

Определение удельной теплоёмкости жидкости методом лучеиспускания.

Нагретое тело, помещенное в среду с более низкой температурой, теряет тепло, излучая его в окружающую среду. Этот процесс можно описать эмпирическим законом Ньютона:

$$dQ = \alpha \cdot (T - T_0)dt \quad (1)$$

- количество тепла dQ , отданное телом за небольшой отрезок времени dt , пропорционально разности температуры тела T и температуры окружающей среды T_0 ; коэффициент пропорциональности α - коэффициент теплоотдачи - определяется свойствами излучающей поверхности. Закон Ньютона достаточно хорошо выполняется при небольших (несколько градусов) разностях температур $T - T_0$. Излучение ведет к уменьшению внутренней энергии тела и, если эта энергия определяется только хаотическим (тепловым) движением атомов и молекул тела (в частности, не протекают никакие химические реакции, не происходит изменение агрегатного состояния вещества и т.п.), то можно записать

$$dQ = -CdT, \quad (2)$$

где C - теплоёмкость тела и dT - изменение его температуры.

Из формул (1) и (2) следует

$$\alpha(T - T_0)dt = -CdT. \quad (3)$$

Измерив скорость охлаждения тела, можно вычислить его теплоёмкость, если известен коэффициент теплоотдачи α . Этот коэффициент можно определить, исследуя охлаждение другого тела, принятого за эталонное, теплоёмкость которого известна, а поверхность имеет те же свойства, что и поверхность исследуемого тела. На этом и основан способ определения удельной теплоёмкости жидкости методом лучеиспускания.

Исследуемую жидкость наливают в сосуд, изготовленный из теплопроводного материала, нагревают, а затем наблюдают её остывание, происходящее благодаря излучению. Фиксируют зависимость температуры жидкости и внешней среды от времени.

Пусть за время dt температура жидкости изменилась на dT . Тогда, согласно формуле (3),

$$\alpha(T - T_0)dt = -(cm + \omega)dT.$$

Здесь m - масса жидкости, c - её удельная теплоёмкость и ω - тепловой эквивалент сосуда, в который она налита. Интегрируя обе части равенства, получим уравнение, описывающее охлаждение жидкости от температуры T_1 до T_2 , происходящее за промежутки времени от t_1 до t_2 :

$$\int_{t_1}^{t_2} \alpha(T - T_0)dt = -(cm + \omega)(T_2 - T_1). \quad (4)$$

Левую часть равенства можно упростить, если считать, что величина коэффициента α не меняется за время остывания, т.е. не зависит от температур T и T_0 (в действительности это верно лишь приблизительно). Вынося α за знак интеграла, получим:

$$\alpha \int_{t_1}^{t_2} (T - T_0)dt = -(cm + \omega)(T_2 - T_1),$$

откуда

$$c = \frac{1}{m} \left[\frac{\alpha S}{T_1 - T_2} - \omega \right], \quad (5)$$

где

$$S = \int_{t_1}^{t_2} (T - T_0)dt. \quad (6)$$

Величину интеграла S можно определить графически. Начертим график зависимости температур T и T_0 от времени (рис.1). Из рисунка видно, что S равно площади, заключенной между кривыми $T(t)$, $T_0(t)$ и прямыми $t = t_1$ и $t = t_2$.

Чтобы определить коэффициент α , продельваем такие же измерения с эталонной жидкостью. Её наливаем в такой же сосуд, что и исследуемую жидкость, - этим достигаются одинаковые условия теплоотдачи для обеих жидкостей. Для эталонной жидкости получим аналогичные соотношения:

