

## Сценарий занятия № 1 по теме *Тепловые явления, охлаждение нагретых тел.*

### Вводная часть.

Предлагается вспомнить, как протекает знакомое явление, когда остывает чашка горячего чая, тарелка супа, кастрюля с открытой или закрытой крышкой, либо закутанная кастрюля с гречневой кашей. Учащиеся 8-го класса вполне ориентируются и даже могут объяснить причины, приводящие к разным скоростям охлаждения. Они кое-что умеют прогнозировать: чтобы побыстрее охладить чашку кипятка, следует содержимое перелить в широкую тарелку. Или другой прогноз: кастрюля будет остывать только до комнатной температуры.

Итак, выясняется, что учащиеся вполне готовы заняться этим явлением более пристально. Ставится задача: провести количественное исследование данного явления, установить его закономерности и затем воспользоваться полученной теорией для прогнозирования подобных явлений. Поясняем, что такое исследование займет не одно занятие и пригодится в других занятиях.

### Экспериментальная часть.

Стеклянный открытый сосуд на половину заполняем водой, нагреваем кипятильником до кипения, убираем кипятильник и начинаем с помощью термомпары или термометра следить за состоянием сосуда. В эксперименте непосредственно участвуют два ученика - один следит за секундомером и отмечает наступление каждой следующей минуты, а другой в эти моменты замечает показания термомпары. Секундомер позволяет отмечать моменты времени с точностью до секунды, а цифровое табло термомпары позволяет отмечать значения температуры с точностью до одного градуса Цельсия. Отсчет времени начинаем в тот момент, когда падающая температура даст скачкообразное уменьшение отсчета на термомпаре.

Процесс остывания происходит сравнительно медленно, поэтому доводим температуру сосуда не до комнатной, а до той, что получится через 10 - 12 минут. Учащиеся с голоса экспериментаторов записывают результаты в тетрадях, успевая при этом обсуждать поведение объекта с преподавателем. Замечаем, что скорость остывания меняется неравномерно.

Второй эксперимент проводим, закрыв нагретый сосуд крышкой. Получается следующая таблица с исходными данными.

Таблица 1. Остывание жидкости.

Время $t$ , мин	Температура без крышки $T$ , °C	Температура с крышкой $T$ , °C
0	96	96
1	91	93
2	88	90
3	84	88
4	81	86
5	79	85
6	76	

7	74
8	72
9	70
10	69

В ходе второго эксперимента замечаем, что с крышкой остывание идёт медленнее. Учащиеся безошибочно определяют роль крышки – она исключает испарение. Им понятно, как можно определить скорость остывания – на сколько падает температура за единицу времени. Понятна формула

$$v = \Delta T / \Delta t \quad (1)$$

Непонятно только, нужно ли считать площадь сосуда одинаковой в двух экспериментах. Это откладываем на потом.

Объясняем, как правильно строить графики.

**Домашнее задание.** Построить графики процессов и рассчитать в нескольких точках скорость остывания.

## **Сценарий занятия № 2 по теме *Тепловые явления, охлаждение нагретых тел.***

### **Проверка домашнего задания.**

Было задано - построить графики остывания открытого и закрытого сосудов с горячей водой. Выясняется, что как-то графики построили все, но не вполне рационально. Что-то осталось непонятым, и надо показать образец, оформленный полностью. Было задано – рассчитать скорость остывания для некоторых моментов времени. Не рассчитал никто. Несмотря на то, что на ближайшем занятии по математике был показан способ расчета. Значит, надо показать образец работы прямо на этом экспериментальном материале.

### **Обработка данных эксперимента по остыванию нагретого тела.**

Здесь преподавателю предоставляется возможность продемонстрировать всю технику и культуру построения графиков по данным конкретного эксперимента с учетом погрешностей эксперимента. Делать это вручную на доске или на образцовом листе миллиметровки было бы слишком долго. Предлагается воспользоваться компьютером, снабженным программой EXCEL. При подготовке к занятию заготавливается таблица и шаблон графика, а на самом занятии в таблицу вносятся записанные ранее данные по двум экспериментам. Возникает стандартный график, который все внимательно рассматривают. График представляет собой отдельные экспериментальные точки с отметками погрешностей измерения температуры  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Экспериментальные точки **не соединяются** сплошной линией, поскольку в следующей части занятия предполагается провести через эти точки теоретическую кривую.

