

Министерство высшего и среднего специального
образования Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт им. С.П.Королева

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА,
ТЕПЛОТА

Лабораторная работа

(Задания № 12, 13, 14)

Для слушателей подготовительного
отделения

Составители: ст.преп. каф. физ. Л.А.Крюкова,
ас. каф. физ. Г.И.Карханина

Под ред. и.о.доц. О.А.Дуралева

Рассмотрена и утверждена редакционно-издательским
советом института 17.11.78 г.

З а д а н и е № 12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ ОТРЫВА КОЛЬЦА

Ц е л ь р а б о т ы: изучение сил молекулярного взаимодействия в жидкостях, опытное определение коэффициента поверхностного натяжения.

П р и б о р ы и п р и н а д л е ж н о с т ь: штатив, с подвешенным на измерительной пружине кольцом; штангельциркуль; разновес; емкость с жидкостью.

С о д е р ж а н и е и м е т о д в ы п о л н е н и я р а б о т ы

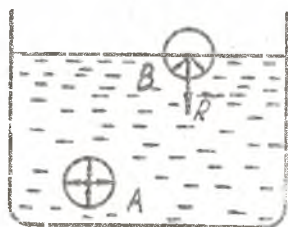
Между молекулами жидкости действуют силы взаимного притяжения, быстро убывающие с увеличением расстояния.

Пусть в сосуд налита жидкость (рис. 1). Выделим мысленно две молекулы *A* и *B*. Около молекулы *A* опишем сферу радиусом $\bar{r}$, равным наибольшему расстоянию, на котором сказывается действие других молекул на молекулу *A*. Эта сфера называется сферой молекулярного действия молекулы ($\bar{r} \sim 10^{-7}$ см).

Молекула испытывает притяжение со стороны всех молекул, заключенных в сфере, а так как все эти молекулы притягивают *A* с одинаковой силой по всевозможным направлениям, то действия их взаимно уравниваются и молекула *A* не будет перемещаться.

Так как молекула *B* расположена вблизи поверхности жидкости, то сфера молекулярного действия пересекает поверхность жидкости. Верхняя часть сферы не содержит молекул жидкости и молекула *B* притягивается нижележащими молекулами. На эту молекулу действует сила $\bar{R}$, направленная по условиям симметрии перпендикулярно к поверхности внутрь жидкости.

Таким образом, молекулы, расположенные в поверхностном слое толщиной, равной радиусу сферы молекулярного действия $\bar{r}$, ока-



Р и с. 1

зывают давление на всю остальную жидкость. Это давление называется молекулярным.

Действием сил молекулярного давления легко объяснить малую сжимаемость жидкости — она уже сжата значительными силами. Эти силы не передаются по закону Паскаля, действуя только на молекулы жидкости, а не на погруженные в нее тела.

Под действием сил молекулярного притяжения молекулы переходят из поверхностного слоя вглубь жидкости. Переход молекулы из глубины жидкости в поверхностный слой связан с необходимостью совершения работы против действующих в поверхностном слое сил. Эта работа совершается молекулой за счет запаса ее кинетической энергии и идет на увеличение потенциальной энергии молекулы.

Итак, молекула в поверхностном слое обладает дополнительной потенциальной энергией. Поверхностный слой в целом обладает дополнительной энергией.

Поскольку положение равновесия всякой механической системы соответствует минимуму потенциальной энергии, жидкость, предоставленная самой себе, будет принимать форму с минимальной поверхностью, т.е. форму шара.

Жидкость ведет себя так, как если бы она была заключена в упругую растянутую пленку, стремящуюся сжаться. Следует иметь в виду, что никакой пленки, ограничивающей жидкость снаружи, на самом деле нет. Поверхностный слой состоит из тех же молекул, что и вся жидкость, и взаимодействие между молекулами имеет в поверхностном слое тот же характер, что и внутри жидкости. Дело заключается лишь в том, что молекулы в поверхностном слое обладают дополнительной энергией по сравнению с молекулами внутри жидкости.

