

Условие

Задача 10-1. Электронный термометр

В данной задаче Вам предстоит изучить работу электронного термометра.

Приборы и оборудование: мензурка (100 мл), термометр электронный, термометр спиртовой (100°C), секундомер с памятью 10-ти этапов, линейка, емкость для холодной и горячей воды – 2 шт., стаканчик пластмассовый для приготовления тёплой воды – 2шт, штатив с двумя лапками, салфетки – для удаления капель воды.

Внимание: Электронный термометр включается и выключается нажатием красной кнопки. При длительной работе термометр может сам выключиться. Повторное включение осуществляется нажатием красной кнопки. Если во время снятия показаний у Вас выключится термометр, не теряйтесь, а просто нажмите на красную кнопку.

Погрешности в данной задаче вычислять не требуется.*

Часть 1 Время нагрева и остывания.

При измерении температуры, к примеру воды, любым термометром его показания устанавливаются не мгновенно, а в течение некоторого промежутка времени.

Теплую воду Вы будете набирать в мензурку. На мензурке, отступив 2,0см от верхнего края, маркером поставьте риску (если такая риска ещё не поставлена или видна неотчётливо). Воду каждый раз набирайте до этого уровня. Воду в мензурку набирайте при температуре, не превышающей 50°C. Эту температуру определяйте с помощью спиртового термометра. (Имейте ввиду, что сразу после опускания термометра в воду, его показания изменяются очень быстро, на 10 – 12 °C за 8 – 10 с, поэтому работать Вам предстоит оперативно).

1.1 Измерьте зависимость показаний термометра от времени при измерении температуры тёплой воды $t_3(\tau)$. Постройте график полученной зависимости. Оцените время установления теплового равновесия между водой и термометром.

Помните, что перед проведением очередного эксперимента термометр должен самопроизвольно охладиться до околокомнатной температуры. На это требуется 3 – 4 минуты. Не наблюдайте в это время просто за термометром, используйте это время рационально.

Далее Вам необходимо исследовать, как зависят показания электронного термометра от времени при охлаждении термометра в воздухе до околокомнатной температуры $t_3(\tau)$ после извлечения его из тёплой воды.

Сразу после извлечения термометра из воды протирайте его стержень салфеткой. (Необходимо удалить всю влагу со стержня термометра, чтобы испарение капель воды не влияло на показания термометра). Показания термометра прекращайте определять, когда они будут оставаться выше комнатной температуры на 1,0 – 1,5 °C.

1.2 Измерьте зависимость показаний термометра от времени при измерении температуры воздуха $t_3(\tau)$. Постройте график полученной зависимости. Оцените время установления теплового равновесия между воздухом и термометром.

1.3 Используя полученные в п.1.2 данные определите интервал температур, в которых мощность теплоотдачи электронного термометра при охлаждении прямо пропорциональна разности его показаний и температуры окружающей среды.

Часть 2. Глубина погружения.

С помощью второй лапки штатива вблизи электронного термометра закрепите спиртовой термометр. Закрепите так, чтобы Вы могли видеть шкалу этого термометра в диапазоне 30 - 50°C. Термометры должны располагаться так, чтобы они вместе помещались в мензурку. Термометры должны находиться на одной глубине.

2.1. Исследуйте зависимость разности окончательных показаний электронного и спиртового термометров при измерении температуры тёплой воды от глубины погружения электронного термометра. Измерения проведите при двух различных значениях температуры воды. Постройте графики полученных зависимостей $\Delta t(h)$. Дайте качественное объяснение полученных результатов.

Выводы.

3.1 Основываясь на результатах проведённых Вами исследований, дайте две основных рекомендации по пользованию электронным термометром.

Решение

Задача 10-1. Электронный термометр

1.1. Зависимость показаний электронного термометра от времени при нагреве. Глубина погружения термометра в воду $h = 11\text{ см}$.

$\tau, \text{ с}$	$t_{\text{эл}}, ^\circ\text{C}$
0	23,7
4,87	31,7
8,83	36,8
12,1	39,6
17,4	41,4
20,8	42,3
26,5	43,0
33,8	43,5

