

Краевая научно-практическая конференция  
учебно-исследовательских работ учащихся 6-11 классов  
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

**Изучение теплоизоляционных конструкций на примере термоса**

Мишкевич Юрий Михайлович,  
11 кл., МБОУ «Лицей №1», г. Пермь,  
Анферов Сергей Дмитриевич,  
учитель физики.

Пермь. 2015.

## Содержание

Содержание .....	2
Введение .....	3
Актуальность .....	3
Цель работы .....	3
Задачи .....	3
I Глава. Теоретическая часть .....	4
Термодинамика .....	4
Теплообмен .....	6
Термос .....	9
Расчет количества теплоты .....	11
Скорость нагревания и остывания тела .....	12
II Глава. Методика проведения эксперимента .....	13
III Глава. Анализ полученных результатов .....	14
Заключение .....	17
Справочная литература .....	17
Ресурсы интернет: .....	17
Приложение 1. Некоторые модели самодельных термосов .....	18
Всегда холодная питьевая вода .....	18
Термос на основе бутылок .....	18

## **Введение**

### ***Актуальность***

Все мы напрямую или косвенно пользуемся теплоизоляционными конструкциями. Без них не выжить в наши суровые холодные зимы, не сохранить на долгое время большинство продуктов питания. Но многие люди даже не задумываются о том, почему некоторые теплоизоляционные конструкции сохраняют тепло очень долго, будь то термос с горячим чаем или тонкая и легкая одежда, изготовленная по современным технологиям, опирающимся на термодинамику, спасает в морозы лучше, чем куча обычной одежды. Также, теплоизоляционные конструкции обширно используются в строительстве. Сохраняя тепло с помощью подобных конструкций понадобится меньше затрат на обогрев квартиры или дома. Разберем принцип работы теплоизоляционных конструкций на примере термоса.

### ***Цель работы***

Выяснить, какой вид бытовых термосов лучше сохраняет тепло.

### ***Задачи***

1. Изучить тепловые свойства макроскопических тел при нагревании и охлаждении;
2. Изучить устройство бытового термоса, историю его возникновения;
3. Выяснить, как можно сделать самодельный термос.

## I Глава. Теоретическая часть

### **Термодинамика**

Теория, в которой изучаются тепловые свойства макроскопических тел без учета их молекулярного строения, называется **термодинамикой**.

Мы рассмотрим явления, связанные с изменением свойств покоящихся тел. Конкретно нас интересует нагревание и охлаждение воды. Подобные явления называют *тепловыми явлениями*.

Мы знаем, что при нагревании холодная вода сначала становится теплой, а затем горячей. Вынутая из пламени металлическая деталь постепенно охлаждается. Воздух, окружающий батареи с горячей водой, нагревается и т. д.

Словами «холодный», «теплый», «горячий» мы обозначаем тепловое состояние тел. Величиной, характеризующей тепловое состояние, тел является температура. **Температура** – это мера «нагретости» тела. Чем выше температура тела, тем большую в среднем энергию имеют его атомы и молекулы<sup>1</sup>. Приборы, служащие для измерения температуры называются термометрами. Один из них изображен на рисунке. Действие такого термометра основано на тепловом расширении вещества. При нагревании столбик используемого в термометре вещества (например, ртути или спирта) увеличивается, при охлаждении уменьшается. Использующиеся в быту термометры позволяют выразить температуру вещества в градусах Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ).



Используемые в быту термометры измеряют температуру в градусах Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ).

В шкале Цельсия за  $0^{\circ}\text{C}$  принимается температура таяния льда, за  $100^{\circ}\text{C}$  – температура кипения воды при атмосферном давлении.

$$T = 100^{\circ}\text{C}$$

$$T = 0^{\circ}\text{C}$$

Следует помнить, что любой термометр всегда показывает свою собственную температуру. Для определения температуры среды термометр следует поместить в эту среду и подождать до тех пор, пока температура прибора не перестанет изменяться, приняв значение, равное температуре окружающей среды.

<sup>1</sup> Молекула состоит из двух или нескольких атомов, связанных между собой силами химического взаимодействия. Так, молекула воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ) состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода.



