





ЗАДАЧА №7
‘ХОЛОДИЛЬНИК В ГОРШОЧКАХ’

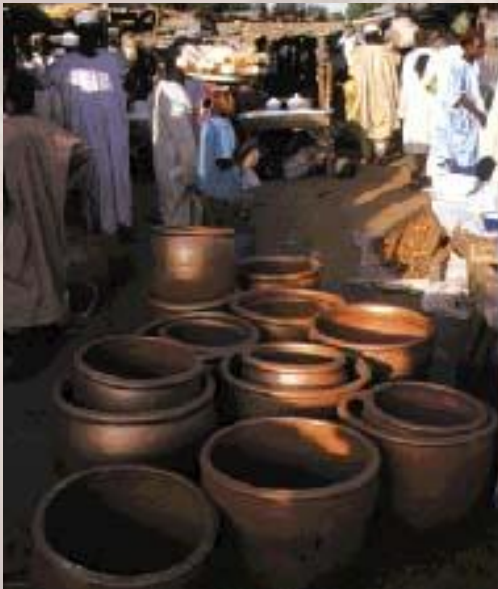
*Докладчик: Токарева Вероника
Лицей БГУ 12*

Условие

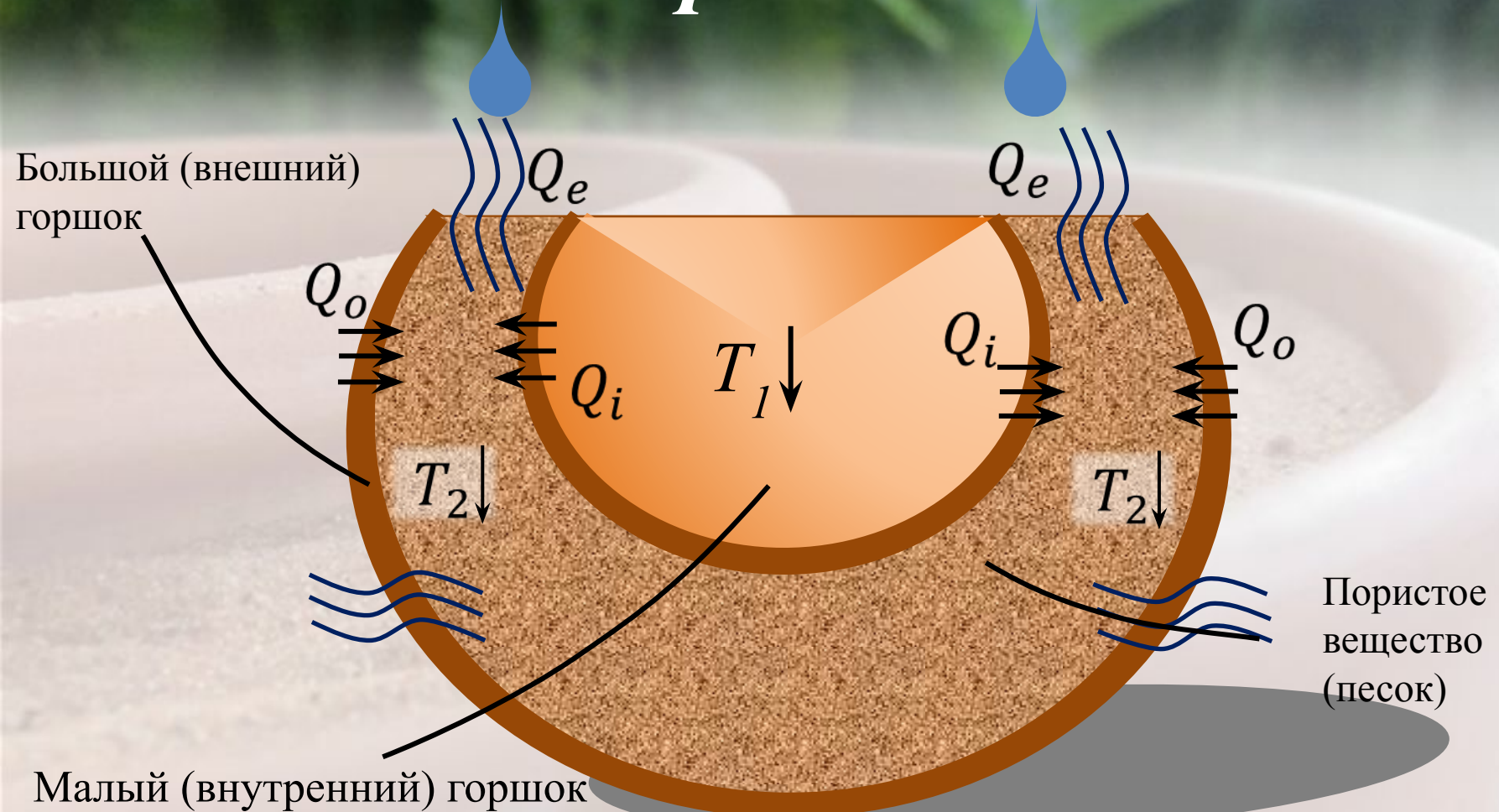
Холодильник "горшок в горшке" это устройство, которое охлаждает еду при помощи испарения. Он состоит из горшка, помещенного в горшок большего размера, пространство между которыми заполнено влажным пористым или гранулированным материалом (например, песком). Каким образом можно добиться наилучшего охлаждающего эффекта?

История

Глиняные горшки появились около 3000 лет до н.э. в северной Африке и западной Индии. Они использовались для хранения, а также охлаждения пищи.



Что происходит?