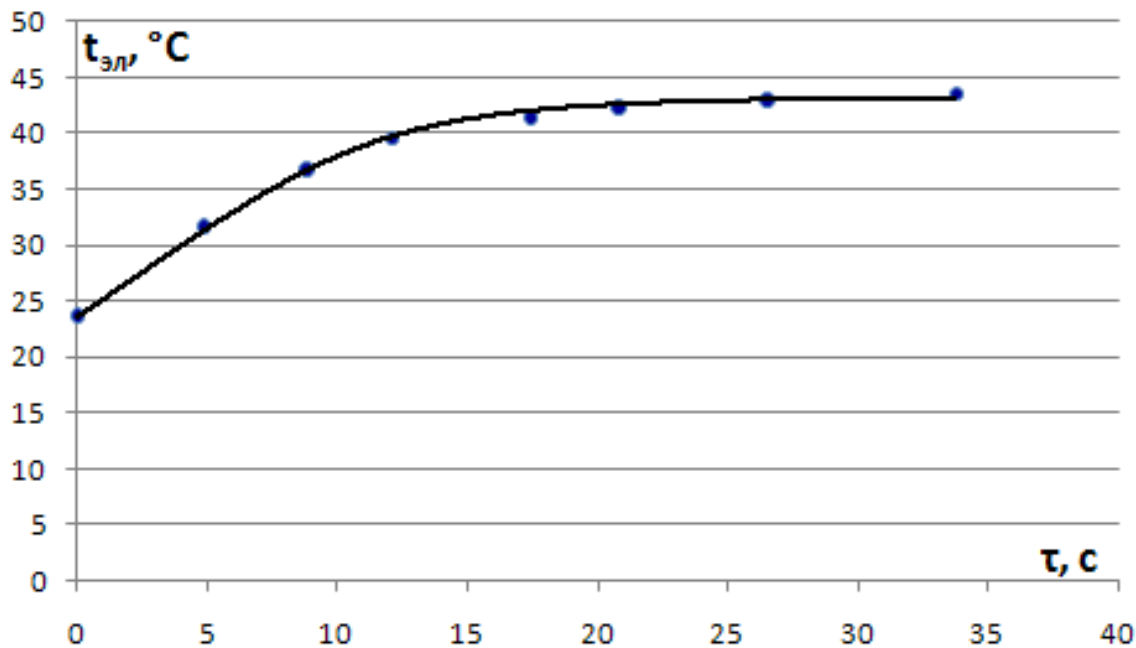


График зависимости показания электронного термометра от времени при измерении температуры тёплой воды $t_{\text{э}}(\tau)$.

1.2. Зависимость показаний электронного термометра от времени при охлаждении термометра в воздухе до околокомнатной температуры $t_{\text{э}}(\tau)$.

$\tau, \text{с}$	$t_{\text{эл}}, ^\circ\text{C}$
0	41,6
11,8	34,1
16,8	32,2
22,5	30,8
27,7	30,0
34,3	29,1
46,3	27,9
62,5	26,8
83,7	25,6
113	24,6
157	23,8

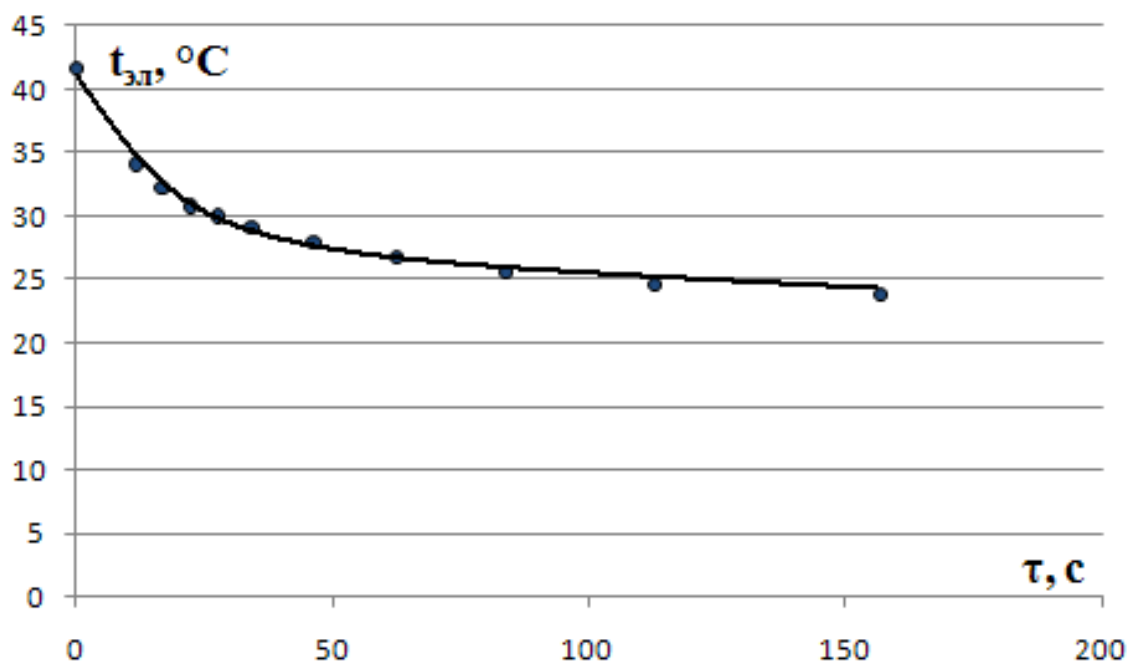


График зависимости показаний электронного термометра от времени при охлаждении термометра в воздухе до околокомнатной температуры $t_{\text{э}}(\tau)$.