Выделим мысленно на поверхности жидкости площадку, ограниченную замкнутым контуром S (рис. 2). Молекулы стремятся уйти внутрь жидкости с поверхности этой площадки, а площадка — сократится. Тенденция площадки к сокращению приводит к тому, что она действует на граничащие с ней участки жидкости с силами, распределенными по всему контуру S . Эти силы называются силами поверхностного натяжения.



Р и с. 2

Направлена сила поверхностного натяжения по касательной к поверхности жидкости, перпендикулярно к участку контура, на который она действует.

Поскольку поверхность жидкости на рис. 2 находится в равновесии, значит на ней со стороны остальной поверхности действуют (по третьему закону Ньютона) растягивающие силы. Таким образом к каждому элементу Δl контура S приложена сила ΔF , равная по величине силе поверхностного натяжения

$$\Delta F = \sigma \Delta l, \quad (I)$$

где σ - коэффициент поверхностного натяжения.

Из соотношения (I) следует, что коэффициент поверхностного натяжения σ численно равен силе поверхностного натяжения, действующей на единицу длины контура, ограничивающего поверхность жидкости. Измеряют σ в Н/м (в системе СИ) или в дин/см (в СГС - системе).

Рассмотрим один из методов экспериментального определения коэффициента поверхностного натяжения.

Если в сосуд с жидкостью опустить легкое металлическое кольцо, а затем отрывать его, то силы поверхностного натяжения удерживают кольцо. Как только сила, действующая на кольцо, станет равной по величине силе поверхностного натяжения, то кольцо оторвется.

Пусть кольцо имеет наружный диаметр D , толщину d и касается поверхности жидкости (рис. 3). При поднятии кольца над поверхностью жидкости между кольцом и ее поверхностью образуется пленка. Внешняя поверхность этой пленки тянет кольцо вниз с силой $\sigma \pi D$, внутренняя поверхность - с силой $\sigma \pi (D - 2d)$. Равнодействующая сила, удерживающая кольцо, равна

$$\sigma \pi D + \sigma \pi (D - 2d) = 2 \sigma \pi (D - d). \quad (2)$$

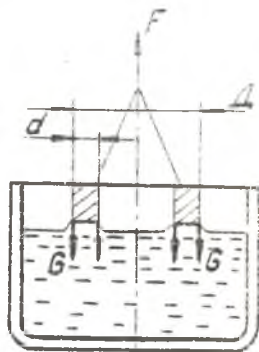


Рис. 3

В момент отрыва кольца

$$F = 2 \sigma \pi (D - d). \quad (3)$$

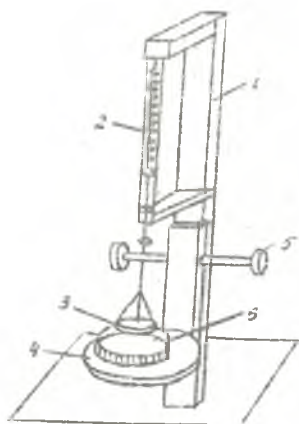
Из соотношения (3) имеем

$$\sigma = \frac{F}{2\pi(D-d)} \quad (4)$$

Так как диаметр и толщина кольца могут быть измерены штангель-циркулем, то для определения σ достаточно измерить силу F отрыва.

О п и с а н и е п р и б о р а

Прибор для определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости состоит из стойки I, на которой закреплена вертикальная шкала с делениями (рис. 4) и пружина 2, с подвешенным к ней кольцом 3. Под ним устанавливается столик 4, который может свободно



Р и с. 4

перемещается вверх и вниз с помощью винта 5. На столике ставится сосуд 6 с испытываемой жидкостью. Немного выше плоскости кольца прикреплена чашечка для груза.

П о р я д о к в ы п о л н е н и я р а б о т ы

1. Поставить сосуд с жидкостью на подвижный столик и поднимать его с помощью винта до тех пор, пока кольцо не соприкоснется с поверхностью жидкости.