В термодинамике состояние макроскопических тел описывают параметрами, значения которых можно определить с помощью приборов. Подобные параметры называют термодинамическими и **макроскопическими**. Таковы, например, давление, объем, температура.

**Общее начало термодинамики** – любая замкнутая макроскопическая система рано или поздно переходит в состоянии теплового равновесия, из которого самопроизвольно выйти уже никогда не сможет.

**Тепловым равновесием** называют такое состояние макроскопической системы, при котором все ее термодинамические параметры имеют постоянные, не изменяющиеся с течением времени значения.

После наступления теплового равновесия прекращаются все процессы, связанные с изменением термодинамических параметров состояния: не меняются объем, давление, не происходит теплообмен, прекращаются химические реакции. Тепловое равновесие системы характеризует равенством температур всех ее частей. Тепловое равновесие наступает в результате теплообмена. Теплообмен наступает между телами, имеющими разную температуру. Часть внутренней энергии, переданной от одного тела к другому при теплообмене, обозначают буквой **Q** и называют **количеством теплоты**.

## Теплообмен

Различают три вида теплообмена: теплопроводность, конвекция и лучистый теплообмен.

1. **Теплопроводность** — это вид теплообмена, при котором происходит непосредственная передача энергии от частиц более - нагретой части тела к частицам его менее нагретой части. При теплопроводности само вещество не перемещается вдоль тела - переносится лишь энергия.

Различные вещества имеют разную теплопроводность: у одних она больше, у других - меньше. Из жизненного опыта известно, что если, например, взять какой-либо железный предмет (допустим, гвоздь) и начать нагревать его в огне, то долго удерживать его в руке мы не сможем. И наоборот, горящую спичку можно держать до тех пор, пока пламя не коснется руки. Это означает, что дерево обладает меньшей теплопроводностью, чем железо.

Наибольшей теплопроводностью обладают металлы, особенно серебро и медь. У жидкостей (за исключением расплавленных металлов) теплопроводность невелика. У газов она еще меньше, так как молекулы их находятся сравнительно далеко друг от друга и передача энергии от одной частицы к другой затруднена. Если теплопроводность различных веществ сравнить с теплопроводностью меди то окажется, что у железа она примерно в 5 раз меньше, у воды - в 658 раз меньше, у пористого кирпича - в 840 раз меньше, у свежеснега - почти в 4000 раз меньше, у ваты, древесных опилок и овечьей шерсти – почти в 10 000 раз меньше, а у воздуха она примерно в 20 000 раз меньше.

**Теплопроводность некоторых веществ, Вт/(м\*К)**

Хорошие проводники тепла		Плохие проводники тепла		Теплоизоляторы	
Серебро	407	Котельная накипь	3	Асбест	0,4-0,8
Медь	384	Мрамор	2,8	Дерево	0,1-0,2
Золото	308	Фарфор	1,4	Пробка	0,05
Алюминий	209	Стекло	0,7	Пенопласт	0,04
Латунь	111	Бетон	0,7	Воздух	0,034
Сталь	47	Кирпич	0,7	Перо	0,02
Свинец	35	Вода	0,58	Вакуум	0,00

Плохая теплопроводность шерсти, пуха и меха (обусловленная наличием между их волокнами воздуха) позволяет телу животного сохранять вырабатываемую организмом энергию и тем самым защищаться от охлаждения. Защищает от холода и жировой слой, который имеется у водоплавающих птиц, китов, моржей, тюленей и некоторых других животных.

2. **Конвекция** - это теплообмен в жидких и газообразных средах, осуществляемый потоками (или струями) вещества. Общеизвестно, например, что жидкости и газы обычно нагревают снизу. Чайник с водой ставят на огонь, радиаторы отопления помещают под окнами около пола. Случайно ли это?

Поместив руку над горячей плитой или над включенной лампой, мы почувствуем, что от плиты или лампы вверх поднимаются теплые струи воздуха. Эти струи могут даже вращать небольшую бумажную вертушку, помещенную над лампой. Откуда берутся эти струи?