Качественное
объяснение

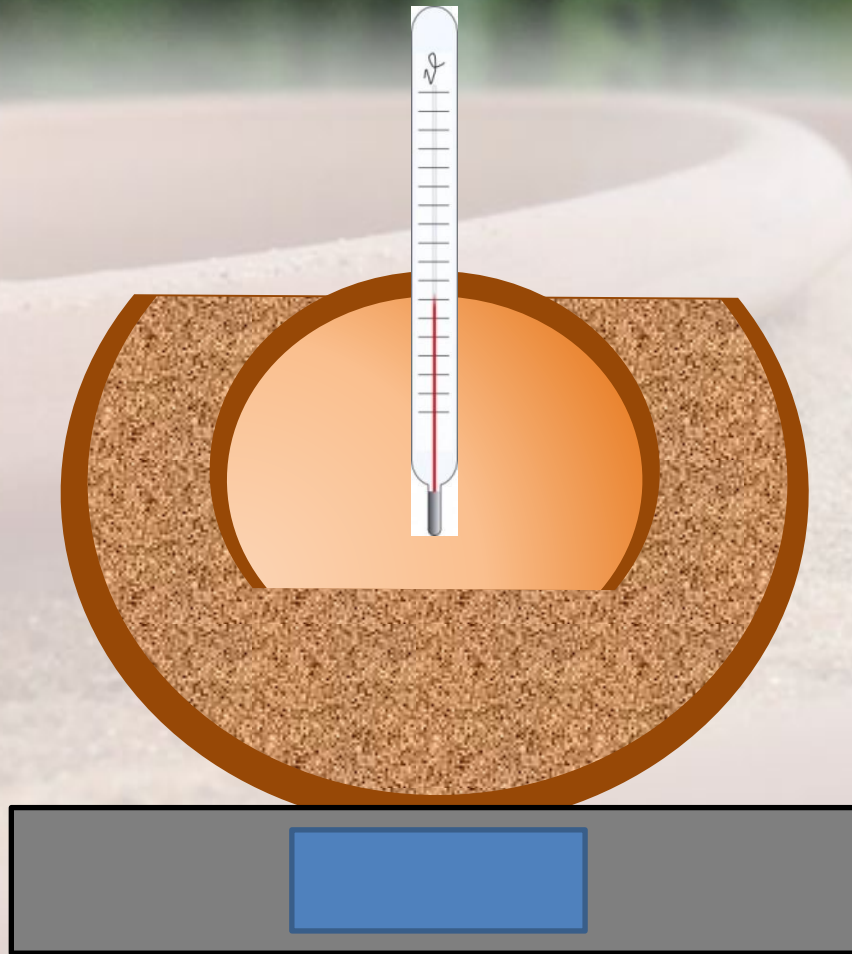
Установка

Эксперимент

Теория

Параметры

Экспериментальная установка



Качественное
объяснение

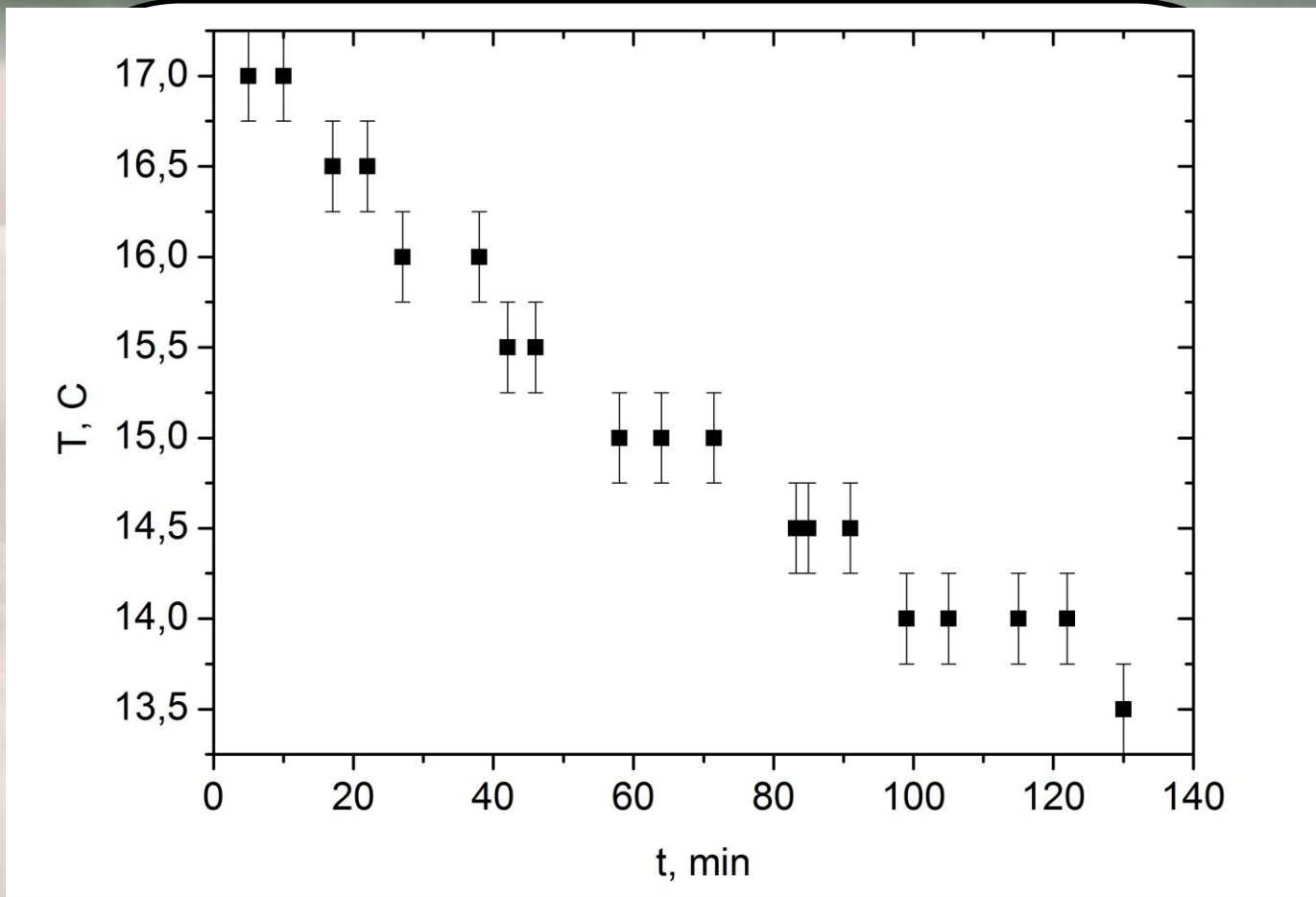
Установка

Эксперимент

Теория

Параметры

Зависимость температуры воздуха во внутреннем горшке от времени.



Качественное
объяснение

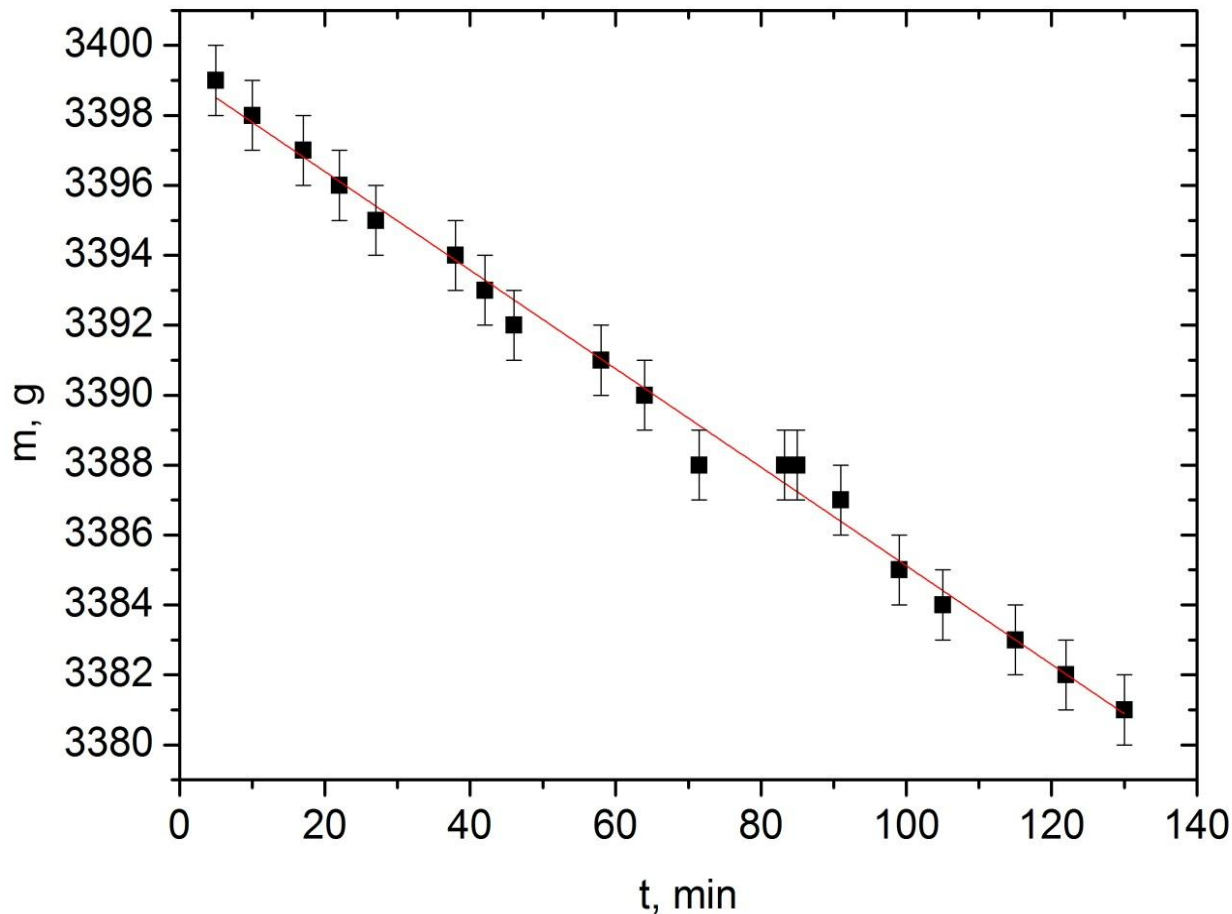
Установка

Эксперимент

Теория

Параметры

Зависимость массы испарившейся ВОЛЫ ОТ ВРЕМЕНИ.