Здесь подвергается проверке методическая гипотеза: **полезно показать учащимся несколько примеров профессиональной графической продукции, а затем уже будет легче научить их технике построения графиков.**

### **Подбор эмпирической формулы.**

Объясняем постановку важной вспомогательной задачи, которую приходится решать любому исследователю: По внешнему виду экспериментального графика угадать, какая из простейших функций похожа по своему поведению на данный график. Если это удастся, то с помощью подбора параметров формулы получить чисто формальный способ интерполировать и, главное, экстраполировать экспериментальные данные, то есть прогнозировать ход изучаемого процесса. Пусть мы не получим количественного теоретического осмысления явления, но с помощью эмпирической формулы мы уже сможем решать прикладные задачи, связанные с остыванием нагретых тел.

Для решения поставленной задачи необходимо пройти следующие шаги.

В *Справочнике по математике* Бронштейна и Семендяева в отделе *Обработка наблюдений, подбор эмпирических формул* находим, что наиболее подходящая функция имеет вид

$$y = a \exp(-bx) + c.$$

В нашем эксперименте аргументом является время  $t$ , а функцией - температура  $T$ . Поэтому перепишем формулу в виде

$$T = a \exp(-bt) + c.$$

Проясняем смысл коэффициентов  $a$  и  $c$ . Для этого используем начальные условия и понимание конечного состояния системы: при  $t = 0$   $T = T_0$ ; при  $t =$  бесконечность  $T = T_{env}$ , где  $T_0$  - начальная температура нагретого тела,  $T_{env}$  - температура окружающей среды. Отсюда получается

$$c = T_{env}, \quad a = (T_0 - T_{env}).$$

Наша формула приобретает вид

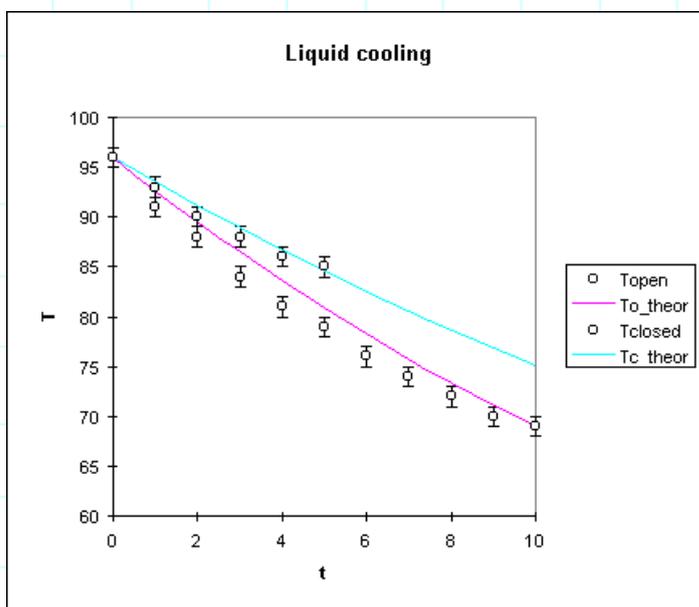
$$T = (T_0 - T_{env}) \exp(-bt) + T_{env}.$$

Обращаем внимание на то, что в обоих экспериментах мы уже зарегистрировали конкретные значения параметров  $T_{env}$ ,  $T_0$ . Так что эти параметры подбирать не надо. Остается подобрать коэффициент  $b$  в экспоненте.

Проводится обсуждение, может ли коэффициент  $b$  быть одинаковым для открытого и закрытого сосуда, чтобы правильно описать наши два эксперимента. У слушателей хватает сообразительности, чтобы сказать: коэффициент  $b$  отражает скорость остывания, а она для открытого и закрытого сосуда разная. Поэтому обозначим этот коэффициент  $k_o$  (o - open) для открытого сосуда, и  $k_c$  (c - closed) - для закрытого сосуда. Значений  $k_o$  и  $k_c$  мы не знаем. Подберем их такими, чтобы теоретические кривые наилучшим образом проходили вблизи экспериментальных точек. Преподаватель с помощью учащихся варьирует в таблице EXCEL эти коэффициенты и получает результаты, приведенные ниже.