2. Медленно опускать столик и внимательно следить за положением указателя, прикрепленного к пружине.

3. В момент отрыва кольца от жидкости снять отчет n указателя измерительной пружины 2 с вертикальной шкалы.

4. Тщательно осушить нижнюю грань кольца, опустив предварительно сосуд с жидкостью. Поместить на чашечку такой груз m , чтобы пружина удлинилась до положения n , при котором произошел разрыв пленки.

5. Рассчитать силу, удерживающую кольцо $F = mg$.

6. Вычислить значение коэффициента поверхностного натяжения по формуле (4).

7. Опыт повторить 5 раз. Полученные данные занести в таблицу.

№ измерения	Испытуемая жидкость	Положение указателя в момент отрыва кольца η , дел.	Масса груза m , кг	Сила F , Н	Толщина кольца d , м	Коэффициент поверхностного натяжения σ , Н/м
1						
2						
3						
4						
5						

8. Окончательный результат записать в виде

$$\sigma = \bar{\sigma} \pm \Delta \bar{\sigma},$$

где $\bar{\sigma} = \frac{\sum \sigma_i}{5}$; $\Delta \bar{\sigma} = \frac{\bar{\sigma} - \sigma_i}{5}$.

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы

1. Почему при отсутствии внешних сил капля жидкости принимает форму шара?

2. Что называется коэффициентом поверхностного натяжения?

3. Почему в опытах необходимо особенно тщательно следить за чистотой поверхности кольца от жира?

4. В каких единицах измеряется коэффициент поверхностного натяжения σ ?

5. Почему новые полотняные ткани после стирки садятся?

6. Почему уменьшаются размеры мыльного пузыря, если перестать дуть в трубку, на конце которой держится пузырь?

Л и т е р а т у р а

Буховцев Б.Б. и др. Физика. Учебное пособие для класса средней школы. М., "Просвещение", 1973, с. 79-88.

Мелиновская Л.Б. Повторим физику. Пособие для поступающих в вузы. М., "Высшая школа", 1972, с. 202-203.

З а д а н и е № 13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОБЪЕМНОГО РАСШИРЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Ц е л ь р а б о т ы: изучение зависимости объема вещества от его температуры, определение коэффициента объемного расширения жидкости с помощью прибора Дюлонга и Ити.

П р и б о р ы и п р и н а д л е ж н о с т и: прибор Дюлонга и Ити, кипятильник, сосуд для стока воды, барометр, термометр.

С о д е р ж а н и е и м е т о д в ы п о л н е н и я р а б о т ы

При нагревании жидкости ее объем увеличивается. Увеличение объема характеризуется коэффициентом объемного расширения.

Коэффициентом объемного расширения β называется отношение приращения объема к объему при 0°C и температуре t° :

$$\beta = \frac{V - V_0}{V_0 t} \quad (1)$$

где V_0 - объем жидкости при 0°C;
 V - объем жидкости при температуре t° .

Соотношение (1) часто записывают в виде

$$V = V_0 (1 + \beta t) \quad (2)$$

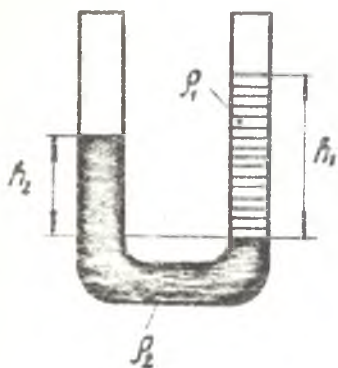
Для определения коэффициента объемного расширения необходимо измерить изменение объема жидкости. Однако видимое изменение

объема жидкости объясняется не только ее расширением, но и изменением объема сосуда при нагревании, что затрудняет нахождение истинного объема жидкости.

Долонг и Пти предложили метод определения коэффициента объемного расширения жидкости, основанный на законе равновесия разнородных жидкостей в сообщающихся сосудах.