$$\Delta m = k \Delta t$$

$$k = 0,140 \text{ г/мин}$$

Качественное
объяснение

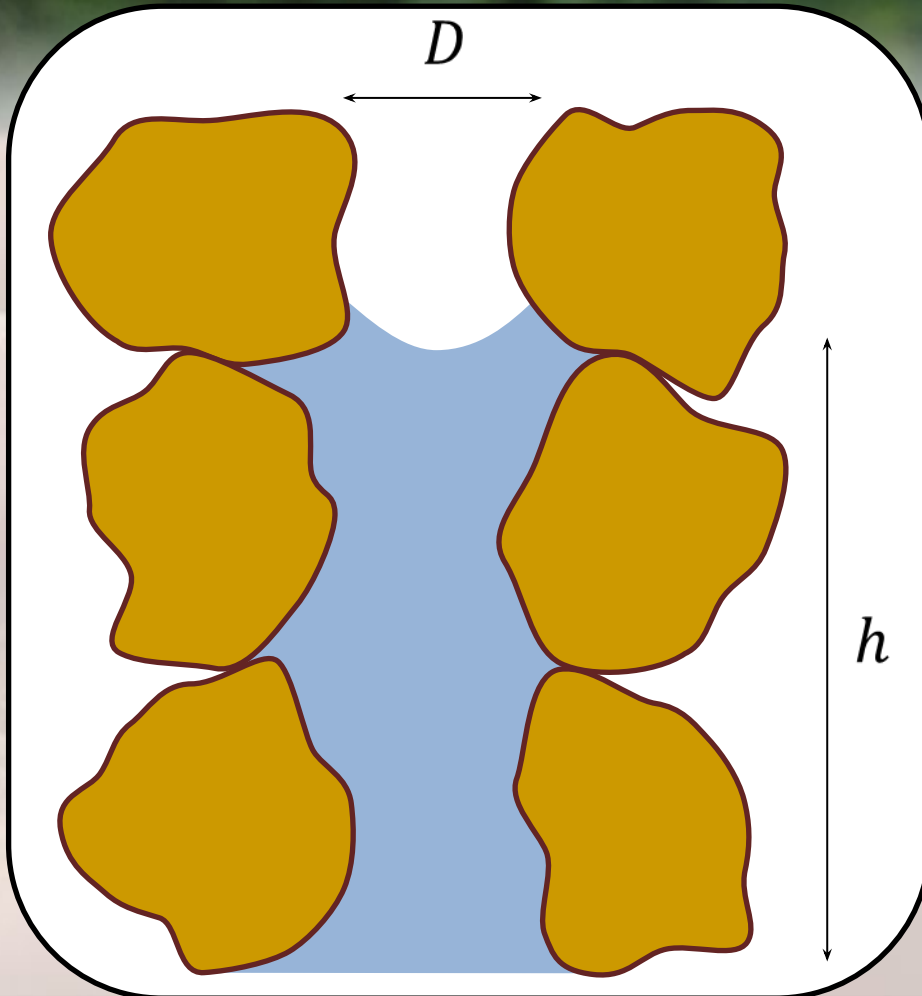
Установка

Эксперимент

Теория

Параметры

Капиллярный эффект



$$p_L = \frac{4\sigma}{D} \quad p = \rho gh$$

$$\frac{4\sigma}{D} = \rho gh$$

$$h = \frac{4\sigma}{D\rho g}$$

$$D = 0,1\text{мм}$$

$$h \approx 30\text{см}$$

Качественное
объяснение

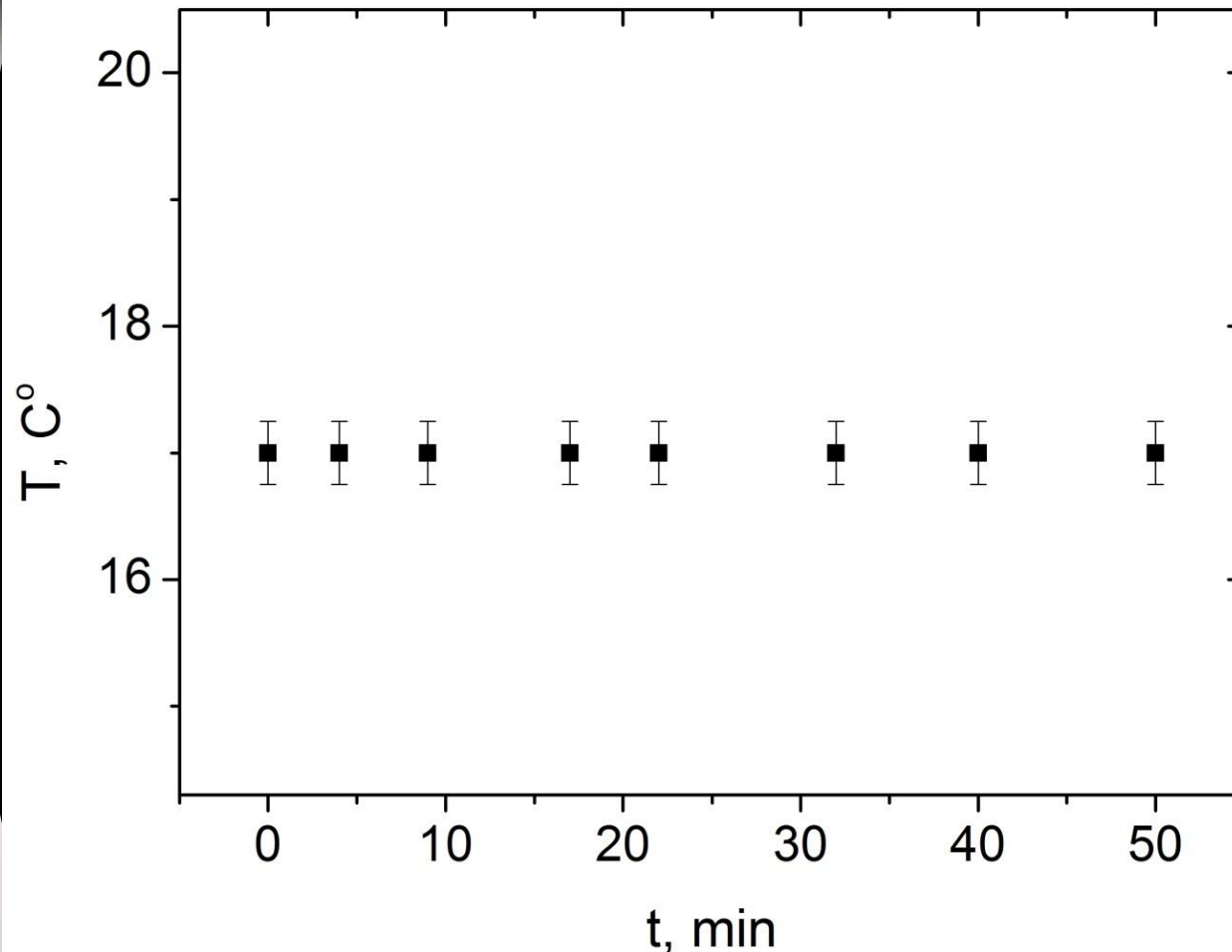
Установка

Эксперимент

Теория

Параметры

Эксперимент с водой



Качественное
объяснение

Установка

Эксперимент

Теория

Параметры

10

Внутренний горшок - песок

$$C_1 dT_1 = \eta(T_2 - T_1)dt$$

C_1 - теплоёмкость воздуха

dT_1 - изменение температуры воздуха

η — коэффициент теплообмена на границе внутреннего горшка и песка

T_2 - температура песка

Качественное
объяснение

Установка

Эксперимент

Теория

Параметры

11

Песок – окружающая среда

$$C_2 dT_2 = \eta(T_1 - T_2)dt - \lambda(T_2 - T_k)dt - kLdt$$

Теплообмен между внутренним горшком и песком

Теплообмен между песком и окружающей средой

Испарение воды

C_2 – теплоемкость песка

dT_2 – изменение температуры песка

λ – коэффициент теплообмена на границе песка и окружающей среды

T_k – температура окружающей среды

k – коэффициент испарения воды

L – удельная теплота испарения

Качественное объяснение

Установка

Эксперимент

Теория

Параметры

12

Система уравнений

$$\begin{cases} C_2 dT_2 = \eta(T_1 - T_2)dt - kLdt - \lambda(T_2 - T_e)dt \\ C_1 dT_1 = \eta(T_2 - T_1)dt \\ T_1(0) = T_e \\ T_2(0) = T_e \end{cases}$$