Часть воздуха, которая соприкасается с плитой или лампой, нагревается и вследствие этого расширяется. Ее плотность становится меньше, чем у окружающей (более холодной) среды, и под действием архимедовой (выталкивающей) силы она начинает подниматься вверх. Ее место внизу заполняет холодный воздух. Через некоторое время, прогревшись, этот слой воздуха также поднимается вверх, уступая место следующей порции воздуха, и т. д. Это и есть конвекция. Точно так же переносится энергия и при нагревании жидкости.

3. **Лучистый теплообмен** - это теплообмен, при котором энергия переносится различными лучами. Это могут быть солнечные лучи, а также лучи, испускаемые нагретыми телами, находящимися вокруг нас.

Так, например, сидя около камина или костра, мы чувствуем, как тепло передается от огня нашему телу. Однако причиной такой теплопередачи не может быть ни теплопроводность (которая у воздуха, находящегося между пламенем и телом, очень мала), ни конвекция (так как конвекционные потоки всегда направлены вверх). Здесь имеет место третий вид теплообмена – лучистый теплообмен.

Энергия в данном случае передавалась с помощью невидимых лучей, испускаемых нагретым телом. Эти лучи называют *тепловым излучением*.

С помощью теплового излучения (как видимого, так и невидимого) передается на Землю и солнечная энергия. Отличительной особенностью этого вида теплообмена является возможность осуществления через вакуум.

Тепловое излучение испускают все тела: электрическая плитка, лампа, земля, стакан с чаем, тело человека и т. д. Но у тел с низкой температурой оно слабое.

И наоборот, чем выше температура тела, тем больше энергии оно передает путем излучения.

Когда излучение, распространяясь от тела-источника, достигает других тел, то часть его отражается, а часть ими поглощается. При поглощении энергия теплового излучения превращается во **внутреннюю энергию** тел, и они нагреваются.

Светлые и темные поверхности тел поглощают излучение по-разному. Тело с темной поверхностью лучше поглощает энергию (и, следовательно, сильнее нагревается), чем тело со светлой или зеркальной поверхностью.

Тела с темной поверхностью не только лучше поглощают, но и лучше излучают энергию. Больше излучая, они и остывают быстрее. Например, в темном чайнике горячая вода остывает быстрее, чем в светлом.

Способность по-разному поглощать энергию излучения находит широкое применение в технике. Например, воздушные шары и крылья самолетов часто красят серебристой краской, чтобы они меньше нагревались солнечными лучами. Если же нужно использовать солнечную энергию (например, для нагревания некоторых приборов, установленных на искусственных спутниках), то эти устройства окрашивают в темный цвет.

## Термос



Жидкий азот сохраняется в сосуде Дьюара неделю. За это время азот постепенно нагревается и испаряется. Но, если промежуток времени  $\Delta t$  значительно меньше недели ( $\Delta t \ll \text{недели}$ ), то систему можно считать теплоизолированной.

Реально полностью изолировать систему от теплообмена с окружающей средой невозможно, однако для расчета, систему можно считать теплоизолированной на протяжении некоторого промежутка времени. Теплопередача от более нагретого тела к более холодному приводит к выравниванию их температур. Поэтому, например, горячий чайник, снятый с плиты, при соприкосновении с окружающим воздухом через некоторое время остывает. Чтобы помешать телу остывать (или нагреваться), нужно предотвратить

возможный теплообмен, причем во всех его трех проявлениях (при конвекции, теплопроводности и излучении). Это достигается путем помещения тела в специальный сосуд — *сосуд Дьюара* (рисунок), который был изобретен в 1892 г. английским ученым Джеймсом Дьюаром<sup>2</sup>. Сосуды Дьюара вначале применялись лишь для хранения легкоиспаряющихся сжиженных газов (например, жидкого гелия). Впоследствии их стали применять и в бытовых целях — для сохранения при неизменной температуре помещаемых в них пищевых продуктов. Такие сосуды Дьюара стали называть *термосами*. Устройство термоса, предназначенного для хранения жидкостей, показано на рисунке. Он состоит из стеклянного сосуда 4 с двойными стенками. Внутренняя поверхность этих стенок покрыта блестящим металлическим слоем, а из пространства между стенками защитит стеклянный корпус термоса от повреждений, его металлический футляр 3. Сосуд закупоривают при навинчивают колпачок. Термос устроен таким образом, что теплообмен с окружающей средой сведен до минимума. Его стенками препятствует переносу энергии путем кон-



<sup>2</sup> Д. Дьюар родился в Шотландии. Окончив Эдинбургский университет, Дьюар первое время работал в Кембридже, а затем в Королевском институте в Лондоне. Там он среди прочего занимался проблемой сжижения газов и для этой работы сконструировал специальный контейнер, который мы сейчас называем термосом (в технике он называется дьюаром).

