

## Сценарий занятия № 4 по теме *Тепловые явления, теплообмен, уравнение теплового баланса.*

### Проверка домашнего задания.

Было задано – решить все задачи из стандартного задачника на тему *Теплопередача*. В среднем учащиеся решили 20 из заданных 40 задач.

Можно считать, что домашнее задание выполнено.

### Пояснение теории теплообмена, идеи составления уравнения теплового баланса.

Выясняется, что учащиеся уже знают и понимают термин *энергия*. Остается уточнить, что такое *тепловая энергия, количество теплоты*.

Далее сочиняем формулу для подсчета количества теплоты при нагревании тела. Здесь удобно опереться на материал предыдущих занятий, посвященных остыванию горячего тела. Учащиеся легко воспринимают с голоса связь между причиной (порция полученного телом тепла  $Q$ ) и следствием (изменение температуры тела  $T_2 - T_1$ ). Для того, чтобы не вводить значок пропорциональности, записываем связь между причиной и следствием в виде  $Q = \quad (T_2 - T_1)$ ,

оставляя место для будущего коэффициента пропорциональности.

Проводим анализ размерностей и выясняем, что перед скобкой должен стоять коэффициент  $C$  с размерностью  $[C] = \text{Дж/град}$ . Тогда нужная нам формула приобретает вид

$$Q = C(T_2 - T_1). \quad (1)$$

Объявляем, что  $C$  называется *теплоёмкостью тела* и проясняем физический смысл  $C$ .

Добираемся до анатомии  $C$  и убеждаемся, что эту анатомию можно изобразить двумя сомножителями

$$C = mc, \quad (2)$$

где  $m$  – масса тела,  $c$  – *удельная теплоёмкость вещества*.

Рассуждаем об установлении теплового равновесия при тесном контакте (перемешивании) горячих и холодных тел. Приходим к модельному представлению о том, что количество тепла  $Q_{\text{г}}$ , отданное горячими телами, в точности равно количеству тепла  $Q_{\text{х}}$ , полученному холодными телами. Приходим к уравнению теплового баланса

$$Q_{\text{г}} = Q_{\text{х}}. \quad (3)$$

После такого предварительного обзора теории проверяем её работоспособность в специально поставленном эксперименте.

### Экспериментальная часть.

Сначала обсуждаем постановку эксперимента, в котором нагреем воду в стеклянной банке, а потом разбавим горячую воду холодной водой. Учтём всё количество отданного и полученного тепла, пользуясь формулами (1, 2), а затем все слагаемые сведём в уравнение (3). Массы тел измерены заранее, воду отмеряем с помощью мерного сосуда, удельные теплоёмкости участвующих в эксперименте материалов находим в учебнике.

При обсуждении постановки эксперимента находится слушатель, который замечает, что уравнение (3) у нас будет нарушаться из-за ухода тепла в окружающую среду. На это предлагается допустить такую ошибку, а потом постараться оценить, много ли тепла будет потеряно. Ведь мы уже знаем, как теряется температура при остывании горячего тела, для того и провели целых три занятия на эту тему. Но поскольку мы заранее не знаем, какие у нас будут температуры в эксперименте и сколько времени займет сам эксперимент, предлагается сначала провести эксперимент, узнать, какой именно установится температура смеси, попробовать предсказать эту температуру с помощью простой модели без учета потерь тепла, а потом с помощью теории остывания тела оценить допущенную погрешность. Для этого надо заметить время, затраченное на эксперимент.

В эксперименте участвуют трое учащихся. Двое манипулируют с установкой, третий замечает время опыта от момента смешивания до момента регистрации температуры смеси. Зарегистрированы следующие данные эксперимента.

Масса горячей воды в банке  $m_{\Gamma} = 175$  г.

Температура горячей воды перед смешиванием  $T_{\Gamma} = 40$  °С.

Масса стеклянной банки  $m_{\text{с}} = 0,211$  кг.

Эти объекты теряют тепло, охлаждаясь до температуры смеси  $T_{\text{см}} = 37$  °С.

Масса добавляемой холодной воды  $m_{\text{х}} = 0,125$  кг.

Температура холодной воды перед смешиванием  $T_{\text{х}} = 20$  °С.