Качественное
объяснение

Установка

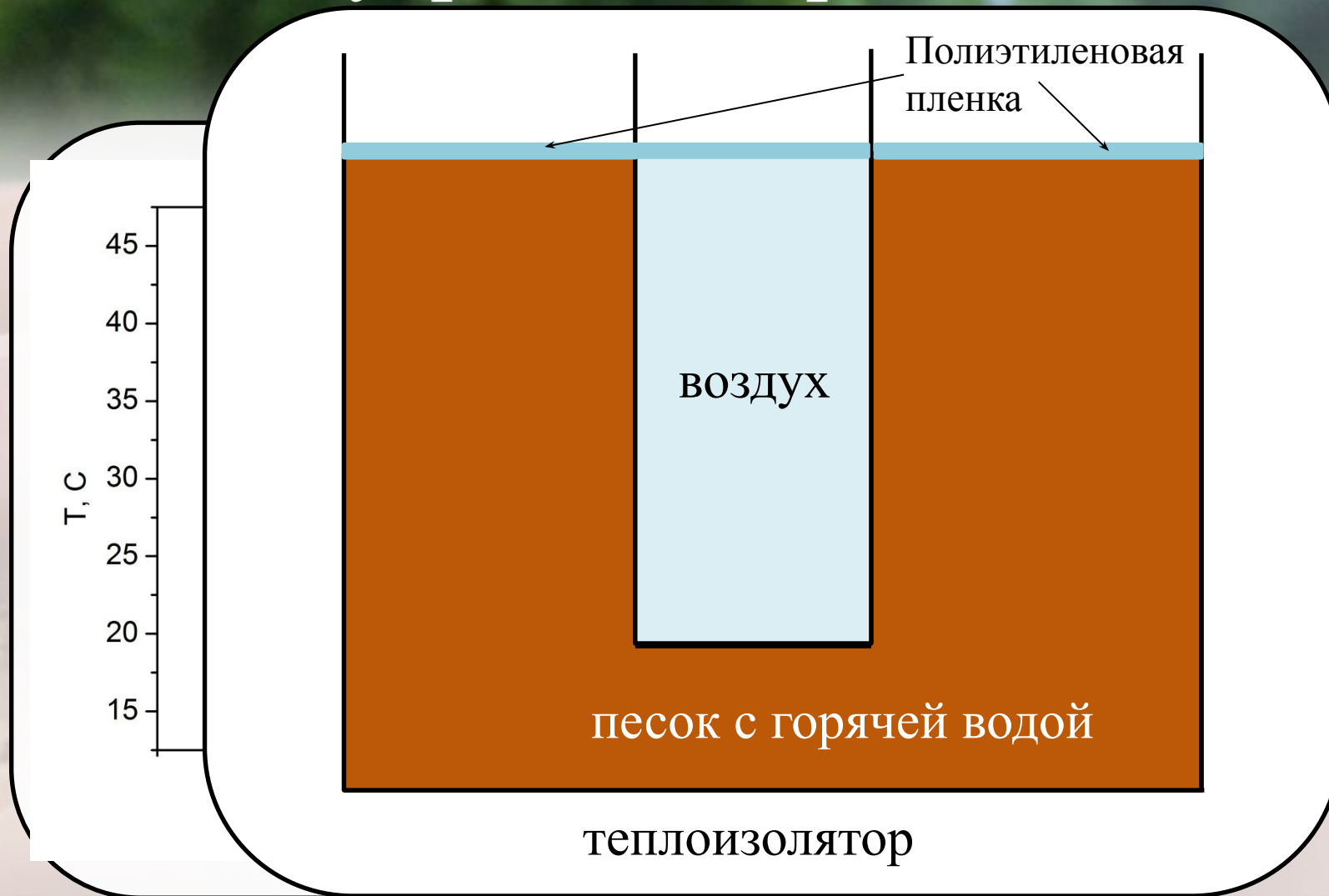
Эксперимент

Теория

Параметры

13

Внутренний горшок - песок



$$1 \frac{S_1}{\Delta l_1}$$

коэффициент
теплопроводности
по длине контакта
на
да

Качественное
объяснение

Установка

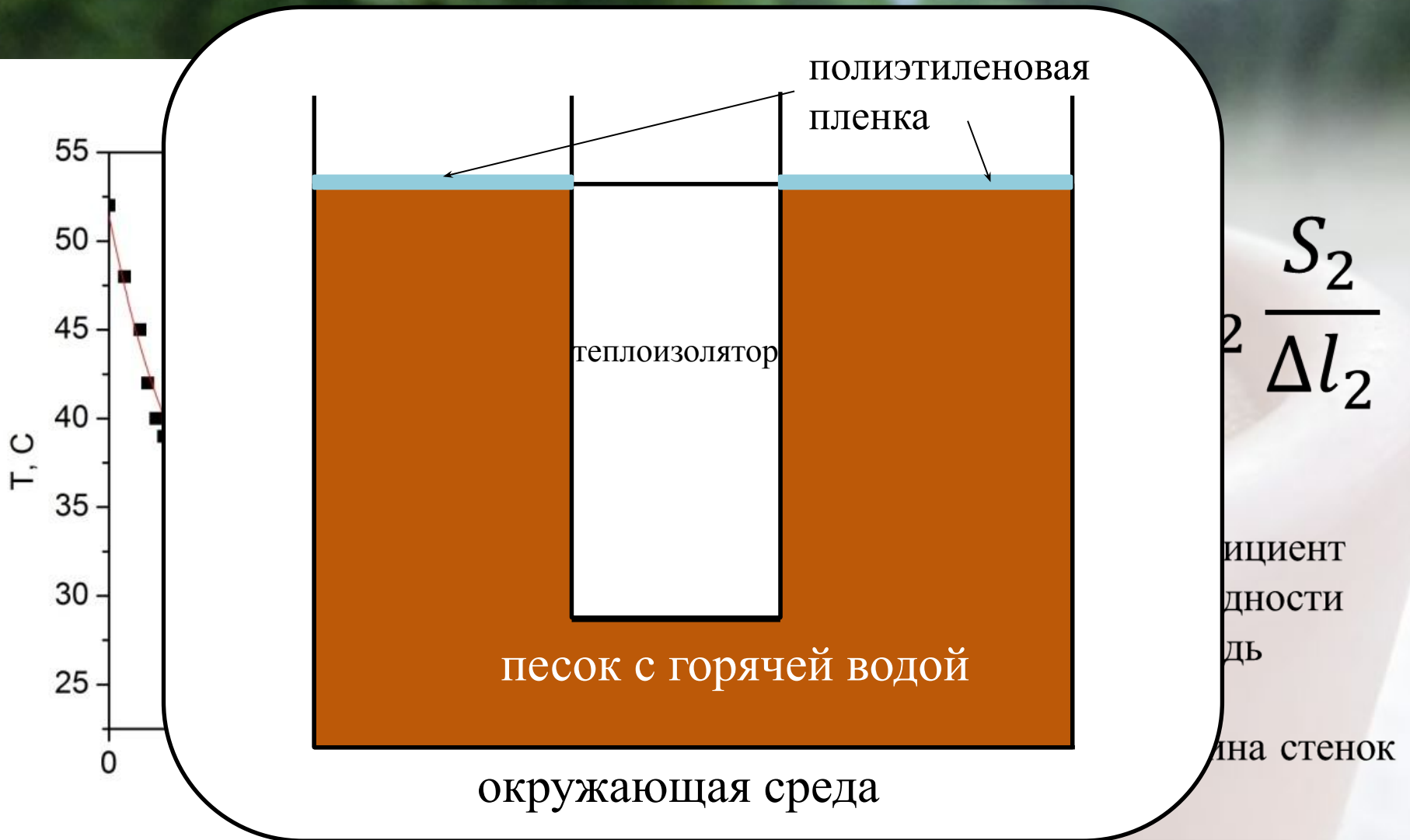
Эксперимент

Теория

Параметры

14

Песок – окружающая среда



Качественное
объяснение

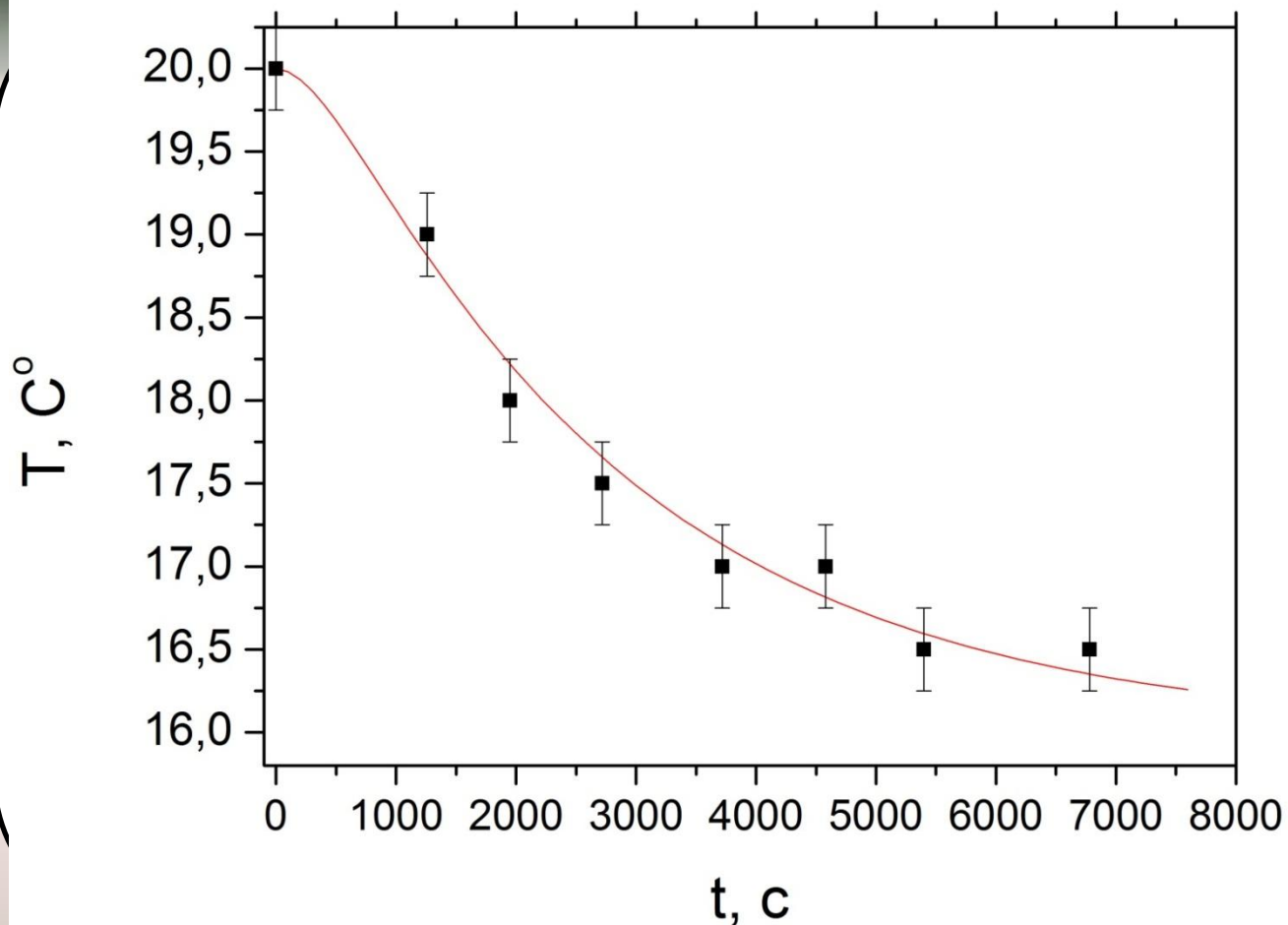
Установка

Эксперимент

Теория

Параметры

Сравнение



Качественное
объяснение

Установка

Эксперимент

Теория

Параметры

Параметры

1) Испарение со стенок сосуда

- Есть
- Нет

2) Пористое вещество

- Песок
- Мраморная крошка
- Ткань
- Губка

3) Жидкость

- Раствор спирта
- Вода

Качественное
объяснение

Установка

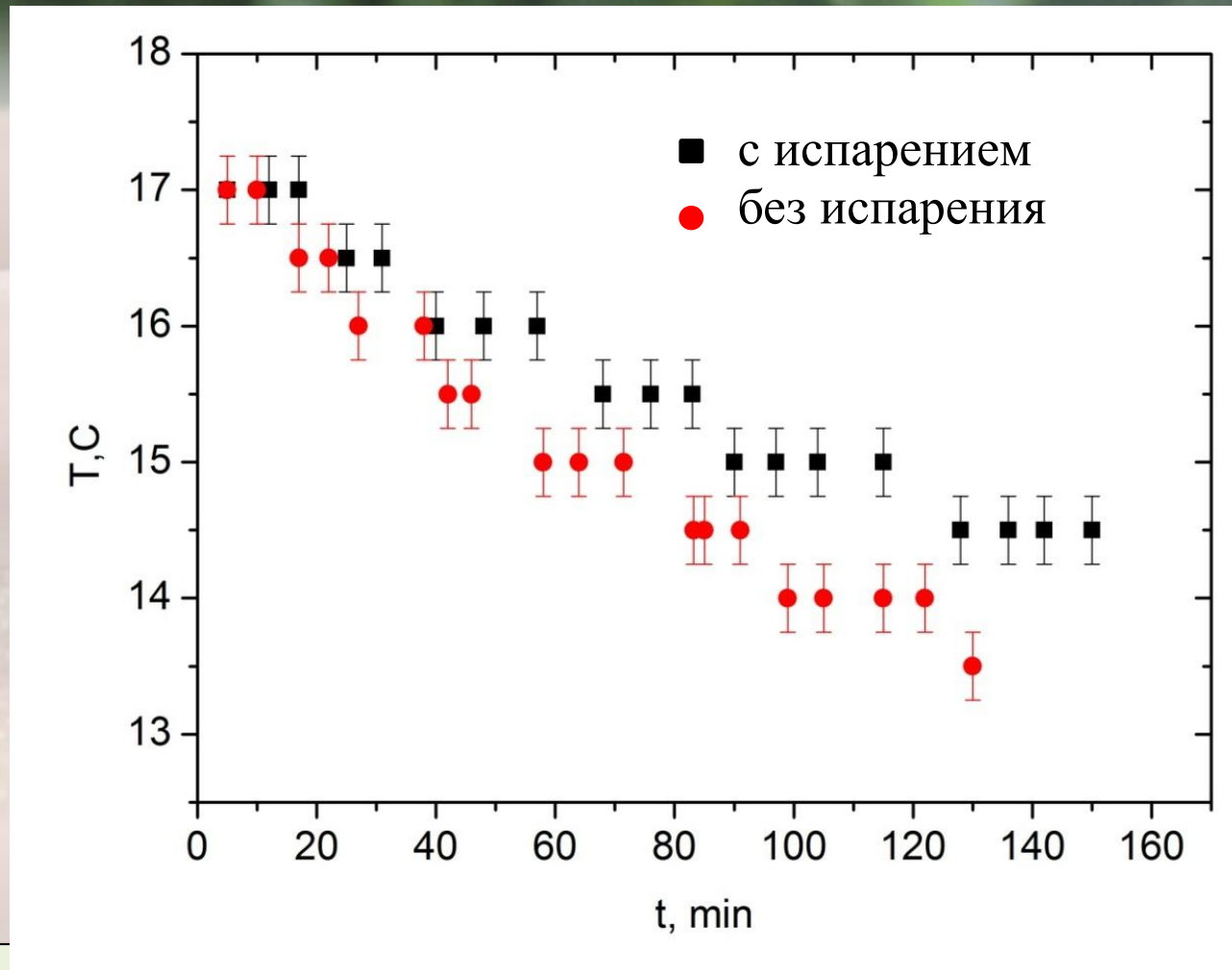
Эксперимент

Теория

Параметры

17