блестящий слой на внутренней поверхности термоса препятствует передаче энергии излучением.

## Расчет количества теплоты

От чего зависит количество теплоты, необходимое для нагревания тела?

а) б)

количество воды и ее начальная температура  $t_{нач}$  одинаковы

$$Q_{б)} > Q_{а)}$$

поэтому

$$Q \sim \Delta t, \text{ где}$$

$$\Delta t = t_{кон} - t_{нач}$$

$t_{кон}$  – конечная температура

масса и начальная температура одинаковы

а) б)

начальная температура одинакова

$$m_{б)} > m_{а)}$$

в случае б) тепла требуется больше

$$Q \sim m$$

$c_B > c_M$

$$Q_B > Q_M$$

чем больше удельная теплоемкость вещества, тем больше нужно тепла, чтобы нагреть его

$$Q \sim c$$

1. С ростом разности конечной и начальной температур растут затраты тепла.
2. Если масса тела возрастает, то для его нагрева требуется больше времени.
3. Количество теплоты определяется удельной теплоемкостью вещества, из которого изготовлено тело.

Таким образом, количество теплоты, необходимое для нагревания тела и выделяемое им при охлаждении равно произведению удельной теплоемкости, массы и разности конечной и начальной температур  $Q = cm(t_{кон} - t_{нач})$

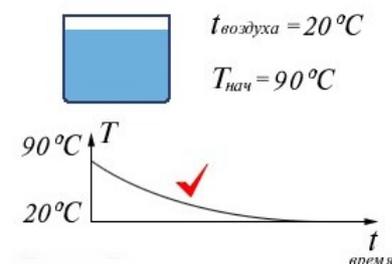
### Удельная теплоемкость некоторых веществ, $\frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$

Свинец	140	Железо	460	Кирпич	880	Керосин	2100
Серебро	250	Чугун	540	Алюминий	920	Лед	2100
Латунь	400	Стекло	840	Масло подсолнечное	1700	Вода	4200

## Скорость нагрева и остывания тела

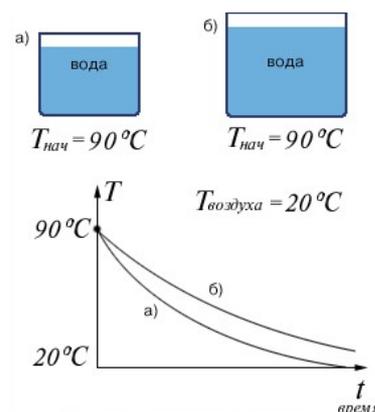
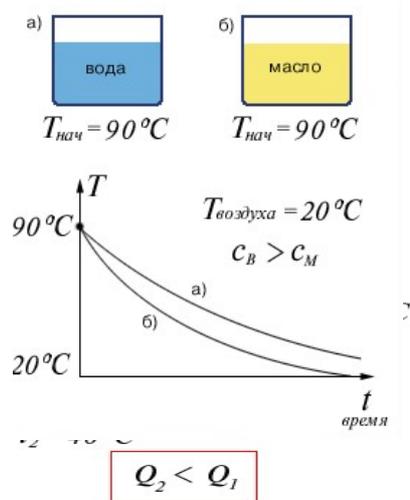
От чего зависит скорость остывания тела?

1. Скорость остывания тела убывает по мере уменьшения разности температур



между телом и окружающей средой.

2. Скорость остывания и нагрева пропорциональна разности температур нагревателя (холодильника) и тела.
3. Зависимость температуры от времени определяется массой тела.
4. Скорость нагрева и охлаждения зависит от удельной температуры.



