

Первый закон термодинамики

УВЕЛИЧЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

- Измерение температуры алюминиевого тела при различном количестве оборотов с бечевкой, удерживаемой на нём силой трения.
- Исследование зависимости температуры от работы силы трения и проверка таким образом первого закона термодинамики.
- Определение удельной теплоемкости алюминия.

ВЫВОД РАБОЧЕЙ ФОРМУЛЫ

В соответствии с первым законом термодинамики изменение внутренней энергии системы ΔE при переходе её из одного состояния в другое равно сумме выполненной работы внешних сил ΔA и переданного системе количества теплоты ΔQ :

$$\Delta E = \Delta A + \Delta Q. \quad (1)$$

Исследовать эту закономерность возможно путем измерения увеличения внутренней энергии цилиндрического тела за счет нагрева трением проходящей по его криволинейной поверхности соединенной с грузом бечевки, вызванного механической работой при вращении тела вокруг своей оси. Для этого необходимо силу трения $F_{\text{тр}}$ уравновесить силой тяжести груза $F_{\text{гр}}$ ($F_{\text{гр}} = F_{\text{тр}}$) который подвешен на конце бечевки, удерживаемой на цилиндрическом теле силой трения.

В этом случае работа, совершаемая силой тяжести $F_{\text{гр}}$ для преодоления силы трения $F_{\text{тр}}$ за n оборотов тела, будет равна:

$$\Delta A_n = F_{\text{гр}} \cdot \pi \cdot d \cdot n, \quad (2)$$

где: d - диаметр цилиндрического тела.

Очевидно, что в условиях неподвижности груза $F_{\text{гр}}$ соответствует его весу $M_{\text{гр}}$:

$$F_{\text{гр}} = M_{\text{гр}}, \quad (3)$$

Поскольку в условиях эксперимента не происходит перемещения груза в пространстве, в соответствии с законом сохранения вся сообщенная за счет работы по преодолению силы трения энергия пойдёт на повышение теплоты рассматриваемой системы:

$$\Delta A_n = \Delta Q_n \quad (4)$$

В виду того, что цилиндрическое тело в условиях эксперимента также не перемещается в пространстве, это количество теплоты ΔQ_n можно измерить как пропорциональное изменение температуры системы ΔT , при условии, что отсутствует изменение агрегатного состояния, и не происходят химические реакции. За n оборотов работа по преодолению силы трения повысит температуру тела от начального значения T_0 до конечного значения T_n . С учетом выражений (2), (3) и (4) получим:

$$\Delta Q_n = m_{\text{цт}} \cdot C_{\text{цт}} \cdot (T_n - T_0), \quad (5)$$

$$T_n = T_0 + \frac{\Delta A_n}{m_{\text{цт}} \cdot C_{\text{цт}}}, \quad (6)$$

где: $m_{\text{цт}}$ - масса цилиндрического тела;

$C_{\text{цт}}$ - удельная теплоемкость цилиндрического тела.

В то же время внутренняя энергия системы увеличится на:

$$\Delta E_n = \Delta Q_n. \quad (6)$$

Очевидно, что вся сообщенная системе за счет механической работы внешних сил энергия при отсутствии работы этой системы передается на повышение ее теплоты. Равно как, сообщенная системе в отсутствие совершаемой ей работы теплота передается на повышение внутренней энергии этой системы.

Таким образом, с учетом выражений (4) и (6) получим следующее соотношение:

$$\Delta E_n = \Delta A_n. \quad (7)$$

Используя выражения (2) - (5) получим формулу для экспериментального определения удельной теплоемкости:

$$C_{\text{цт}} = \frac{M_{\text{гр}} \cdot \pi \cdot d \cdot n}{m_{\text{цт}} \cdot (T_n - T_0)}. \quad (8)$$



Рис. 1. Экспериментальная установка для демонстрации первого закона термодинамики

ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ

Таблица 1- Состав лабораторной установки

№	Наименование	Количество, шт
1-	Устройство для измерения теплового эквивалента	1
2-	Цифровой универсальный измерительный прибор Р1035	1
3-	Пара безопасных соединительных проводов для опытов, длина 75 см	1