$$\alpha \cdot S_3 = -(c_3 m_3 + \omega)(T_{23} - T_{13}),$$

$$S_3 = \int_{t_{13}}^{t_{23}} (T - T_0)dt,$$

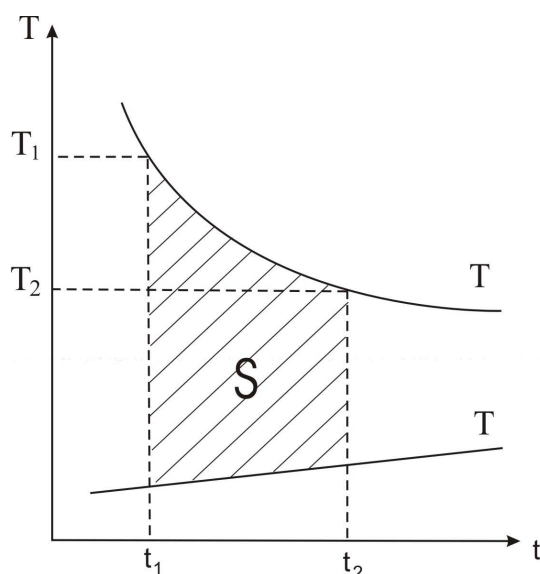


Рис. 1.

откуда

$$\alpha = \frac{(c_3 m_3 + \omega)(T_{13} - T_{23})}{S_3}. \quad (7)$$

Подставляя это значение α в уравнение (5), будем иметь:

$$c = \frac{1}{m} \left[\frac{S}{S_3} \frac{T_{13} - T_{23}}{T_1 - T_2} (c_3 m_3 - \omega) \right]. \quad (8)$$

Экспериментальная установка и измерения.

В нашей работе измеряется удельная теплоёмкость керосина. Эталонной жидкостью служит вода.

Калориметр, предназначенный для данной работы, состоит из трёх цилиндрических сосудов, вставленных один в другой. Первый, наружный массивный сосуд закрыт эбонитовой крышкой. К крышке снизу привинчен второй сосуд с зачерненной внутренней поверхностью. В этом втором сосуде на шелковых нитях подвешено эбонитовое кольцо, на котором помещается третий, внутренний, сосуд с блестящей полированной наружной поверхностью.

Жидкость наливается во внутренний сосуд. Между первым (наружным) и вторым сосудом налита вода, играющая роль окружающей среды. Излучение происходит через прослойку воздуха между третьим (внутренним) и вторым сосудами.

В крышке наружного сосуда калориметра сделано отверстие для термометра, измеряющего температуру среды, принимающей излучение. В середине крышки имеется круглый вырез, в который вставляется внутренний сосуд. Вырез, в свою очередь, закрывается эбонитовой крышкой, в которую вставляется термометр, измеряющий температуру исследуемой жидкости, и мешалка.

Нагревание внутреннего сосуда с жидкостью производится на водяной бане, которая представляет из себя кастрюлю с припаянным к ней держателем для термометра. Кастрюля наполняется водой и ставится на электроплитку, а в кастрюлю помещают внутренний сосуд калориметра с исследуемой жидкостью.

Внимание! Ни в коем случае нельзя ставить сосуд с керосином прямо на плитку, без водяной бани.

После того, как сосуд с жидкостью нагреется до нужной температуры, его вынимают из водяной бани и, тщательно обтерев наружную поверхность, помещают в калориметр. Наблюдают зависимость температуры жидкости и внешней среды от времени. Время измеряют секундомером.

Определение водяного эквивалента калориметра. При расчете теплоёмкости нужно знать величину ω , так называемый водяной эквивалент калориметра, учитывающий теплоту, идущую на нагревание калориметра, мешалки и термометра.

Водяным эквивалентом тела называют количество теплоты, нагревающее тело на 1°C . Водяной эквивалент однородного тела равен массе тела, умноженной на его удельную теплоёмкость. Так как удельная теплоёмкость воды равна единице, то водяной эквивалент тела численно равен такой массе воды, которая нагревается на один градус тем же количеством тепла, что и данное тело. Если известны удельные теплоёмкости материала сосуда калориметра и других его вспомогательных частей, то водяной эквивалент калориметра определяется так:

$$\omega = m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3,$$

где m_1 и c_1 - масса и удельная теплоёмкость материала сосуда, m_2 и c_2 - масса и удельная теплоёмкость материала мешалки, m_3 и c_3 - масса и удельная теплоёмкость материала термометра.