## **II Глава. Методика проведения эксперимента**

Измерения температуры проводится лабораторным термометром с пределом измерения

0 – 100 °С, цена деления 1°С, абсолютная инструментальная погрешность  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

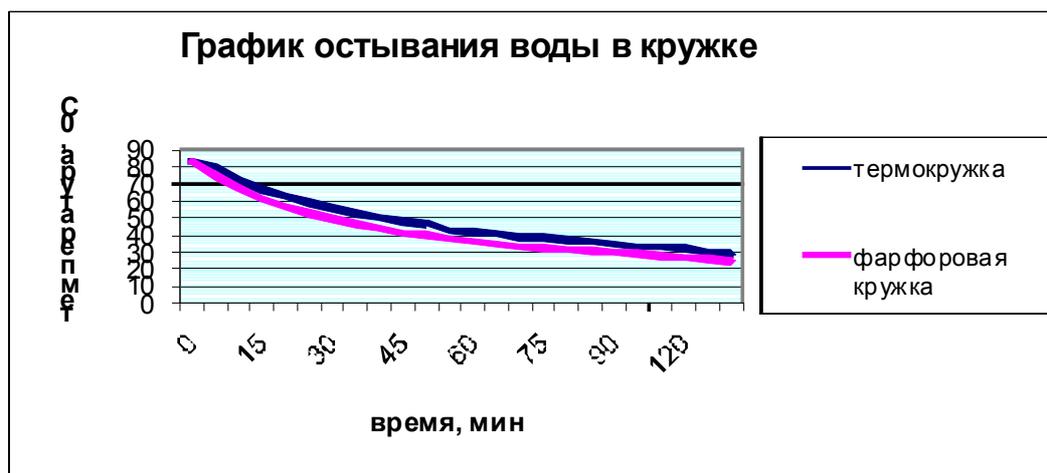
Измерение времени – с помощью часов. Интервал времени выбирается следующий: для непродолжительных процессов (остывание воды в кружке, чайнике) 5 – 10 минут, для длительного процесса (остывание воды в термосе) 0,5 часа. Контрольное измерение проводится через 12 часов. Данные заносятся в таблицу. При измерении температуры в термосе, термометр вставляется в пенопласт, вырезанный по размерам горловины, который закрывает термос для исключения утечки тепла.

### III Глава. Анализ полученных результатов.

Температура окружающей среды 20<sup>0</sup>С

Таблица изменения температуры от времени при остывании воды в термо- и фарфоровой кружках (объемы кружек равны).

Время, мин	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100	105
Темп. °С	84	80	73	67	63	59	56	53	51	48	47	43	42	41	39	38	37	36	35	33	32
	83	75	68	62	57	53	50	47	44	41	40	38	36	35	33	32	31	30	29	28	27

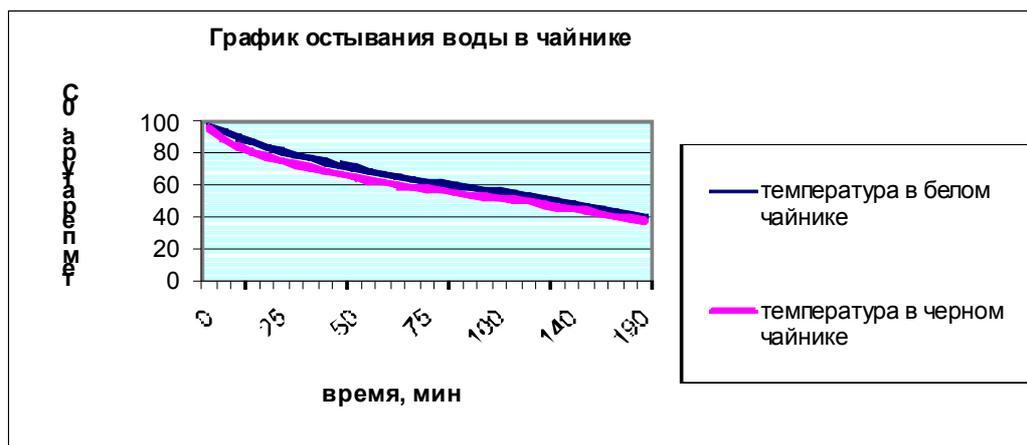


Из таблицы и графика видно, что в термокружке чай остается горячим дольше.