Проницаемость через стенки



Качественное
объяснение

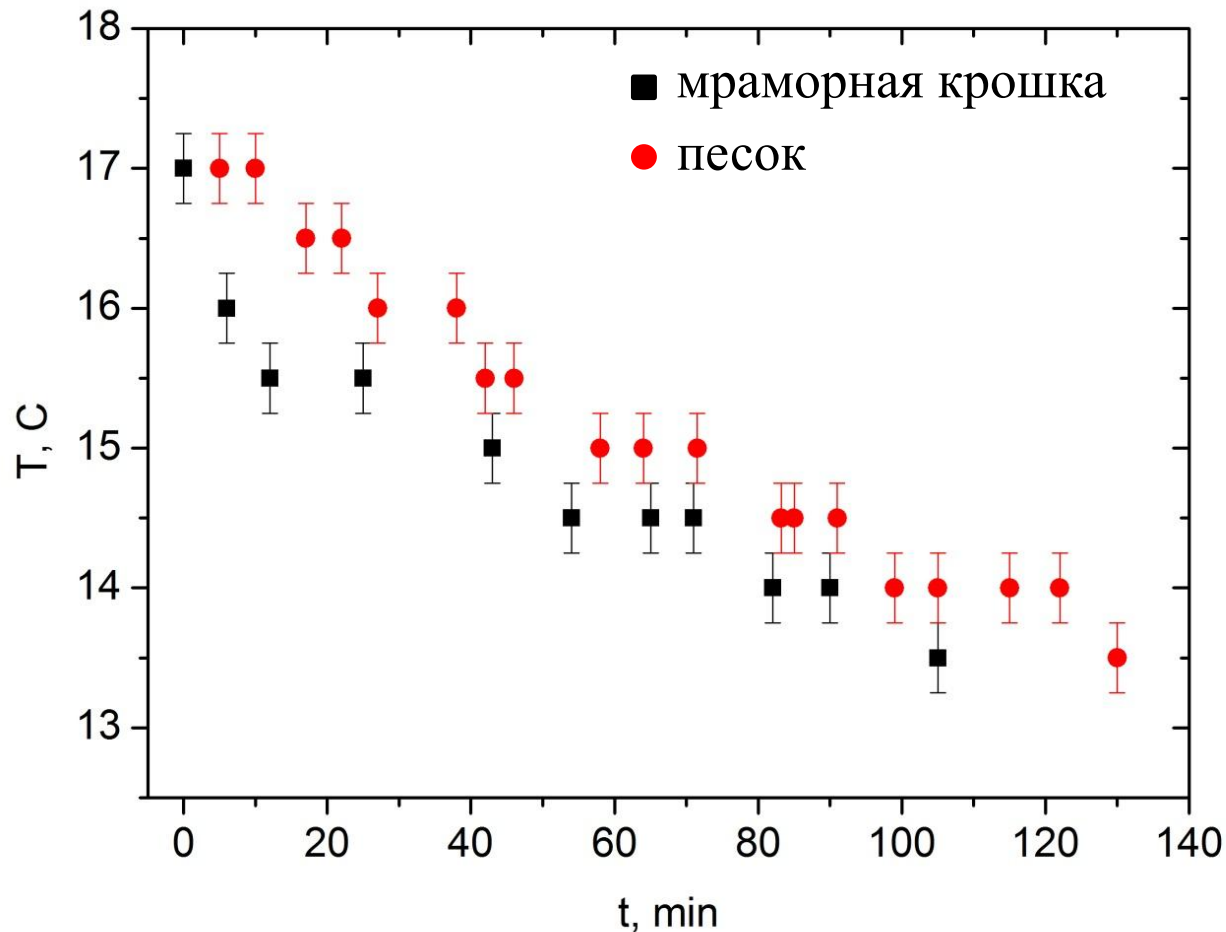
Установка

Эксперимент

Теория

Параметры

Мраморная крошка vs песок



k_{sand}
0,140 g/min

k_{crumb}
0,180 g/min

Качественное
объяснение

Установка

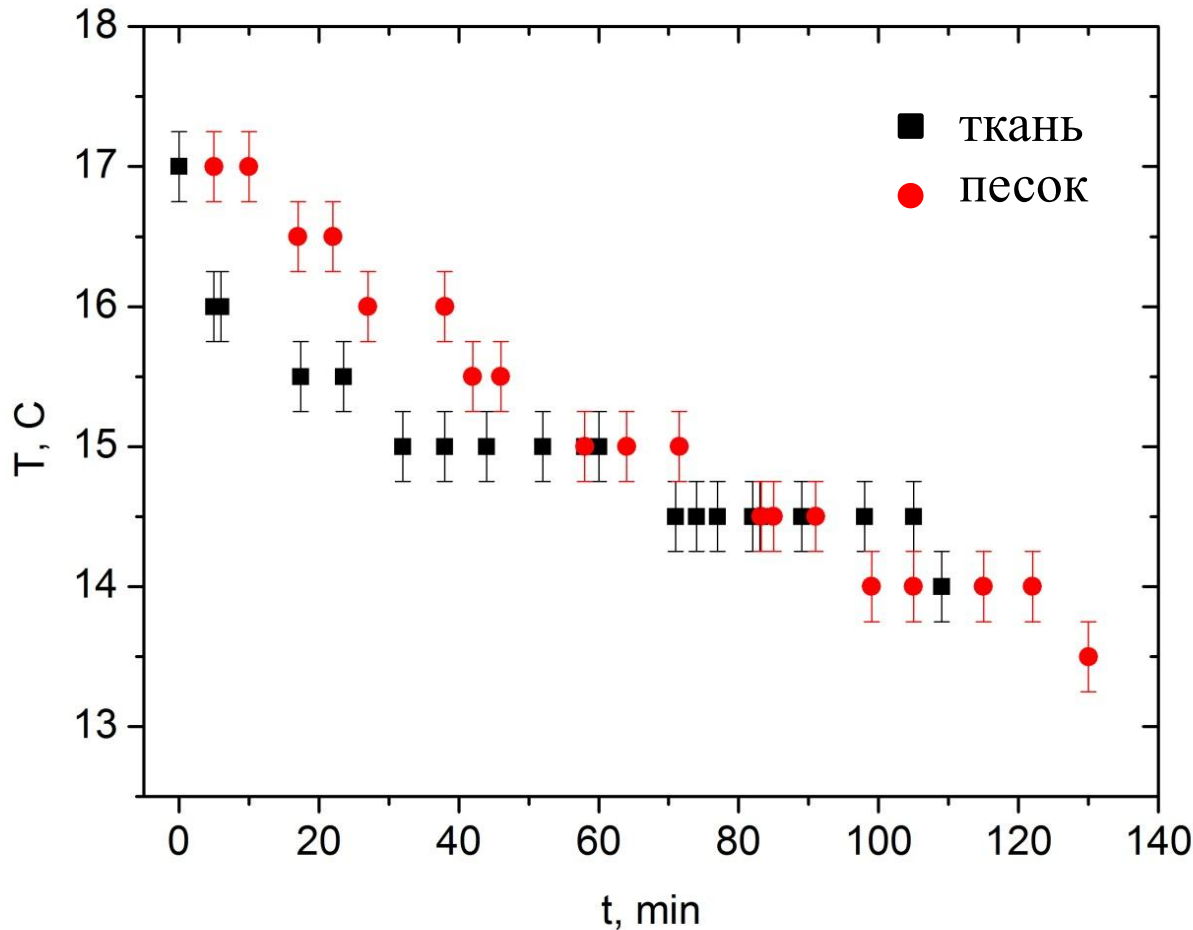
Эксперимент

Теория

Параметры

19

Ткань (хлопок) vs песок



$k > 0,140 \text{ g/min}$

$k < 0,140 \text{ g/min}$

Качественное объяснение

Установка

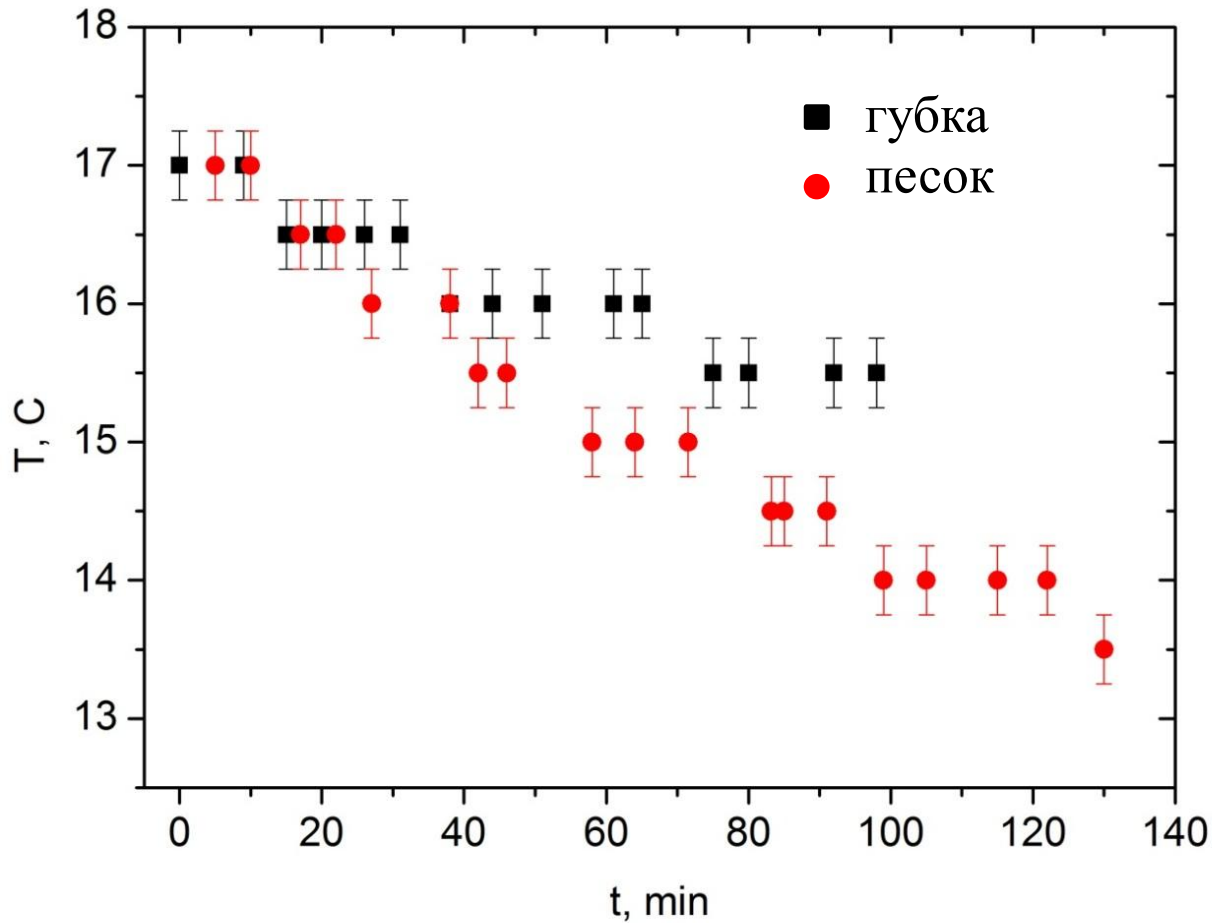
Эксперимент

Теория

Параметры

20

Губка vs песок



k_{rubber}
0,105 g/min

k_{sand}
0,140 g/min



Качественное
объяснение

Установка

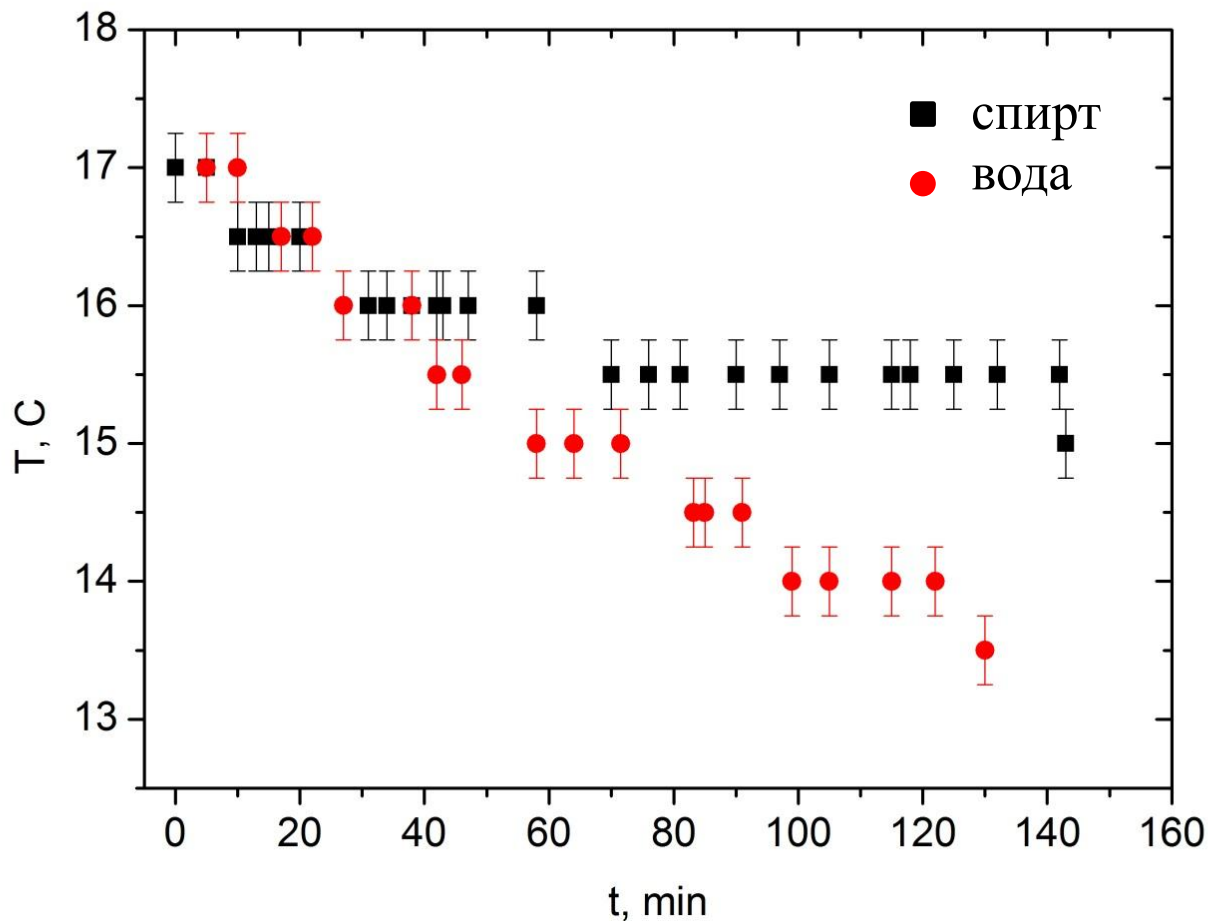
Эксперимент

Теория

Параметры

21

Раствор спирта($\approx 40\%$) vs вода



$k_{alcohol}$
190 g/min

Качественное
объяснение

Установка

Эксперимент

Теория

Параметры

22

Оптимальные параметры

1) Испарение со стенок

- Есть
- Нет

2) Пористое вещество

- Песок
- Мраморная крошка
- Ткань
- Губка

3) Жидкость

- Раствор спирта
- Вода

Качественное
объяснение

Установка

Эксперимент

Теория

Параметры

Выводы

- Основная причина эффекта – испарение воды с верхнего слоя песка
- Пористое вещество необходимо для поднятия воды в верхние слои песка в виду капиллярных эффектов.
- Пористость глиняных стенок горшков увеличивает количество испарившейся воды, в результате увеличивается охлаждающий эффект.

Выводы

- Для улучшения эффекта следует:
 - Максимизировать коэффициент испарения воды с песка и стенок горшков.
 - Минимизировать контакт внутреннего горшка с окружающей средой.
 - Максимизировать теплообмен между внутренним горшком и песком и минимизировать теплообмен между песком и окружающей средой.