Как известно, высоты двух разнородных жидкостей в сообщающихся сосудах (рис. I) обратно пропорциональны плотностям этих жидкостей, т.е.:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}, \quad (3)$$



где h_1 и ρ_1 - соответственно, высота столба и плотность жидкости в правом колене; h_2 и ρ_2 - высота столба и плотность жидкости в левом колене.

Если в сосуд U -образной формы налить жидкость и поддерживать различную температуру в правом и левом коленях сосуда, то плотность жидкости в обоих коленях будет неодинакова, так как она изменяется при изменении температуры по следующей зависимости:

Р и с. I

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \beta t}, \quad (4)$$

где ρ_0 - плотность жидкости при 0°C ;
 ρ - плотность жидкости при t° ;
 β - коэффициент объемного расширения.

Учитывая (3) и (4), можно найти отношение высот столбов жидкостей

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{1 + \beta t_2}{1 + \beta t_1}, \quad (5)$$

где t_1 - температура жидкости в правом колене сосуда U -образной формы; t_2 - температура жидкости в левом колене этого сосуда.

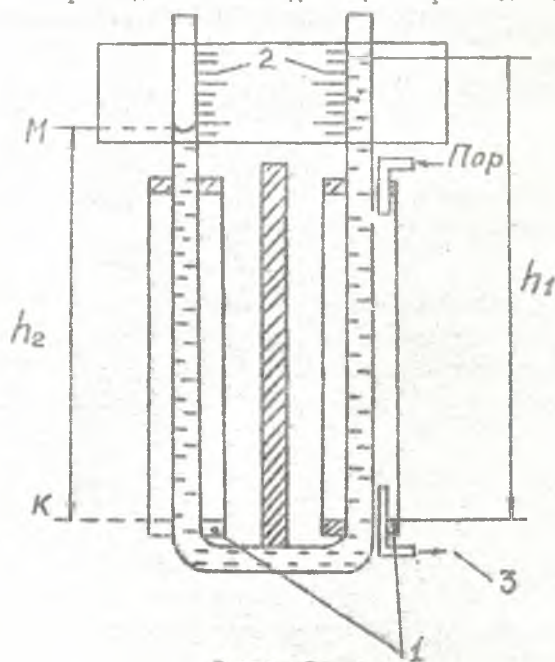
Из равенства (5) найдем коэффициент объемного расширения

$$\beta = \frac{h_1 - h_2}{h_2 t_1^\circ - h_1 t_2^\circ} = \frac{\Delta h}{h_2 t_1^\circ - h_1 t_2^\circ}.$$

Так как коэффициент объемного расширения зависит от температуры, то эта формула дает его среднее значение в определенном интервале температур от t_1° до t_2° .

О п и с а н и е п р и б о р а

Прибор Дюлонга и Пти (рис. 2) представляет собой U-образную трубку, заполненную испытуемой жидкостью. Оба колена помещены в стеклянные цилиндры I. Через один из них пропускают пары кипящей воды, поступающие из кипятильника, а в другой трубке находится воздух при комнатной температуре. Разность высот жидкости в нагретом и ненагретом коленах отсчитывается на миллиметровой шкале 2. Для сбора воды после конденсации пар ставится сосуд 3.



Р и с. 2

Порядок выполнения работы

1. Под нижнюю трубку правого цилиндра подставить сосуд для стока воды, образующейся при конденсации пара. Перед включением кипятильника проверить наличие воды в кипятильнике; качество крепления пароподводящей трубки. При выполнении работы остерегаться струи выходящего из цилиндра пара.

2. Включить кипятильник в сеть.

3. Когда высота столба жидкости в правом колене перестанет изменяться, определить по миллиметровой шкале разность уровней Δh .

4. Измерить высоты столбов жидкости в нагретом и ненагретом коленях. Высота столба h_2 измеряется от уровня K до уровня M (см. рис. 2), $\Delta h_1 = h_2 + \Delta h$.