Охлаждение жидкости				
Tenv	25			
ko	0,048			
kc	0,035			

t	Topen	To_theor	Tclosed	Tc_theor
0	96	96,0	96	96,0
1	91	92,7	93	93,6
2	88	89,5	90	91,2
3	84	86,5	88	88,9
4	81	83,6	86	86,7
5	79	80,9	85	84,6
6	76	78,2		82,6
7	74	75,7		80,6
8	72	73,4		78,7
9	70	71,1		76,8
10	69	68,9		75,0



### Обсуждение полученных результатов.

Проверяем, понимают ли учащиеся, что происходит с теоретическими графиками при вариации параметров  $ko$  и  $kc$ . Что мы еще не имеем теории явления, но уже имеем возможность формально моделировать процесс на количественном уровне. Что мы подогнали значения параметров  $ko$  и  $kc$  “под ответ”. И тем самым с помощью эксперимента и его обработки получили информацию об исследуемом процессе, которой у нас раньше не было. Создается впечатление, что учащиеся всё это понимают.

Примечание. Обсуждение проводится не в приведенных здесь терминах, но в дальнейшем предполагается перейти на общепринятую терминологию.

**Домашнее задание.** Прочсть по учебнику разделы *теплопроводность, конвекция, излучение*. Продумать, какие из этих (и других) механизмов реализуются в нашем эксперименте. Можно ли подавить какие-то механизмы, чтобы явление приобрело более простой вид?

## Сценарий занятия № 3 по теме *Тепловые явления, охлаждение нагретых тел.*

### Проверка домашнего задания.

Было задано – прочесть о трех механизмах теплопередачи (конвекция, теплопроводность и излучение) и продумать, какие из этих механизмов могут объяснять особенности остывания банки с водой в наших опытах. Удалось разобраться, что могут срабатывать все три механизма, да еще испарение. Удалось понять, что разговоры о вкладе того или иного механизма можно вести на качественном уровне, а на количественном уровне роль каждого механизма невозможно выяснить без постановки дополнительных опытов. От учащихся даже поступили предложения, как построить такие опыты, чтобы ответить на вопрос – проявляется данный механизм, или нет. Сообразили, что все такие опыты будут трудными. Надёжно установили только одно – в закрытом сосуде испарение воды во внешнее пространство исключается нацело.

Можно считать, что домашнее задание выполнено.

### Построение эмпирической теории остывания нагретого тела.

Напоминаем: на прошлом занятии подбором была получена формула

$$T = (T_0 - T_{\text{env}}) \exp(-bt) + T_{\text{env}}. \quad (1)$$

Было выяснено, что она достаточно хорошо описывает два наши опыта после подбора двух различных значений коэффициента  $b$ :  $b = k_0$  и  $b = k_c$ .

Ставится необычный для школы вопрос: можно ли считать, что мы располагаем теорией охлаждения тела? Поначалу учащиеся склонны считать, что такая теория уже имеется – есть понимание механизмов данного явления и есть работающая формула.

Приходится задать такой вопрос: а можно ли применить эту формулу для другого горячего тела и без дополнительных экспериментов количественно предсказать ход остывания нового тела? Учащиеся уверенно отвечают – нет!

Так что же это за теория? Это только эмпирическая формула для описания остывания данного конкретного тела.

Формулируем требования к теории. Хорошая теория, как минимум, должна уметь отвечать на вопросы:

- какая основная причина приводит к такому поведению изучаемого объекта?
- как предсказать для конкретного объекта, что с ним будет в условиях, отличающихся от условий ранее проведенных опытов?
- от чего зависят численные значения параметров модели данного явления?

Эти требования к теории поясняются на реальностях нашего исследования. Учащиеся понимают, что у нас уже есть некоторые элементы теории. Если мы поставим нашу горячую закрытую банку в холодильник, то она будет остывать гораздо быстрее. Мы даже можем предсказать, какая в какой момент будет температура, если верим, что  $k_c$  не

изменится. А в жаркий летний день ход остывания будет другим. Но мы совершенно не знаем, как изменится ход остывания, если мы нальем в банку больше жидкости, или возьмем банку другого размера.

Чего мы совершенно не узнали, подобрав эмпирическую формулу, так это откуда она такая получается, какая основная причина привела к такому ходу процесса. Поэтому делаем вывод, что теории у нас пока нет.