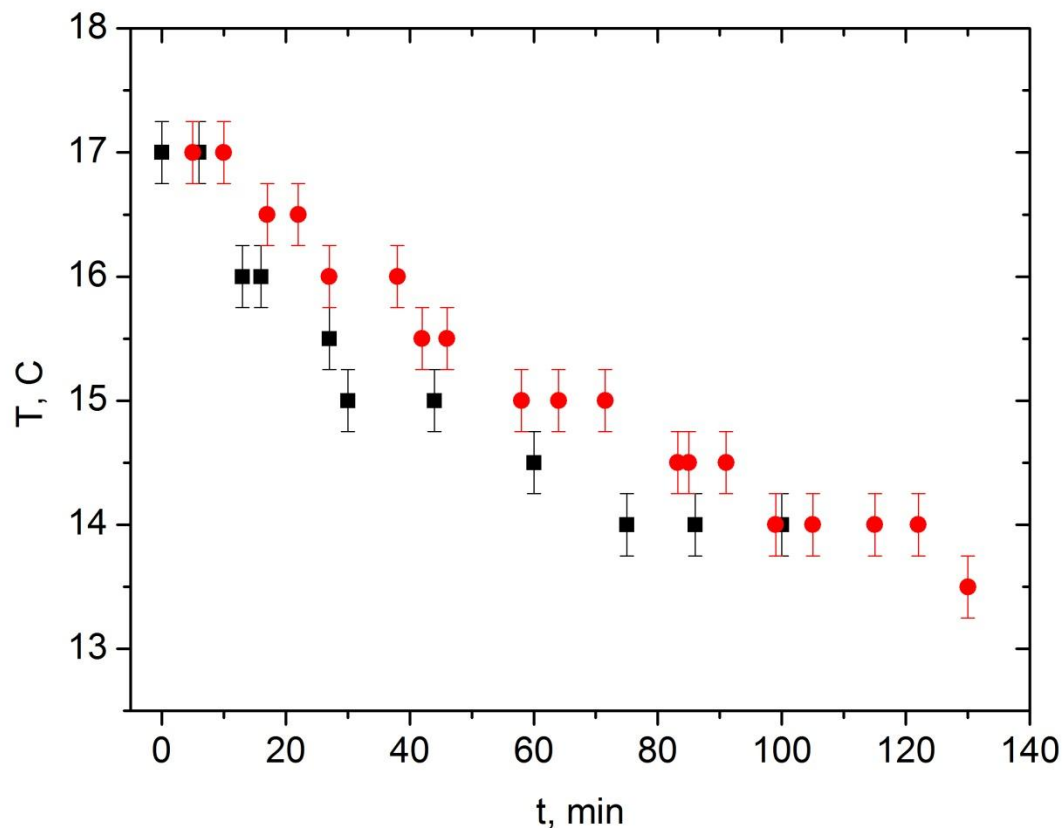
Спасибо за внимание!