5. Определить температуру t_1 по комнатному термометру.

6. Температуру нагретой жидкости t_2 определить по таблице "Зависимость температуры кипения воды от атмосферного давления".

7. Вычислить значение коэффициента объемного расширения β по формуле (6).

8. Результаты опыта занести в таблицу.

h_1	h_2	Δh	t_1	t_2	$\beta = \frac{\Delta h}{h_2 t_2 - h_1 t_1}$
мм	мм	мм	°C	°C	1/град

Измерение проводится один раз.

Контрольные вопросы

1. Что положено в основу используемого метода определения коэффициента объемного расширения β ?

2. Как устанавливается равновесие в сообщающихся сосудах с разнородными жидкостями?

3. Вывести расчетную формулу, по которой вычисляется значение коэффициента объемного расширения жидкости.

4. Как изменяется плотность с изменением температуры?

Л и т е р а т у р а

Б у х о в ц е в Б.Б. и др. Физика. Учебное пособие для 9 класса средней школы. М., "Просвещение", 1973, с. 95-101.

Г у р с к и й И.П. Элементарная физика. М., "Наука", 1975, с. 161-163.

З а д а н и е № 14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДОГО ВЕЩЕСТВА

Ц е л ь р а б о т ы: составление уравнения теплового баланса, опытное определение удельной теплоемкости твердого вещества.

П р и б о р ы и п р и н а д л е ж н о с т и: калориметр; набор тел; весы с разновесами; кипятильник; термометр.

С о д е р ж а н и е и м е т о д в ы п о л н е н и я р а б о т ы

Изучая движение тела в механике мы ограничивались рассмотрением его кинетической и потенциальной энергии. При этом первая связана с движением тела как целого с некоторой скоростью, а другая - с положением тела во внешнем поле (гравитационном, магнитном, электрическом). Сумму потенциальной и кинетической энергии тела как целого называют полной механической энергией.

В молекулярной физике определяющую роль играют взаимодействие и внутреннее движение молекул тела или системы тел. Так нагревание тела состоит в увеличении энергии хаотического движения его молекул. Малая сжимаемость жидкостей и особые свойства их поверхностного слоя обусловлены силами взаимного притяжения между молекулами.

Это позволяет нам сделать вывод: наряду с механической энергией тела обладают еще внутренней энергией. С точки зрения молекулярно-кинетической теории внутренняя энергия тела есть средняя кинетическая энергия хаотического движения всех молекул относительно центра масс тела плюс средняя потенциальная энергия взаимодействия

всех молекул друг с другом (но не с другими телами). Полная энергия тела E равна

$$E = K + P + U, \quad (1)$$

где K - кинетическая энергия поступательного движения тела;
 P - его потенциальная энергия; U - внутренняя энергия тела.

Механическая и внутренняя энергия может изменяться за счет двух различных процессов: совершения над телом работы A' и сообщения ему количества тепла Q . Совершение работы сопровождается перемещением внешних тел, действующих на данное. Например, при сдвигании поршня, закрывающего цилиндр с газом, поршень, перемещаясь, совершает над газом работу A' . По третьему закону Ньютона газ при этом совершает над поршнем работу $A = -A'$. В другом примере вода, падающая на лопатки турбины, вращает последние. При этом оба тела обмениваются механической энергией. Механическая энергия, отданная водой, передается турбине также в форме механической энергии направленного движения лопаток турбины.

Количество переданной механической энергии мы измеряем совершенной работой.

Сообщение телу тепла не связано с перемещением внешних тел и осуществляется при непосредственном обмене энергией между хаотически движущимися молекулами взаимодействующих тел. За счет переданной телу энергии усиливается хаотическое движение его молекул, следовательно, увеличивается внутренняя энергия тела. Такую форму передачи энергии в термодинамике называют теплопередачей.