Ставим задачу данного занятия: **построить теорию охлаждения тела**. Пусть поначалу это будет слабенькая теория, но мы посмотрим, как строится физическая теория.

Рассуждаем на тему - когда идет и когда останавливается и почему останавливается процесс охлаждения тела. Догадываемся, что он останавливается, когда перестают различаться температура тела и температура окружающей среды. Догадываемся, что процесс продолжается, пока отличаются температуры тела и окружающей среды. Значит, разность температур является главной и единственной причиной уменьшения температуры тела. Как только додумались до этого, уже ничего не стоит записать данную мысль в математической форме:

$$\Delta T = k(T - T_{env})\Delta t. \quad (2)$$

В сущности, это дифференциальное уравнение для процесса, описываемого моделью, которую мы подробно обсуждаем примерно в таких терминах:

- Есть два объекта – горячее тело и более холодная окружающая среда. Больше ничего в природе нет.
- Окружающая среда обладает совсем простым свойством – её температура не меняется в процессе охлаждения тела.
- Горячее тело обладает чуть более сложным свойством – оно за маленький промежуток времени  $\Delta t$  уменьшает свою температуру  $T$  на величину  $\Delta T$ , зависящую только от разности температур  $T - T_{env}$  и от каких-то непонятных особенностей тела, зашифрованных в постоянном для данного тела коэффициенте  $k$ .

С помощью формулы (2) можно предсказать ход всего процесса, если в эксперименте зарегистрирована часть процесса остывания. Сразу же проверяем, насколько удачно это получается. На первом занятии мы для закрытого сосуда зарегистрировали дополнительно, что при  $t = 34$  мин  $T = 48$  °С. Рассчитаем с помощью формулы (2), какую температуру предсказывает для этого момента теория.

Для того чтобы решить эту задачу, приходится познакомить учащихся с пошаговым ходом интегрирования уравнения (2). Это делаем на доске в таблице с помощью обычного калькулятора. Рассчитываем значения  $T$  для  $t = 2$  и  $3$  мин, используя найденное на прошлом занятии значение  $kc$ . Видим, что получается не хуже, чем по формуле (1), и похоже на эксперимент в пределах наших погрешностей. Далее приходится показать, как те же самые вычисления делает программа на компьютере. Находим, что в результате численного интегрирования программа предсказывает: при  $t = 34$  мин  $T = 46$  °С. Обсуждается точность предсказания, и тем самым, судим, насколько работоспособна наша теория. От учащихся даже поступает разумное предложение улучшить точность

предсказания путем более тщательного подбора величины  $k_c$ . Отсюда ясно, что главная цель демонстрации построения теории достигнута.

В дальнейшем предполагается вернуться к этой теории и развить ее, прояснив анатомию коэффициента  $k_c$ . Но для этого нужно познакомиться с понятием теплоемкости, чему будут посвящены следующие занятия. В результате выяснится, что наша слабая пока теория поможет более правильно экспериментировать с установлением теплового равновесия в сложной системе, а разрабатываемая на будущих занятиях теория теплового баланса поможет усилить теорию охлаждения тела. Наконец, появится возможность понять, чем же формула (2) лучше формулы (1). То есть чем полуэмпирическая теория явления лучше эмпирической формулы, описывающей это явление. Но не будем спешить, не будем затрагивать эти вопросы на данном занятии.

**Домашнее задание.** Постараться решить все задачи из стандартного задачника на тему *Теплопередача*. Задач много, но они качественные и простые.

### **Приложение. Программа интегрирования уравнения (1) на языке QBASIC.**

' **Cool a body**

' Prepare output to Bodytemp.prn and t.prn for MATHCAD graphics

OPEN "Bodytemp.prn" FOR OUTPUT AS #1

OPEN "t.prn" FOR OUTPUT AS #3

' Program Initialisation

BT0 = 96

ET = 21

t = 0

dt = 1

tmax = 60

BT = BT0

k = .03

PRINT #1, USING "####.### "; BT

PRINT #3, USING "####.### "; t

' Cycled Calculations

DO WHILE t < tmax

BT = BT - k \* (BT - ET) \* dt

```
PRINT #1, USING "####.### "; BT
```

```
t = t + dt
```

```
PRINT #3, USING "####.### "; t
```

```
LOOP
```

```
END
```