Масса железной крышки  $m_{\text{ж}} = 0,011$  кг.

Эти объекты получают тепло, нагреваясь до температуры смеси .

Удельные теплоемкости берем из таблиц учебника.

Для воды  $c_{\text{в}} = 4200$ .

Для стекла  $c_{\text{с}} = 840$ .

Для железа  $c_{\text{ж}} = 460$ .

Длительность эксперимент  $Dt = 28$  с.

Получаем уравнение теплового баланса для нашего эксперимента.

$$m_{\Gamma}c_{\text{в}}(T_{\Gamma} - T_{\text{см}}) + m_{\text{с}}c_{\text{с}}(T_{\Gamma} - T_{\text{см}}) = m_{\text{х}}c_{\text{в}}(T_{\text{см}} - T_{\text{х}}) + m_{\text{ж}}c_{\text{ж}}(T_{\text{см}} - T_{\text{х}}).$$

Решаем это уравнение относительно  $T_{см}$ , подставляем данные и получаем  $T_{см\text{ теоретическое}} = 38,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Видим, что наша простая теория и принятая модель дают отклонение от эксперимента на  $1,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Выяснять причины такого отклонения будем на следующем занятии.

**Домашнее задание.** Данное задание рассчитано на три последующих занятия. Прочсть по учебнику всё о количестве теплоты и теплообмене (стр. 19-25). Решить все задачи из стандартного задачника на тему *Теплопередача* (778 - 840). Здесь уже появляются расчетные задачи.

## **Сценарий занятия № 5 по теме *Тепловые явления, теплообмен, уравнение теплового баланса.***

### **Проверка домашнего задания.**

Было задано – решить все задачи из стандартного задачника на тему *Теплопередача*. В среднем учащиеся закончили работу с этими 40 задачами. Начали решать задачи на *Теплообмен*.

Можно считать, что домашнее задание выполнено.

### **Обсуждение эксперимента, проведенного на прошлом занятии.**

Выясняем возможные причины отклонения  $T_{см\text{ теоретическое}} = 38,34\text{ }^{\circ}\text{C}$  от полученного в эксперименте  $T_{см} = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Учащиеся предлагают различные причины, вспоминают, что в контрольном эксперименте по охлаждению тела прогноз давал ещё большую погрешность. Обращаем внимание на то, что все предлагаемые соображения носят чисто умозрительный характер. Мы не можем их ни опровергнуть, ни подтвердить. Поэтому предлагается впервые поискать ответ на вопрос – а насколько можно верить этой разности в  $1,34\text{ }^{\circ}\text{C}$  ?

Обращаем внимание на то, что в эксперименте на самом деле мы получаем результат в виде  $37 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это учащиеся уже понимают, мы уже отмечали на графиках ошибку термометра. Им быстро становится понятно, что надо проверять, попадает ли  $T_{см\text{ теоретическое}} = 38,34\text{ }^{\circ}\text{C}$  в экспериментальный интервал температур от  $36$  до  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$  ? Не попадает. Тут и излагается новая идея, что  $T_{см\text{ теоретическое}}$  тоже не может изображаться точным числом, что есть причины, по которым нельзя предсказать точное значение в теории. Роль недостатков модели и неточностей теории мы будем обсуждать потом, а сейчас обращаем внимание на структуру расчетной формулы, куда в качестве параметров входят два экспериментальных значения температур, известные также с точностью  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Сразу видно, что и  $T_{см\text{ теоретическое}}$  не может быть оценено точнее, чем с ошибкой в  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, мы должны выяснить, перекрываются ли интервалы для предсказанного и измеренного значений температуры смеси. Видим, что интервалы перекрываются. Делаем вывод, что в пределах точности нашего эксперимента мы имеем согласие теории с опытом. Значит, нет особого смысла обсуждать причины такого различия.

### **Напоминание логики и смысла сравнения измеренных физических величин, заданных интервалами.**

Сценарий этой части занятия совпадает с тем, что делалось на аналогичном занятии в 7 классе. Однако этот сценарий прорабатывался в таком 8-м классе, который был набран из

других школ. Поэтому эти дети не занимались теорией погрешностей до встречи с тепловыми явлениями. Для них пришлось теорию погрешностей давать с нуля.

