроводности или теплопроводность. Знак минус показывает, что при теплопроводности энергия переносится в сторону убывания температуры. Теплопроводность λ равна количеству теплоты, переносимой через единицу площади за единицу времени при температурном градиенте, равном единице.

Очевидно, что теплота Q , прошедшая посредством теплопроводности через площадь S за время t , пропорциональна площади S , времени t и градиенту температуры $\frac{dT}{dx}$:

$$Q = -\lambda \frac{dT}{dx} St$$

Можно показать, что

$$\lambda = \frac{1}{3} c_v \rho \langle v \rangle \langle l \rangle \quad (2)$$

где c_v — удельная теплоемкость газа при постоянном объеме (количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг газа на 1 К при постоянном объеме), ρ — плотность газа, $\langle v \rangle$ — средняя арифметическая скорость теплового движения молекул, $\langle l \rangle$ — средняя длина свободного пробега.

Т.е. видно от каких причин зависит количество энергии, передаваемое путем теплопроводности, например, из комнаты через стенку на улицу. Очевидно, что из комнаты на улицу передается энергии тем больше, чем больше площадь стенки S , чем больше разность температур ΔT в комнате и на улице, чем больше времени t происходит теплообмен между комнатой и улицей и чем меньше толщина стенки (толщина слоя вещества) d : $Q \sim \frac{S \Delta T t}{d}$.

Кроме того, количество энергии, передаваемое путем теплопроводности, зависит от материала, из которого изготовлена стенка. Различные вещества при одинаковых условиях передают путем теплопроводности разное количество энергии. Количество энергии, которое передается путем теплопроводности через каждую единицу площади слоя вещества за единицу времени при разности температур между его поверхностями в 1°C и при его толщине в 1 м (единицу длины), может служить мерой способности вещества передавать энергию путем теплопроводности. Эту величину называют коэффициентом теплопроводности. Чем больше коэффициент теплопроводности λ , тем больше энергии передается слоем вещества. Наибольшей теплопроводностью обладают металлы, несколько меньшей — жидкости. Наименьшей теплопроводностью обладает сухой воздух и шерсть. Этим и объясняются теплоизолирующие свойства одежды у человека, перьев у птицы и шерсти у животных.

4.3 Определение теплофизических характеристик сыпучих материалов (плотности, коэффициента температуропроводности, коэффициента теплопроводности)

Теплообмен посредством теплопроводности внутри твердых тел, в жидкостях и газах происходит согласно закона Фурье:

$$Q = \lambda \frac{dT}{dx} St \quad (3),$$

где Q - количество тепла, проходящее через площадку S за время τ ; dt/dx - градиент температуры в данной плоскости; λ - коэффициент теплопроводности.

При всех тепловых расчетах исходным является уравнение теплопроводности:

$$d/dx (\lambda dt/dx) + W = C_v \rho \tau dt/d\tau \quad (4),$$

где W - мощность внутренних источников тепла, отнесенная к единице объема, C_v - удельная теплоемкость материала (при постоянном объеме), ρ - плотность материала.

Если λ , не зависит от температуры, его можно вынести за знак частной производной, и мы получим

$$\lambda \Delta^2 t + W = C_v \rho dt/d\tau \quad (5),$$

где $\Delta^2 t = d^2 t/dx^2 + d^2 t/dy^2 + d^2 t/dz^2$ - оператор Лапласа.

Введем новую физическую величину

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_v \rho}, \quad (6)$$

которую называют температуропроводностью материала, тогда уравнение (5) примет вид:

$$dt/d\tau = \alpha \Delta^2 t + W/C_v \rho \quad (7)$$

Температуропроводность или коэффициент температуропроводности, физический параметр вещества, характеризующий скорость изменения его температуры в нестационарных тепловых процессах; мера теплоинерционных свойств вещества. Температуропроводность характеризует скорость изменения (выравнивания) температуры. Температуропроводность как видно из (6) численно равна отношению коэффициента теплопроводности вещества к произведению его удельной теплоёмкости (при постоянном давлении) на плотность; выражается в $m^2/сек$.