1.3. Мощность теплоотдачи термометра с одной стороны можно определить

$$P = -\frac{Q_{21}}{\Delta\tau_{21}} = -\frac{C\Delta t_{21}}{\Delta\tau_{21}}$$

$$P = -\frac{Q_{21}}{\Delta\tau_{21}} = -\frac{C\Delta t_{21}}{\Delta\tau_{21}} \quad (1)$$

Где Q_{21} – количество теплоты, отдаваемое электронным термометром за промежуток времени между двумя «соседними» показаниями, C – теплоёмкость термометра, Δt_{21} – разность двух «соседних» показаний термометра,

$\Delta\tau_{21} = \tau_2 - \tau_1$ – промежуток времени между двумя «соседними» показаниями термометра.

С другой стороны при охлаждении тела мощность теплоотдачи прямо пропорциональна разности температур тела и окружающей среды $\Delta t_{\text{т/ср}}$

$$P = -\beta \Delta t_{\text{т/ср}}. \quad (2)$$

Где β – коэффициент теплоотдачи.

Приравнивая правые части (1) и (2) получим:

$$\frac{\Delta t_{21}}{\Delta \tau_{21}} = \frac{\beta}{C} \Delta t$$

$$\frac{\Delta t_{21}}{\Delta \tau_{21}} = \frac{\beta}{C} \Delta t_{\text{т/ср}}. \quad (3)$$

То есть $\frac{\Delta t_{21}}{\Delta \tau_{21}}$ прямо пропорциональна $\Delta t_{\text{т/ср}}$.

$$\frac{\Delta t_{21}}{\Delta \tau_{21}} (\Delta t_{\text{т/ср}})$$

Построив график зависимости $\frac{\Delta t_{21}}{\Delta \tau_{21}} (\Delta t_{\text{т/ср}})$, определим интервалы температур, в которых мощность теплоотдачи электронного термометра при охлаждении пропорциональна разности показаний электронного термометра и температуры окружающей среды.

Разность температур термометра и окружающего воздуха определим как

$$\Delta t_{\text{т/ср}} = \frac{t_2 + t_1}{2} - t_{\text{ср}}$$

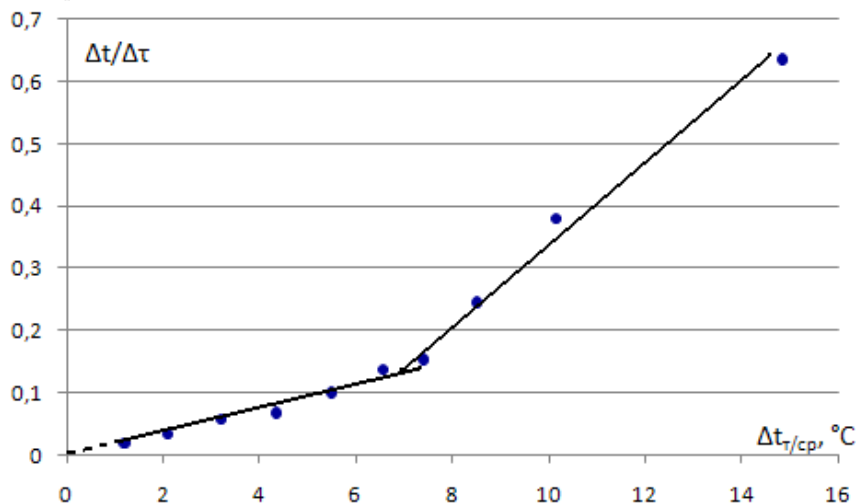
$$\Delta t_{\text{т/ср}} = \frac{t_2 + t_1}{2} - t_{\text{ср}}. \quad (4)$$

Отношение $\frac{\Delta t_{21}}{\Delta \tau_{21}}$ определим

$$\frac{\Delta t_{21}}{\Delta \tau_{21}} = \frac{t_1 - t_2}{\tau_2 - \tau_1}$$

$$\frac{\Delta t_{21}}{\Delta \tau_{21}} = \frac{t_1 - t_2}{\tau_2 - \tau_1}. \quad (5)$$

Перед экспериментом термометр был погружен в теплую воду на $h = 7,5$ см и на нём установились показания $41,6^\circ\text{C}$. Температура окружающего воздуха во время эксперимента $t_{\text{ср}} = 23,0^\circ\text{C}$.