Additional slides



Песок малой фракции (≈ 0.2 мм) vs обычный песок



$k = 0,150$ г/мин

Качественное
объяснение

Установка

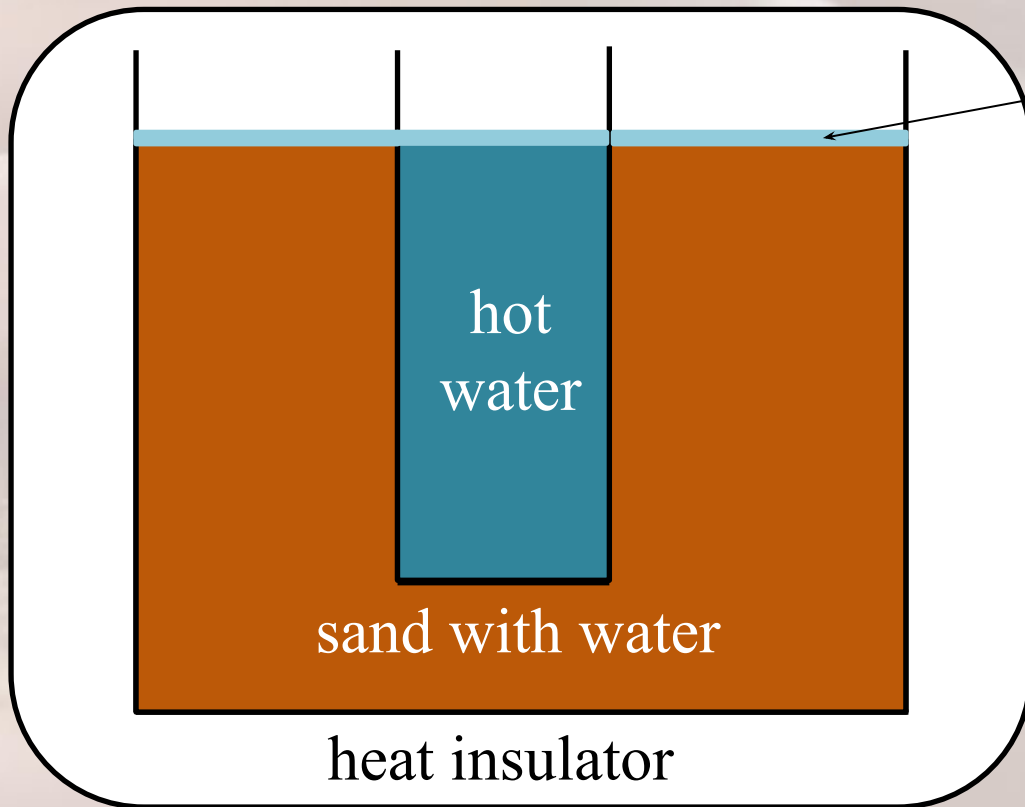
Эксперимент

Теория

Исследование
параметров

28

Heat exchange



plastic wrap

$$\Delta T \sim T_1 - T_2$$

*Qualitative
description*

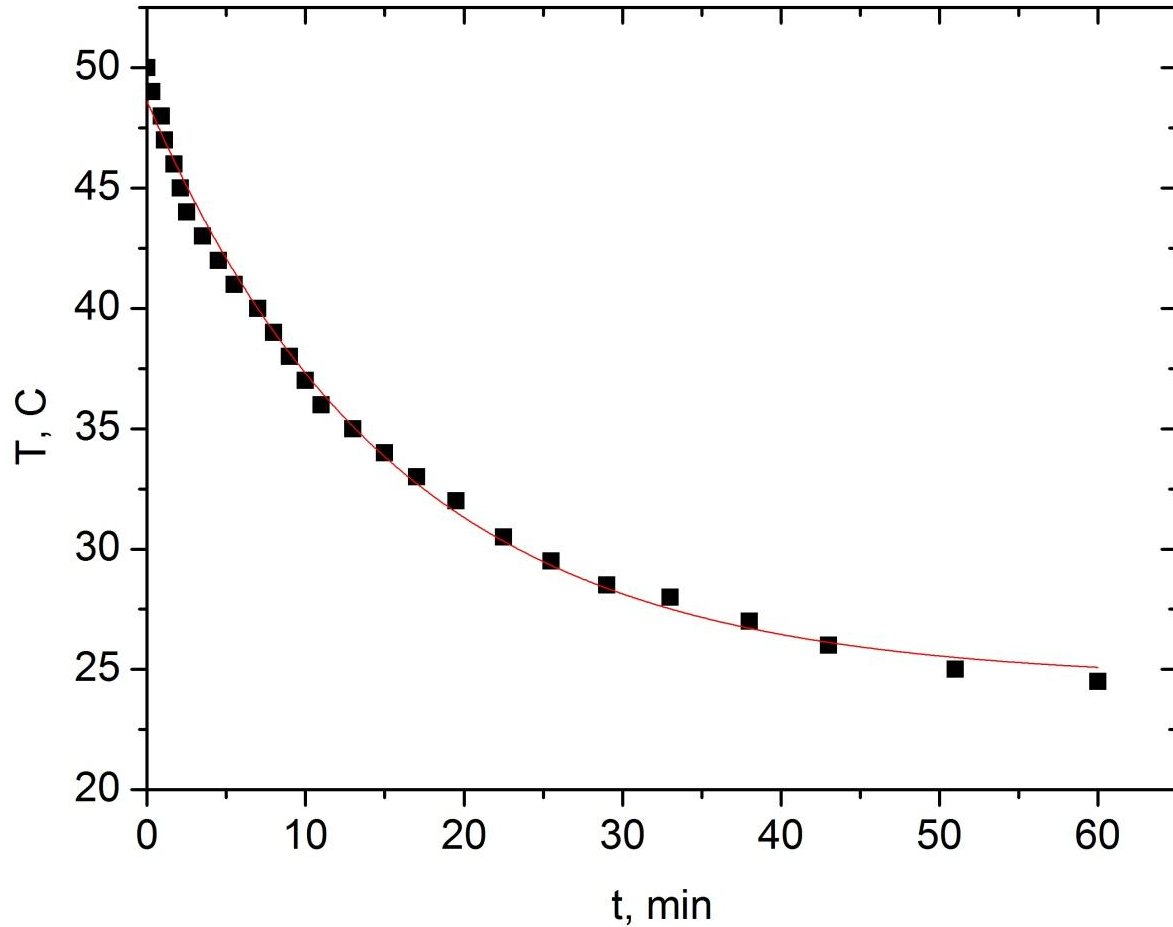
Set up

Experiment

Theory

Parameters

Inner vessel - sand



*Qualitative
description*

Set up

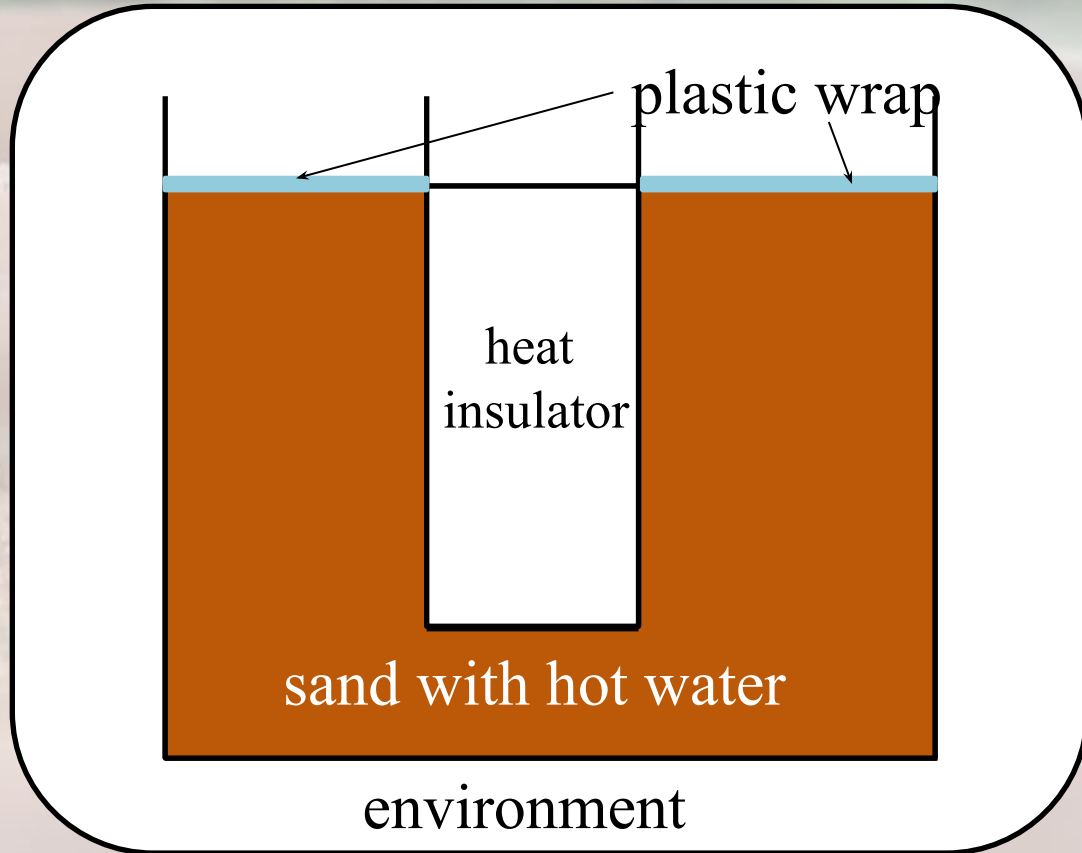
Experiment

Theory

Parameters

30

Heat exchange



*Qualitative
description*

Set up

Experiment

Theory

Parameters

MATHEMATICA!

$$\left\{ \left\{ T1[t] \rightarrow \frac{1}{2 \eta (-1 + \eta + \lambda) \sqrt{\eta^2 (C2^2 + C1^2 (\eta + \lambda)^2 - 2 C1 C2 (-2 + 3 \eta + 3 \lambda))}} \right. \right.$$

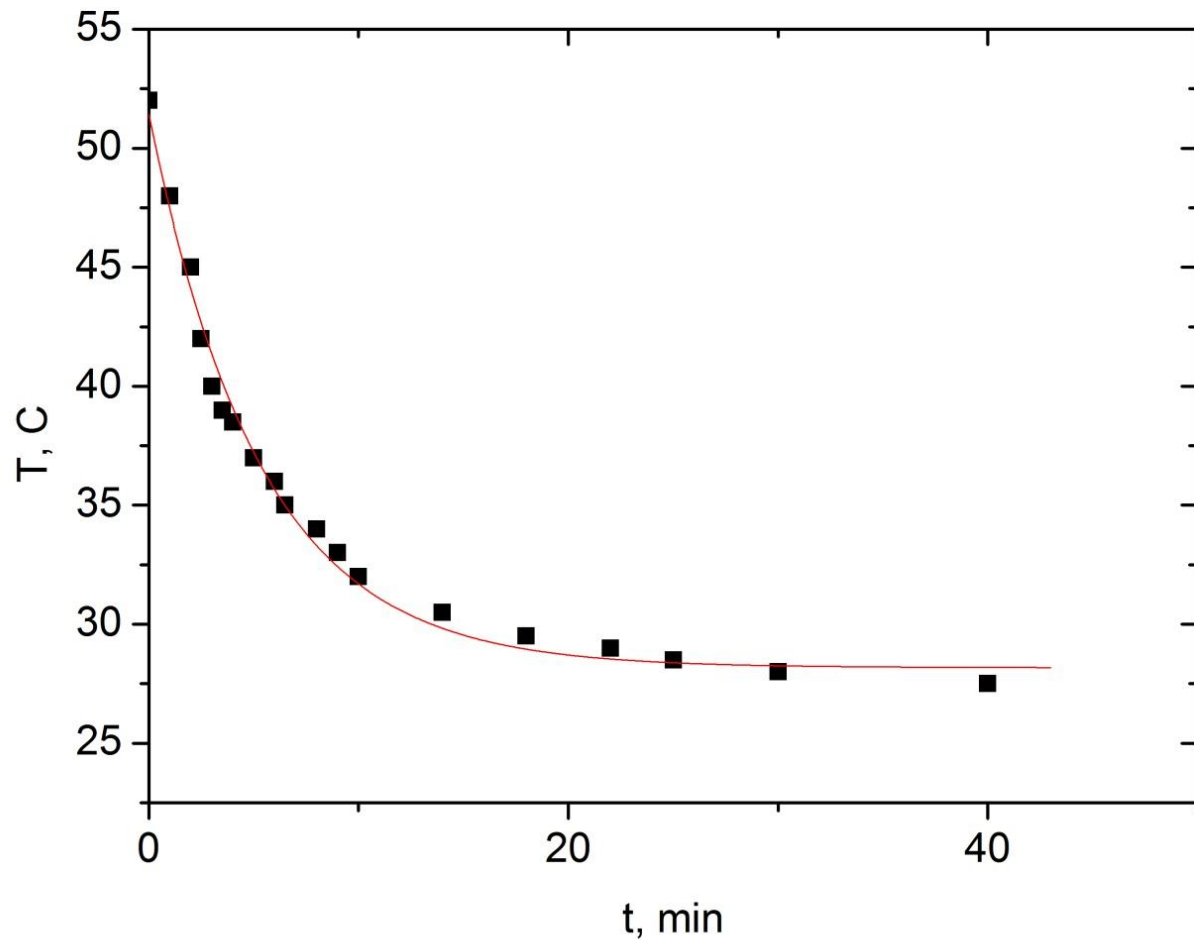
$$e^{-\frac{t \left(C1 \eta (\eta + \lambda) + \sqrt{\eta^2 (C2^2 + C1^2 (\eta + \lambda)^2 - 2 C1 C2 (-2 + 3 \eta + 3 \lambda))} \right)}{2 C1 C2}} \left(C1 e^{\frac{t \eta}{2 C1}} \left(-1 + e^{\frac{t \sqrt{\eta^2 (C2^2 + C1^2 (\eta + \lambda)^2 - 2 C1 C2 (-2 + 3 \eta + 3 \lambda))}}{C1 C2}} \right) \eta (\eta + \lambda) (k L + T k (\lambda + \eta (-1 + \eta + \lambda))) - \right.$$

$$C2 e^{\frac{t \eta}{2 C1}} \left(-1 + e^{\frac{t \sqrt{\eta^2 (C2^2 + C1^2 (\eta + \lambda)^2 - 2 C1 C2 (-2 + 3 \eta + 3 \lambda))}}{C1 C2}} \right) \eta (k L + T k (2 - \lambda + \eta (-5 + 3 \eta + 3 \lambda))) +$$

$$\sqrt{\eta^2 (C2^2 + C1^2 (\eta + \lambda)^2 - 2 C1 C2 (-2 + 3 \eta + 3 \lambda))} \left(-2 e^{\frac{t \left(C1 \eta (\eta + \lambda) + \sqrt{\eta^2 (C2^2 + C1^2 (\eta + \lambda)^2 - 2 C1 C2 (-2 + 3 \eta + 3 \lambda))} \right)}{2 C1 C2}} (k L + T k \lambda) + \right.$$

$$\left. \left. \left. e^{\frac{t \eta}{2 C1}} \left(1 + e^{\frac{t \sqrt{\eta^2 (C2^2 + C1^2 (\eta + \lambda)^2 - 2 C1 C2 (-2 + 3 \eta + 3 \lambda))}}{C1 C2}} \right) (k L + T k (\lambda + \eta (-1 + \eta + \lambda))) \right) \right) \right\}$$

Sand - environment



*Qualitative
description*

Set up

Experiment

Theory

Parameters

Main principle of refrigerator

Refrigerator is a device that supports a low temperature in a camera. In modern refrigerator refrigerating machine transfers heat from the working camera into the environment. In our installation role of refrigerating machine plays wet porous substance.