Дифференциальное уравнение (7) с привлечением начальных и граничных условий позволяет определить температуру в материале в любой момент времени. Когда внутренних источников тепла нет, уравнение (7) записывается в следующем виде:

$$dt/d\tau = \alpha \Delta^2 t \quad (8)$$

Теплопроводность характеризует способность материала повышать свою температуру с большей или меньшей скоростью $dt/d\tau$ под действием притекающего тепла. Величины λ , α , C_v , ρ связаны соотношением (6), поэтому, если известна плотность материалов ρ , то достаточно определить 2 величины λ и α , чтобы знать все теплофизические характеристики.

Для определения коэффициента теплопроводности λ существует целый ряд стационарных методов, в которых создается постоянная разность температур между определенными изотермическими поверхностями, и, зная полный тепловой поток через эти поверхности, можно определить λ . Так, в случае, когда изотермическими поверхностями являются бесконечные плоскости (**рисунок 5**), а λ не зависит от температуры, в соответствии с законом Фурье имеем:

$$X = Q / S \tau \cdot (x_2 - x_1) / (t_2 - t_1), \quad (9)$$

где t_1 , x_1 - температура и координата первой изотермической поверхности; t_2 , x_2 - температура и координата второй изотермической поверхности; Q - количество тепла, протекающего через поверхность площадью S за время τ .

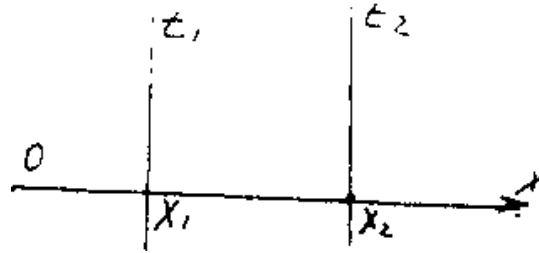


Рисунок 5 Схема для определения коэффициента теплопроводности

Таким образом, для измерения коэффициента теплопроводности стационарным методом необходимо измерять t в двух точках и знать поток количества теплоты, создаваемый определенным источником. Методы стационарного теплового потока позволяют определить только коэффициент теплопроводности λ .

Вообще говоря, закон Фурье (3) применим лишь к сплошным средам. Однако очень многие технические материалы представляют собой системы из твердых частиц, отделенных друг от друга порами различной формы и размеров, которые заполнены газом. Передача тепловой энергии в таких материалах состоит из передачи тепла теплопроводностью через твердый скелет, теплопроводности и конвекции через поры и теплопроводности излучением между стенками пор. Принимают, что математически суммарный процесс теплопередачи в таких материалах происходит согласно закона Фурье, но под X следует уже понимать условный коэффициент, который характеризует свойство материала передавать тепловую энергию одновременно всеми указанными способами. Уподобление технического материала физическому телу, т.е. непрерывной среде, будет тем ближе к истине, чем меньше крупинки или волокна материала по сравнению с размерами изделия, изготовленного из этого материала.

Точно так же условный смысл приобретает и коэффициент температуропроводности и плотности. Одной из характеристик, широко используемых для оценки качества продукции и сырья в виде сыпучих материалов (СМ), является плотность ρ . Все методы измерения плотности являются абсолютными или косвенными.

Абсолютные методы, путем прямых измерений объема и массы, наиболее предпочтительны для практического определения плотности сыпучих веществ и твердых тел сложной формы. Косвенные методы, основанные, например, на затухании радиоактивных, рентгеновских или ультразвуковых потоков, проходящих через анализируемое вещество (тело), более удобны для автоматизации, однако, их показания существенно зависят от толщины и формы изделий, физических и химических свойств вещества. Поэтому косвенные методы

получили большее распространение для жидких и газообразных сред, которые легко занимают заданный объем в измерительной емкости. Измерение плотности сыпучих материалов и различных изделий сложной формы из твердых материалов не является однозначным и создает ряд дополнительных трудностей.

Сыпучие материалы характеризуются насыпной (объемной) плотностью и плотностью материала частиц, знание которых необходимо при проектировании различного оборудования, при расчетах сыпучести, веса хранящегося продукта и др.