Изменение полной энергии ΔE системы (совокупности рассматриваемых тел) при переходе из одного состояния в другое равно сумме совершенной над системой работы A' и сообщенной ей теплоты Q :

$$\Delta E = A' + Q. \quad (2)$$

Если рассматривать систему, в которой механическая энергия ($K + P$) не изменяется, то $\Delta E = \Delta U$ и приращение внутренней энергии системы должно быть равно:

$$\Delta U = A' + Q. \quad (3)$$

Обычно вместо работы A' , совершаемой внешними телами над системой, рассматривают работу A (равную $-A'$), совершаемую си-

стемой над внешними телами. Подставив - A вместо A' и разрешив относительно Q , уравнение (3) можно привести к виду:

$$Q = \Delta U + A. \quad (4)$$

Уравнение (4) выражает закон сохранения энергии и представляет собой содержание первого закона (начала) термодинамики. Словами его можно выразить следующим образом: количество тепла, сообщенное системе, идет на приращение внутренней энергии системы и на совершение системой работы над внешними телами.

Если система не совершает работы против внешних сил ($A = 0$), то вся сообщаемая теплота идет на изменение внутренней энергии системы:

$$Q = \Delta U. \quad (5)$$

Пусть две системы, имеющие разные температуры, приведены в соприкосновение. При взаимодействии медленных молекул холодной системы с более быстрыми молекулами горячей на границе систем будет производиться работа молекул друг над другом. В результате скорости молекул холодной системы будут увеличиваться, а горячей - уменьшаться.

Опытным путем было установлено, что если взять калориметр P , налить в него жидкость массой m_1 при температуре t_1° и опустить в нее твердое тело массой m_2 , имеющее температуру t_2° ($t_2^\circ > t_1^\circ$), то с течением времени в калориметре установится равновесное состояние, при котором температура приведенных в соприкосновение тел станет равной t° . При этом установится определенная связь между температурами и массами:

$$\frac{t^\circ - t_1^\circ}{t_2^\circ - t_1^\circ} = \frac{m_2}{m_1} K, \quad (6)$$

где K - коэффициент пропорциональности, зависящий от специфических тепловых свойств взаимодействующих веществ.

В общем случае коэффициент K записывают в виде отношения величин C_2 и C_1 , характеризующих тепловые свойства веществ:

$$K = \frac{C_2}{C_1}. \quad (7)$$

Обозначим изменение температуры взаимодействующих тел

$$t_1^{\circ} - t_1^{\circ} = \Delta t_1^{\circ} \text{ и } t^{\circ} - t_2^{\circ} = \Delta t_2^{\circ} \quad (\Delta t_2^{\circ} < 0, \text{ если } t_2^{\circ} > t^{\circ})$$

тогда уравнение (6) с учетом (7) можно записать в виде:

$$c_1 m_1 \Delta t_1^{\circ} + c_2 m_2 \Delta t_2^{\circ} = 0.$$

Назовем $Q_1 = c_1 m_1 \Delta t_1^{\circ}$ количеством теплоты, переданной более холодному телу, а $Q_2 = c_2 m_2 \Delta t_2^{\circ}$ количеством теплоты отданной более нагретым телом.

Учитывая уравнение (8), можно утверждать, что количество переданной теплоты в калориметрических опытах сохраняется:

$$Q_1 + Q_2 = 0.$$

Количество теплоты, отданной одним телом, равно количеству теплоты полученной вторым телом. Для подсчета количества теплоты была введена формула:

$$Q = cm\Delta t^{\circ}.$$

Из выражения (10) следует, что постоянная C численно равна количеству теплоты, которую нужно сообщить единице массы вещества, чтобы изменить его температуру на один градус. Эту величину называют удельной теплоемкостью вещества.

Удельную теплоемкость тела определяют опытным путем. Для этого тело массой m_1 нагревают до температуры t_1° и опускают в калориметр массой m_2 с налитой в него жидкостью массой m_3 имеющих температуру t_2° . Через некоторое время в сосуде установится равновесное состояние с температурой t° .