Таблица изменения температуры от времени при остывании воды в белом и черном чайниках

(объемы чайников равны). Температура окружающей среды 20<sup>0</sup>С

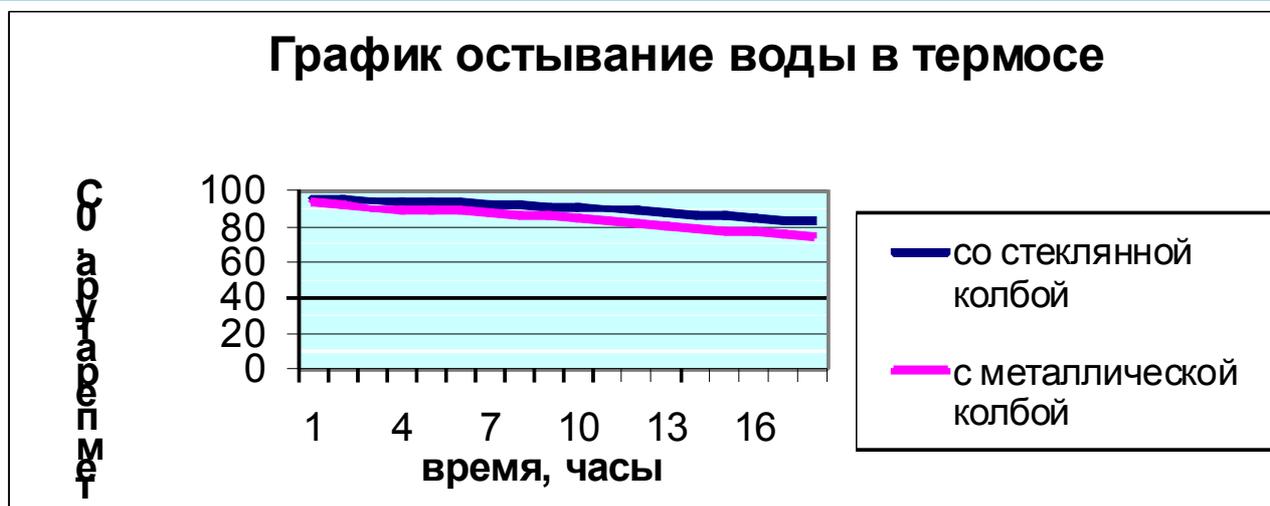
Время, мин	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Температура, °С	97	94	90	87	84	82	79	77	75	73	71	69	67	66	64
	96	89	85	81	78	76	73	71	69	67	65	63	62	60	59
Время, мин	75	80	85	90	95	100	105	115	120	130	140	150	160	170	180
Температура, °С	62	61	60	59	57	56	55	54	52	50	49	47	45	43	42
	58	57	55	54	53	52	51	50	48	47	45	44	42	40	39



Из таблицы и графика видно, что в белом чайнике чай остается горячим дольше. Скорость остывания тела убывает по мере уменьшения разности температур между телом и окружающей средой.

*Таблица изменения температуры от времени при остывании воды в термосе со стеклянной и металлической колбой (объемы термосов примерно равны). Средняя температура окружающей среды 20<sup>0</sup>С.*

Время, часы	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	
Температура, °С	96	95	94,5	94	93,5	93	92,5	92	91,5	91	90	89	88	87	86	85	
		94	92	90	89,5	89	88,5	88	87	86	85	84	82	80	79	78	77



*Сравнительная таблица остывания воды в разных термосах*

	Начальная температура, °С	Температура через 12 часов, °С	Температура через 24 часа, °С
С железной колбой	96	79	66
С стеклянной колбой	96	83	72
Маленький со	94,5	63	49

## стеклянной колбой

Из таблиц и графика видно, что термос со стеклянной колбой держит тепло лучше, чем со стальной того же объема. Термосы маленького объема теряют тепло быстрее. Тепло сохраняется дальше, если вы реже открываете термос.