Насыпная плотность представляет собой массу материала в единице занимаемого им объема. Она зависит от размера и материала частиц сыпучего материала, влажности, плотности укладки частиц. Плотность материала частиц определяется как отношение массы вещества к занимаемому им объему и разделяется на объемную, кажущуюся и истинную.

Под объемной плотностью частиц СМ понимают среднюю плотность частиц материала, объем которых включает себя закрытые и открытые поры.

Часто частицы СМ, полученные в результате различных технологических процессов, имеют закрытые поры, из которых удалить газ не представляется возможным без использования процесса измельчения частиц. Плотность таких частиц соответствует кажущейся плотности. Таким образом, кажущаяся плотность частиц СМ – масса единицы объема частиц, включая и объем закрытых пор.

Если сыпучий материал получен путем измельчения монолита, кристаллизации, то плотность материала частиц совпадает с истинной плотностью, т.е. плотностью частиц без пустот.

Что же касается удельной теплоемкости материала, то эта величина непосредственно связана с запасом энергии и сохраняет физический смысл. Несмотря на простоту заложенных идей, стационарные методы определения коэффициента теплопроводности встречают ряд технических трудностей при их реализации. Отметим также, что установление теплового равновесия требует значительного времени, что затрудняет знакомство с этими методами в лаборатории.

Применение нестационарных методов позволяет определять все теплофизические характеристики материалов λ , α , c_v , что необходимо для расчета температурных полей в материалах. Среди существующих нестационарных методов, выделим зондовые методы, суть которых заключается в следующем: испытываемый образец уподобляется неограниченной среде, внутрь которого вводится источник тепла (зонд). Вводя его в образец - среду, - измеряют количество тепла, служащего для постоянного его питания. Написав уравнение, выражающее температурное поле пространства, и, вводя, если нужно, мощность источника тепла, находят из них тепловые коэффициенты среды, при этом делается ряд допущений, которые с некоторым приближением должны быть соблюдены:

1. - поле температур предполагается повсюду однородным;
2. •• источники тепла имеют бесконечно малый определяющий размер

(толщину, радиус);

3. - в начальный момент времени пространство имеет во всех точках одинаковую температуру, за исключением тех мест, куда введен зонд.

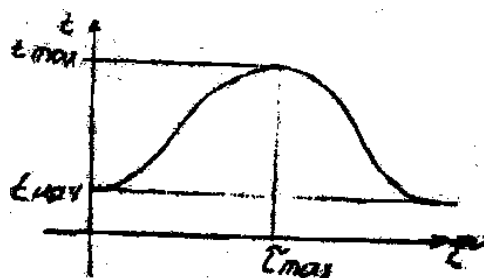


Рисунок 6 График зависимости температуры t от времени τ в фиксированной точке x

Если источник имеет форму пластинки, которой сообщен за бесконечно короткое время тепловой импульс, распространяющийся в направлении оси абсцисс по всему пространству, тогда

$$t(x, \tau) - t_{\text{нач}} = \frac{Q_0}{2\sqrt{\pi\alpha\tau}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha\tau}\right) \quad (10)$$

Изменение с течением времени температуры t в фиксированной точке с координатой x приведено на рисунке 6.

В начальный момент времени температура $t(0) = t_{\text{нач}} = \text{const}$; затем, когда тепловой импульс проникает в среду, температура постепенно повышается, и в некоторый момент времени τ_{max} достигает до максимума t_{max} , а затем начинает спадать, стремясь к $t_{\text{нач}}$ при $\tau \rightarrow \infty$ (поскольку среда бесконечное тело, и поглощение ею конечного количества тепловой энергии не может вызывать конечного повышения t). Из формулы (10), приравняв нулю частную производную по τ , получим выражение, связывающее x с τ :

$$\alpha = x^2 / 2\tau_{\text{max}} \quad (11)$$

Следует отметить, что при этом методе требуется лишь определить момент времени, соответствующий максимальной температуре.