Водяной эквивалент калориметра определяется опытным путём. Взвесим внутренний сосуд калориметра. Пусть его масса будет M_0 . Наполним его водой приблизительно до половины и снова взвесим. Пусть теперь масса его будет M_1 . Тогда разность $M' = M_1 - M_0$ даст массу воды. Поместим внутренний сосуд калориметра во внешний, опустим в воду термометр и определим её температуру. Пусть эта температура равна T' . Возьмём горячую воду, определим её температуру и нальём в калориметр. Перемешаем воду и, когда установится стационарное состояние, определим окончательную температуру смеси. Пусть температура горячей воды равна T'' и окончательная температура равна T . Снова взвешиваем внутренний сосуд калориметра. Если теперь его масса M_2 , то $M'' = M_2 - M'$ будет масса прибавленной горячей воды. Составим уравнение теплового баланса. Горячая вода потеряла $M''c_0(T - T')$ калорий. Холодная вода и калориметр получили $(M'c_0 + \omega)(T - T')$ калорий (здесь c_0 - удельная теплоёмкость воды). Следовательно

$$M''c_0(T'' - T) = (M'c_0 + \omega)(T - T')$$

и

$$\omega = c_0 \left[M'' \frac{T'' - T}{T - T'} - M' \right].$$

Обратите внимание: при определении водяного эквивалента калориметра и при измерениях скорости охлаждения жидкости термометр нужно всегда опускать в жидкость на одну и ту же глубину (подумайте - почему?).

Проведение измерений.

1. Поставьте кастрюлю с водой на плитку, чтобы вода успела нагреться, пока вы занимаетесь взвешиванием.
2. Определите водяной эквивалент калориметра, как описано выше. Горячую воду возьмите из кастрюли. Сначала проводим измерения с водой:
3. Помещаем внутренний сосуд с водой (и с термометром) в водяную баню. Конечно, масса воды должна быть предварительно измерена. Сосуд нагреваем градусов до 90.
4. Вынимаем сосуд из водяной бани, тщательно обсушиваем (подумайте - зачем?) и помещаем в калориметр. Закрываем крышку наружного сосуда.
5. Выжидаем, когда термометр внутреннего сосуда покажет градусов 85. Затем измеряем и записываем зависимость от времени температуры внутреннего сосуда и температуры водяной защиты (внешней среды). Измерения ведём, пока температура не упадёт градусов до 60.
6. Вынимаем сосуд, выливаем воду, тщательно обсушиваем. Проводим измерения с керосином:
7. Наливаем во внутренний сосуд калориметра керосин, взвешиваем его и вычисляем массу налитого керосина.
8. Далее поступаем с сосудом, наполненным керосином так же, как с сосудом, наполненным водой.

Обработка результатов.

1. Постройте график зависимости температуры воды и внешней среды от времени и такой же график - для керосина. **Обратите внимание:** так как в дальнейшем вам нужно будет вычислять отношение S/S_0 (см. формулу (8)) или произведение αS (см. формулу (5)), в которую неявно входит то же отношение, то оба графика должны быть начерчены в одном масштабе! (Если использовать один масштаб неудобно, то можно взять и разные масштабы, но тогда нужно определить масштабный коэффициент, приводящий графики к одному масштабу);
2. Определите коэффициент α в законе Ньютона. Для этого выберите на графике для воды отрезок времени от t_1 до t_2 и определите (подсчитывая клеточки на миллиметровой бумаге) площадь S_0 . Вычислите α по формуле (7).
3. Определите α несколько раз, используя разные участки графика. Постарайтесь ответить на вопросы:
 - Остаётся ли коэффициент теплоотдачи постоянным в исследованном вами интервале температур?
 - Если нет, то от каких величин он зависит: T , T_0 или от разности $T - T_0$? Если нужно - начертите график;
 - Какие условия (температура, время) выгоднее всего выбрать при определении площади S по графику для керосина (дайте обоснование).
4. По графику для керосина определите площадь S . Рассчитайте теплоёмкость керосина.
5. Сделайте расчёт теплоёмкости, пользуясь разными участками графика.
6. Подведите итог:
 - Насколько хорошо выполняется закон Ньютона?
 - Какую величину коэффициента α вы использовали при расчете теплоёмкости керосина? Почему?
 - Какое получено окончательное значение теплоемкости керосина?

Для работы необходимы:

1. Калориметр.
2. Водяная баня.
3. Два термометра.
4. Секундомер.
5. Тряпочка для обсушивания калориметра.
6. Исследуемая жидкость (керосин).
7. Эталонная жидкость (вода).