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Эта работа проводится с целью исследования увеличения внутренней энергии алюминиевого тела, вызванного механической работой. Цилиндрическое тело вращается вокруг своей оси с помощью рукоятки. Бечевка, проходящая по криволинейной поверхности, создает трение, которое нагревает тело. Сила трения $F_{тр}$ уравновешивается силой тяжести груза $F_{гр}$, который подвешен на конце бечевки, удерживаемой на цилиндрическом теле силой трения. Подвешенный груз уравновешивается силой трения. Чтобы предельно уменьшить ошибку измерений за счет теплообмена с окружающей средой, до начала измерения тело охлаждают до начальной температуры T_0 , которая чуть ниже комнатной температуры. Измерение завершается, как только тело достигает конечной температуры T_n , которая чуть превышает комнатную. Примечание: Разница между температурами ниже и выше комнатной температуры до начала измерений и в момент их завершения и собственно комнатной температурой должна быть примерно одинакова. Этим обеспечивается соответствие преобразования внутренней энергии выполненной работе.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 Поместить алюминиевый цилиндр в закрытый пластиковый пакет и охладить до температуры на $5^{\circ}\text{--}10^{\circ}$ ниже комнатной, поместив его в холодильник.
- 2 Прикрепить устройство измерения теплового эквивалента к краю устойчивой подставки или стола.
- 3 Переключить цифровой универсальный измерительный прибор в режим измерения сопротивления и подключить его к датчику температуры.
- 4 Вынуть алюминиевый цилиндр из пластикового пакета и установить его на устройство.

- 5 Нанести на датчик температуры каплю масла и вставить его в алюминиевый цилиндр.
- 6 Заполнить ведро водой почти до краев.
- 7 Привязать бечевку к ручке ведра и, начиная с передней стороны, намотать пять витков на алюминиевый цилиндр так, чтобы противовес свешивался с обратной стороны.
- 8 Немного приподнять ведро, медленно повернуть рукоятку и проверить, остается ли ведро висеть на месте после поворота рукоятки.
- 9 Если ведро начинает опускаться, добавить на цилиндр ещё один виток бечевы. Если ведро поднимается, убрать один виток бечевы с цилиндра.
- 10 Установить счетчик на ноль и снять показание сопротивления R датчика температуры.
- 11 Продолжать поворачивать рукоятку и считывать показания сопротивления через каждые 10 оборотов, пока температура не станет прибол. на $5^{\circ}\text{--}10^{\circ}$ выше комнатной.
- 12 Руководствуясь показаниями сопротивления R_n датчика температуры, рассчитать температуру T_n в $^{\circ}\text{C}$ по формуле:

$$T_n = \frac{217}{R_n^{0,13}} - 151. \quad (9)$$

- 13 Записать полученный результат в таблицу.
- 14 Используя уравнение (2), рассчитать работу трения ΔE_n для числа оборотов n .
- 15 Построить график зависимости измеренной окончательной температуры T_n от выполненной работы ΔE_n по формуле (6). Значения, измеренные вблизи комнатной температуры, лежат на прямой линии. По наклону этой прямой можно определить удельную теплоемкость алюминия. В области ниже комнатной температуры повышение измеряемых температур идет быстрее по сравнению со скоростью повышения, соответствующей наклону прямой, так как алюминиевое тело поглощает тепло из окружающей среды. И наоборот, в области выше комнатной температуры тепло отдается в окружающую среду.
- 16 Вычислить удельную теплоемкость алюминия C_{Al} по формуле (8).
- 17 Сравнить полученное значение удельной теплоемкости алюминия с его табличным значением (таблица П1 приложения). Сравнить расхождение экспериментально полученного и табличного значений по формуле:

$$\Delta \Sigma = \left(\frac{C_{Al_{сп}} - C_{Al_{табл}}}{C_{Al_{табл}}} \right) \cdot 100\%. \quad (10)$$

Таблица 2 – Результаты лабораторной работы

Контролируемые параметры	Количество оборотов алюминиевого цилиндра, n																														Работа силы трения $\Delta E_n, \text{Дж}$	Расчетное значение удельной теплоемкости C_{Al}	Табличное значение удельной теплоемкости C_{Al}	$\Delta \Sigma, \%$		
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290					300	
1	Соппротивление датчика $R_n, \text{Ом}$																																			
	Температура $T_n, ^{\circ}\text{C}$																																			

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие свойства вещества характеризует теплоемкость?
2. Как распределяется теплота, переданная системе в результате работы внешних сил?
3. В чем заключается физический смысл удельной теплоемкости?
4. Выведите рабочую формулу для определения удельной теплоемкости через определение величины работы по преодолению силы трения.
5. Опишите порядок проведения работы.