5 Порядок выполнения работы

5.1 Определить плотности материалов с помощью мерного сосуда и весов:

$$\rho = m/V \quad (12)$$

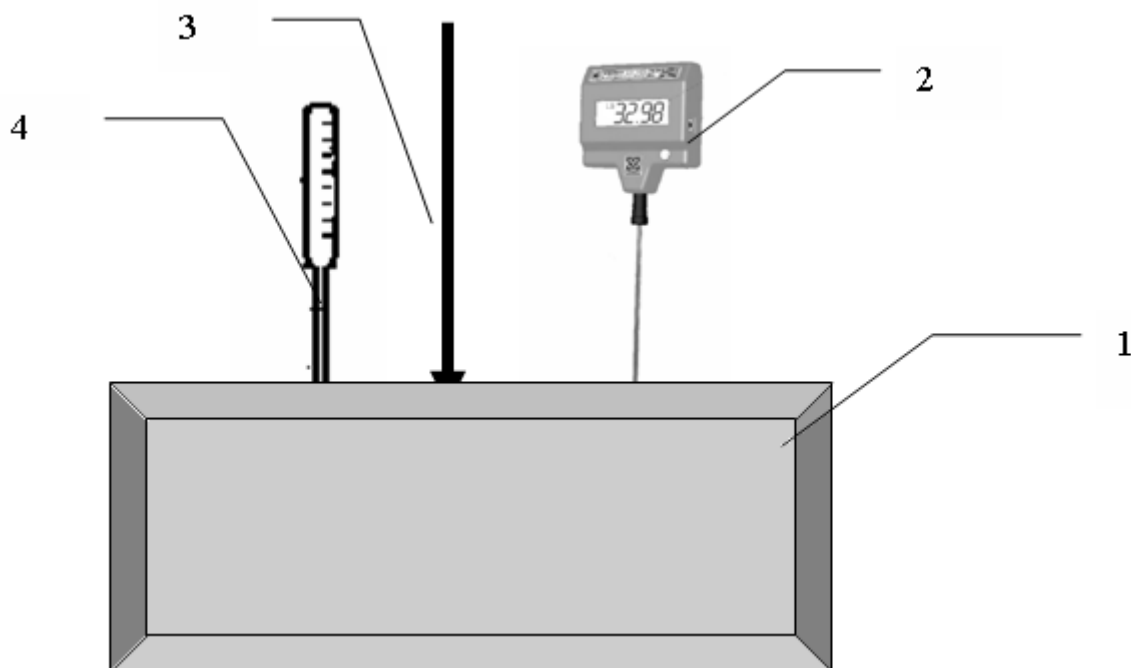
5.2 Вычислить максимальные относительную и абсолютную ошибки определения плотности, используя выражения:

$$E_\rho = \frac{\Delta\rho}{\langle\rho\rangle} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{\langle m\rangle}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{\langle V\rangle}\right)^2} \quad (13)$$

$$\Delta\rho = E_\rho \langle\rho\rangle \quad (14)$$

5.3 Определить температуропроводность материалов.

5.3.1 Расположить термометры на расстояниях примерно 2см и 4 см от места введения зонда (см. рисунок 7).



1- ящик с исследуемым сыпучим материалом, 2 – электронный термометр, 3 - металлический зонд, 4 – термометр (ртутный)

Рисунок 7 Схема установки

5.3.2 Нагреть на электроплитке металлическую пластину зонд. Погрузить быстро пластину - зонд в материал (вертикально и перпендикулярно стенке ящика).

5.3.3 Измерить температуру с интервалом 30 сек. Данные записать в таблицу. Построить график зависимости температуры от времени. Определить по графику $t = f(\tau)$ значение t_{\max} .

Таблицы 1,2

Экспериментальные данные

t, с	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
T, К													

Продолжение таблиц 1, 2

t, с	390	420	450	480	510	540	570	600	630	660	690	720
T, K												

Продолжение таблиц 1, 2

t, с	750	780	810	840	870	900	930	960	990	1020	1050	1080	1110	1140	1170	1200
T, K																

5.3.4. Измерить расстояния от зонда до термометров.

5.3.5. Вычислить коэффициент температуропроводности по формуле (11).