**Домашнее задание.** Продолжать решать все задачи из стандартного задачника на тему *Теплообмен* (778 - 840). Продумать постановку эксперимента по определению теплоемкости стекла.

## **Сценарий занятия № 6 по теме *Тепловые явления, теплообмен, уравнение теплового баланса.***

### **Проверка домашнего задания.**

Начали обсуждать трудности, встретившиеся в задачах на *Теплообмен*.

Можно считать, что домашнее задание, рассчитанное на три занятия, выполняется.

Продумать постановку эксперимента по определению теплоемкости стекла не удалось никому. Все предложения сводились к прямому использованию формулы  $Q = mc\Delta T$ . То есть учащиеся склонны к применению абсолютного метода измерения, но не знают, как его осуществить. Методика относительного измерения, основанного на эксперименте по смешиванию тел с известной и неизвестной теплоемкостью, им ещё недоступна.

### **Обсуждение постановки эксперимента по определению теплоемкости стекла.**

Поясняем различный статус данных по удельной теплоемкости веществ в таблицах школьных учебников и задачников. Такие вещества, как вода и металлы, многократно исследованы, поэтому приведенным в таблицах данным можно доверять. Но далеко не все вещества исследованы. В частности, в таблице есть данные по лабораторному стеклу, а у нас была обыкновенная стеклянная банка для консервов. Её теплоемкость, скорее всего, никому неизвестна. Нам в том числе. И если мы в дальнейшем хотим в опытах пользоваться не калориметром, а этой банкой, то нам нужна теплоемкость именно этого стекла.

На основе знакомой постановки эксперимента по установлению температуры смеси холодной и горячей воды рассматриваем возможность относительного измерения удельной теплоемкости стекла в аналогичном эксперименте. Заполним банку кусками битого стекла от такой же банки, чтобы увеличить массу стекла  $m_c$  в теплообмене. Зарегистрируем комнатную температуру, равную температуре холодного прибора  $T_x$ . Наполним мерный сосуд горячей водой и будем следить за показаниями термометра. После подъема температуры из-за нагрева термометра мерный сосуд с горячей водой и термометром начнет остывать. В этот момент регистрируем температуру горячей воды  $T_r$  и заливаем горячую воду в прибор. Закрываем банку металлической крышкой и погружаем в прибор термометр. Перемешиваем воду и регистрируем максимальную температуру полученной смеси  $T_{см}$ . Эти манипуляции выполняют двое учащихся, а третий регистрирует с помощью секундомера время от момента заливки воды до момента регистрации  $T_{см}$ .

### **Обработка и обсуждение результатов эксперимента.**

Составляем уравнение теплового баланса, договариваясь, что мы будем учитывать, а чего не будем. Сначала строим простую модель. Горячая вода отдает тепло  $Q_r$  в прибор. Это

тепло полностью идет на нагревание  $Q_c$  стекла и крышки  $Q_k$ . Записываем уравнение теплового баланса

$$Q_{\Gamma} = Q_c + Q_k. \quad (1)$$

Подставляем в (1) параметры эксперимента

$$m_B c_B (T_{\Gamma} - T_{CM}) = m_c c_c (T_{CM} - T_X) + m_k c_k (T_{CM} - T_X), \quad (2)$$

решаем это уравнение относительно неизвестной величины  $c_c$  и получаем расчетную формулу

$$c_c = (m_B c_B (T_{\Gamma} - T_{CM}) - m_k c_k (T_{CM} - T_X)) / m_c (T_{CM} - T_X). \quad (3)$$

В эксперименте зарегистрированы следующие исходные данные.

$m_B =$

$c_B =$

$T_{\Gamma} =$

$T_{CM} =$

$m_k =$

$c_k =$

$T_X =$

$m_c =$

На основании этих данных получаем  $c_c =$  .

Можно ли пользоваться этим значением  $c_c$  для нашего прибора в следующих экспериментах? Всё ли мы учли в нашей модели и в уравнении теплового баланса? Учащиеся подсказывают, что мы не учли потери тепла на нагревание окружающей среды. Объясняем, что мы не могли учесть этих потерь, пока не провели эксперимент. Тепловые потери зависят от разницы между максимальной температурой прибора и комнатной температурой, а также от продолжительности эксперимента. В следующий раз вы эту поправку введем.