Зная удельные теплоемкости калориметра c_2 и жидкости c_3 можно записать уравнение, выражающее баланс тепловой энергии (уравнение теплового баланса):

$$c_1 m_1 (t_1^{\circ} - t^{\circ}) = c_2 m_2 (t^{\circ} - t_2^{\circ}) + c_3 m_3 (t^{\circ} - t_2^{\circ}). \quad (11)$$

Из уравнения (11) получим выражение для определения удельной теплоемкости вещества испытуемого тела:

$$c_1 = \frac{(c_2 m_2 + c_3 m_3) (t^{\circ} - t_2^{\circ})}{m_1 (t_1^{\circ} - t^{\circ})} \quad (12)$$

П о р я д о к в ы п о л н е н и я р а б о т ы

1. Определить массу m испытуемых тел.
2. Определить массу m_2 калориметра.
3. Определить массу m_3 калориметра с налитой в него водой. Подсчитать массу воды $m_3 = m_4 - m_2$.
4. Определить начальную температуру калориметра с водой.
5. Опустить в кипящую воду испытуемые тела и прогреть их в течении 10 минут. Принять температуру нагретого тела за температуру кипящей воды.
6. Опустить одно из нагретых тел массой m_1 в калориметр с водой и, дождавшись равновесия, записать температуру t .
7. Вычислить, используя выражение (12) теплоемкость исследуемого тела. Удельные теплоемкости вещества калориметра C_2 и воды C_3 указаны на установке.
8. Опыт повторить для трех тел.
9. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

опы- та	М а с с а			Т е м п е р а т у р а			У д е л ь н а я т е п л о е м к о с т ь		
	тело	кало- риметр	вода	нагре- тое тело	калори- метр с водой	устано- вивша- яся	калори- метр	вода	испытуе- мое ве- щество
	m_1	m_2	m_3	t_1	t_2	t	C_2	C_3	C_1
	кг	кг	кг	град	град	град	$\frac{Дж}{кг \cdot град}$	$\frac{Дж}{кг \cdot град}$	$\frac{Дж}{кг \cdot град}$
1									
2									
3									

10. Определить среднее значение удельной теплоемкости вещества испытуемых тел

$$\bar{C}_1 = \frac{\sum_{i=1}^3 C_{1,i}}{3}$$

К о н т р о л ь н ы е в о п р а с ы

1. Из чего складывается полная энергия тела?

2. Что называется внутренней энергией тела?
3. Сформулируйте первое начало термодинамики.
4. В чем сущность калориметрического метода определения удельной теплоемкости вещества?
5. Что такое удельная теплоемкость вещества? Назовите единицы измерения теплоемкости.
6. Напишите уравнение теплового баланса в калориметрических опытах.

Л и т е р а т у р а

Буховцев Б.Б., Климонтович Ю.Л., Мякишев Г.Я. Физика. Учебное пособие для 9 класса средней школы. М., "Просвещение", 1974, с. 21-32.

Гурский И.И. Элементарная физика. М., "Наука", 1973, с. 149-154.

Евграфова Н.Н., Каган В.А. Курс физики. М., "Высшая школа", 1973, с. 189-194.

Составители: Людмила Алексеевна Крюкова
Галина Ивановна Араханидзе

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕПЛОТА

Лабораторная работа (задания № 12, 13, 14)

Для слушателей подготовительного отделения

Редактор И.М.Чулкина
Техн.редактор Н.М.Калениук
Корректор С.С.Рубан

Подписано в печать 17.05.79 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная белая.
Оперативная печать. Усл.п.л. 1,16.
Уч.-изд.л. 0,93. Тираж 500 экз. Заказ №
бесплатно.

Кузбасский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт им. С.П.Королева, г.Кузнецкий,
ул. Молодогвардейская, 151.

Офсетный участок КуАИ, г. Кузнецкий,
ул.Ульяновская, 18.