5.3.6. Вычислить максимальную относительную и абсолютную ошибку измерения $[\tau]$, используя выражение:

$$E_{\alpha} = \frac{\Delta\alpha}{\langle\alpha\rangle} = \sqrt{\left(2\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\tau}{\tau_{\max}}\right)^2} \quad (15)$$

$$\Delta\alpha = E_{\alpha}\langle\alpha\rangle \quad (16)$$

где Δx - абсолютная ошибка определения расстояния от зонда до термпары; $\Delta\tau$ - абсолютная ошибка определения τ_{\max} .

5.3.7. Представить результаты в виде:

$$\alpha_{\text{ист}} = \langle\alpha\rangle \pm \Delta\alpha \quad (17)$$

5.4. Определить коэффициенты теплопроводности материалов, используя приведенное значение удельной теплоемкости по формуле

$$\lambda = \alpha c_V \rho \quad (18),$$

5.5. Вычислить максимальные относительную и абсолютную ошибки, используя выражения:

$$E_{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{\Delta\alpha}{\langle\alpha\rangle}\right)^2 + \left(\frac{\Delta c_V}{\langle c_V \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\rho}{\langle\rho\rangle}\right)^2} \quad (19),$$

$$\Delta\lambda = \lambda E_{\lambda} \quad (20),$$

5.6. Представить результаты работы в виде:

$$\alpha_{\text{ист}} = \langle \alpha \rangle \pm \Delta \alpha \quad (21)$$

$$\rho_{\text{ист}} = \langle \rho \rangle \pm \Delta \rho \quad (22)$$

$$\lambda_{\text{ист}} = \langle \lambda \rangle \pm \Delta \lambda \quad (23)$$

6 Контрольные вопросы

6.1 Какие виды теплообмена вы знаете?

6.2 Чем обусловлена теплопроводность материалов с молекулярно-кинетической точки зрения?

6.3 Что такое коэффициент теплопроводности?

6.4 Что такое коэффициент температуропроводности?

6.5 Методы определения теплопроводности материалов

6.6 Уравнение Фурье

6.7 Какие физические эффекты происходят при заполнении емкости постоянного объема газом?

6.8 Поясните понятие насыпной плотности и плотности частиц СМ.

6.9 Как измеряют объем пористых и сыпучих веществ, не допускающих смачивания?

6.10 Поясните порядок выполнения работы.

6.11 Что такое истинная и средняя удельная теплоемкости?

6.12 Почему молярная теплоемкость при постоянном давлении не равна молярной теплоемкости при постоянном объеме?

6.13 Какая удельная теплоёмкость определяется в работе: истинная или средняя? c_p или c_v ?

7. Содержание отчета

7.1. Титульный лист (наименование работы)

7.2. Цель работы

7.3. Краткое описание оборудования и хода работы

7.4. Схема установки

7.5. Результаты измерений (таблицы, графики)

7.6. Результаты расчетов

7.7. Выводы (итоги работы)

8 Список использованной литературы

- 1 Лабораторный практикум по физике / Под ред. Ахматова А.С. – М.: Высшая школа, 2002. - 360 с.
- 2 Павлинов П.А., Прокопов А.Ю., Суптелин М.В. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Технология изоляционных строительных материалов и изделий»/ Шахтинский ин-т ЮРГТУ. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2004. – 23 с.
- 3 **Практикум по физике:** Учеб. пособие для студентов мед. вузов / Под ред. Г.М. Стюревой. - М.: ВЕДИ, 2005. - 200 с.: ил.
- 4 Трофимова Т. И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – 13-е изд., стереотип. - М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 560 с.: ил.
- 5 Термодинамика и статистическая физика. Определение теплофизических характеристик сыпучих материалов. Метод. указания к лаб. работам/ Сост. В.Ю. Никифоров – Егорьевск: ЕТИ (филиал) ГОУ ВПО МГТУ «Станкин», 2007- 16 с.
- 6 Физические основы измерений: Метод. указ. / Сост.: Д. М. Мордасов, М. М. Мордасов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос.техн. ун-та, 2002. 32 с.