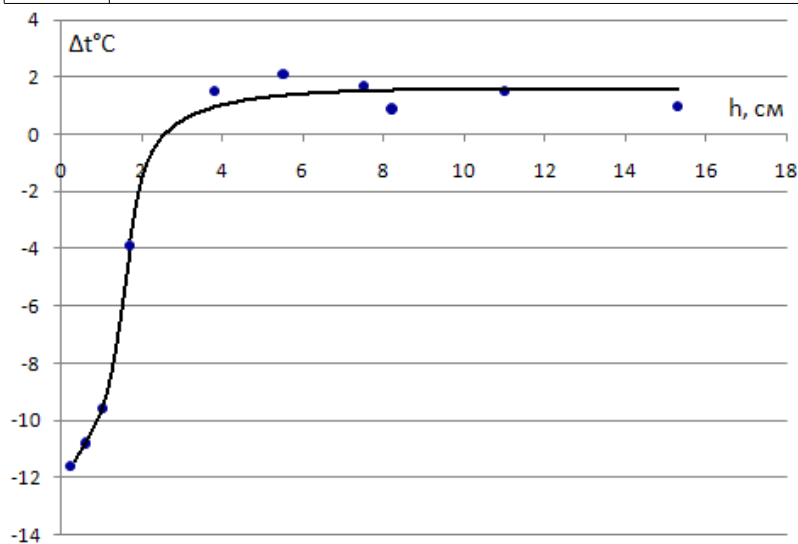


$\tau, \text{с}$	$t_{\text{эл}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_{\text{т/сп}}, ^\circ\text{C}$	$\frac{\Delta t_{21}}{\Delta \tau_{21}}$
0	41,6		
11,8	34,1	14,9	0,636
16,8	32,2	10,2	0,380
22,5	30,8	8,5	0,246
27,7	30,0	7,4	0,154
34,3	29,1	6,6	0,136
46,3	27,9	5,5	0,100
62,5	26,8	4,4	0,068
83,7	25,6	3,2	0,057
113	24,6	2,1	0,034
157	23,8	1,2	0,018

Данный график имеет излом в области разности показаний термометра и температуры окружающего воздуха $6 - 8 ^\circ\text{C}$. Это свидетельствует о том, что коэффициент теплоотдачи термометра не остаётся постоянным в процессе его охлаждения. Прямая пропорциональность мощности теплоотдачи электронного термометра разности его показаний и температуры окружающей среды наблюдается лишь при $\Delta t_{\text{т/сп}} = 0 \div 8, ^\circ\text{C}$.

2.1. Исследование зависимости разности окончательных показаний электронного и спиртового термометров при измерении температуры тёплой воды от глубины погружения электронного термометра.

$t, \text{эл}, ^\circ\text{C}$	$t, \text{сп}, ^\circ\text{C}$ на одном сп, $^\circ\text{C}$ h, $\Delta t, ^\circ\text{C}$ $^\circ\text{C}$ уровне с электронным термометром	$t, \text{сп}, ^\circ\text{C}$ в центре жидкости	$h, \text{см}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$
45,0	44,0	44,0	15,3	1,0
43,5	42,0	42,0	11	1,5
43,9	43,0	43,0	8,2	0,9
43,2	41,5	41,5	7,5	1,7
45,1	43,0	43,0	5,5	2,1
44,5	43,0	43,0	3,8	1,5
39,6	43,5	43,5	1,7	-3,9
32,4	42,0	42,0	1,0	-9,6
31,7	42,5	43,5	0,6	-10,8
29,4	41,0	43,0	0,2	-11,6



При погружении термометров жидкость на глубину более 4 см электронный термометр показывает значения температуры на $1 - 2, ^\circ\text{C}$ больше чем спиртовой термометр. При погружении «носика» термометра в верхний слой жидкости и электронный и спиртовой термометры показывают значения температуры меньше чем в центре жидкости, однако у электронного тер-

мометра эти различия гораздо существеннее и наблюдаются в значительно большей толщине верхнего слоя.

3.1. При использовании электронного термометра необходимо принимать во внимание следующее: - при измерении температуры жидкости термометр должен погружаться на глубину не менее 4 см, - время ожидания для установления показаний термометра должно составлять порядка 50 с.