## **Заключение**

В начале работы передо мной стояла задача разобрать принцип работы теплоизоляционных конструкций на примере термоса. В ходе проделанной работы я изучил тепловые свойства макроскопических тел при нагревании и охлаждении, разобрался в устройстве бытового термоса, узнал историю его возникновения, а так же выяснил, как можно сделать самодельный термос. В связи с чем, я могу сделать следующие выводы:

1. Белые (светлые, блестящие) тела сохраняют горячую воду дольше.
2. Быстрое снижение температуры происходит в первые минуты, далее процесс идет медленнее.
3. Термос со стеклянной колбой сохраняет горячую воду лучше термоса с металлической колбой того же объема.
4. Термос большего объема дольше сохраняет горячую воду, чем малого объема.
5. Горячая вода в термосе сохраняется дольше, если мы реже открываем его.

В заключении хочу сказать, что тема показалась мне интересной и увлекательной.

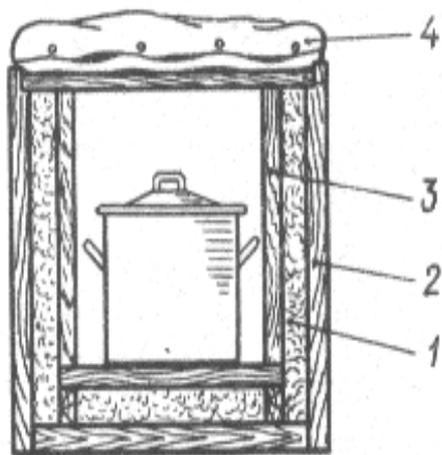
## **Справочная литература**

### ***Ресурсы интернет:***

1. <http://www.dissercat.com/>
2. <http://studopedia.org/>
3. <http://interneturok.ru/>
4. <http://www.bibliotekar.ru/>
5. <http://works.tarefer.ru/>
6. <http://bibliofond.ru/>
7. <http://privetstudent.com/>

## Приложение 1. Некоторые модели самодельных термосов.

### *Всегда холодная питьевая вода*

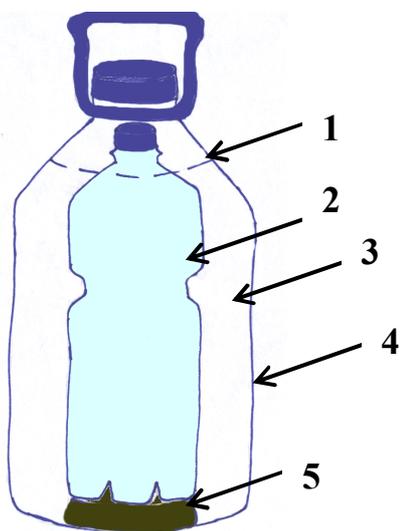


Вот простейший самодельный термос. Рассмотрев рисунок, вы сможете сами легко его сделать. Он состоит из двух деревянных ящичков 2, 3, вставленных один в другой, а между ними находится нетеплопроводная прокладка из деревянных опилок, комочков бумаги или ветоши. Крышкой 4 служит подушка из перьев, соломы или любого нетеплопроводного материала, имеющегося в хозяйстве.

Такой термос можно использовать и дома в хозяйстве.

### *Термос на основе бутылок*

Идея взята передачи «Пока все дома»



Понадобится: две бутылки, которые свободно входят одна в другую; теплоизолирующий материал.

1 – линия отреза, 2 – внутренняя бутылка, 3 – пространство между бутылками, 4 – внешняя бутылка, 5 – теплоизолирующая подставка.

С большой бутылки срезаем верхнюю часть. Внутри на дно прикрепляем подставку из теплоизолирующего материала (пробку или донную часть ПЭТ бутылки дном вверх) для внутренней бутылки. Внутреннюю бутылку красим в серебристый цвет или оборачиваем фольгой и крепим внутри большой. Пространство между бутылками заполняют теплоизолирующим материалом (можно использовать монтажную пену). Даем конструкции затвердеть. Закрепляем срезанную

часть и разукрашиваем изделие. Внешнюю бутылку лучше в конце работы покрыть лаком.