

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО, МЛАДЕЖТА И НАУКАТА
Олимпиада по физика, Национален кръг, Плевен, 1 май 2010 г.

Експериментална задача. Примерно решение.

■ **Теория**

◆ Термисторът (термосъпротивление, терморезистор) е полупроводниково съпротивление, чиято големина се изменя в зависимост от температурата. Теоретичната зависимост на съпротивлението на термистор от температурата е

$$R(T) = Ae^{B/T} = Ae^{\frac{E_a}{2kT}} \quad (1)$$

където A и B са характерни константи, T е абсолютната температура, k е константата на Болцман, а E_a - характерна за материала енергия (активационна енергия).

Количествена характеристика на чувствителността на термистора към изменението на температурата е температурният коефициент на съпротивление

$$\alpha_t = \frac{1}{R} \frac{\Delta R}{\Delta T} = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} \quad (2)$$

където $\Delta R/R$ е относителното изменение на съпротивлението при (малка) промяна на температурата ΔT . От (1) и (2) следва

$$\alpha_t = -\frac{B}{T^2} \quad (3)$$

◆ Разтварянето на твърдо вещество в разтворител може да е ендотермичен или екзотермичен процес в зависимост от изменението на вътрешната енергия на системата при този процес. Специфичната топлина на разтваряне на дадено вещество е количеството топлина, което се поглъща или отделя при разтваряне на единица маса, а моларната топлина на разтваряне - количеството топлина, което се поглъща или отделя при разтваряне на 1 мол.

■ **Уреди и материали**

- | | |
|--|---------|
| • Калориметър | – 1 бр. |
| • Термометър | – 1 бр. |
| • Мерителен цилиндър | – 1 бр. |
| • Бехерова чаша | – 1 бр. |
| • Бъркалка | – 1 бр. |
| • Терморезистор | – 1 бр. |
| • Регулируемо захранване | – 1 бр. |
| • Мултицет | – 2 бр. |
| • Проводници | – 2 бр. |
| • Съд за отпадъци | – 1 бр. |
| • Шишенце с 5.00 g амониев нитрат NH_4NO_3 | – 4 бр. |
| • Предпазни очила | – 1 бр. |
| • Милиметрова хартия | – 1 бр. |
| • Вода (1.5 l) | – 1 бр. |
| • Таблица на Менделеев | – 1 бр. |

■ **Справочни данни**

◆ Константа на Болцман: $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ◆ Заряд на електрона: $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ ◆ Число на Авогадро: $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ◆ Атомна единица за маса: $1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ◆ Специфичен топлинен капацитет на водата: $c = 4190 \text{ J/kg.K}$ ◆ Топлинен капацитет на калориметъра: $C_c = 37 \text{ J/K}$.

■ Указания

♦ При използване на термистора в зад. 1 фиксирайте термистора в калориметъра с помощта на гумената тапа много внимателно, както е показано на фигурата отдясно. ♦ Използвайте внимателно бъркалката на калориметъра (нагоре-надолу), като внимавате да не закачите нагревателите. ♦ Изключвайте приборите, които не използвате в момента. ♦ Считайте специфичния топлинен капацитет на разтвор амониев нитрат за същият като този на водата.



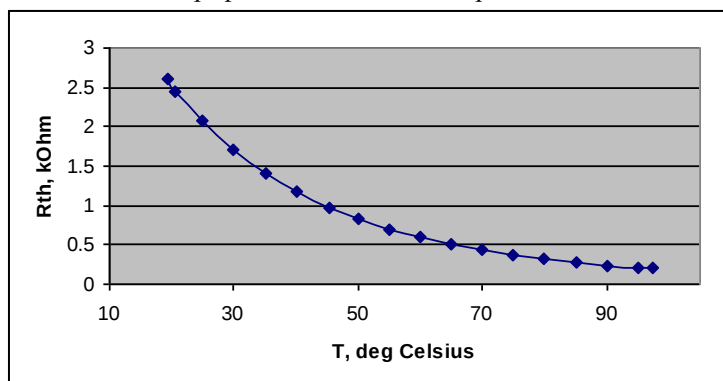
♦ При провеждане на експериментите използвайте предпазните очила. ♦ Не включвайте нагревателите, ако не са потопени във вода.

■ Задачи

1. Определете температурната зависимост на съпротивлението на термистор в достатъчно широк температурен интервал (**крайна температура не повече от 60°C**) **[13 т.]**

1.1. Планирайте предварително този експеримент, за да имате разумно време на провеждане му и добра точност. За целта подберете подходящ нагревател на калориметъра (**напрежение 12V, максимално допустим ток 1.0 A**), количество вода, разположение на термистора и термометъра и т.н. Предварително оценете времето, необходимо за измерване в определения от Вас температурен интервал. Опишете кратко, но достатъчно пълно начина, по който сте извършили измерването, различните параметри (съпротивление на нагревателя, количество вода и т.н.), мерките които сте взели за постигане на добра точност. **[1 т.]**

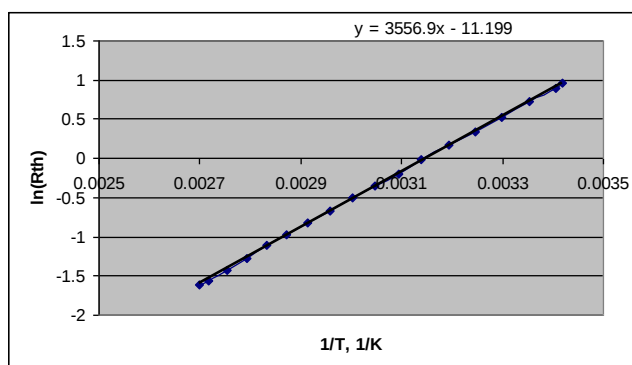
1.2. Представете данните таблично и графично **[1 т.]** Оценете грешките на единичното измерване. **[0.5 т.]**



Абсолютна грешка в T: $\Delta T = \pm 0.5 \text{ K}$; Абсолютна грешка в R: $\Delta R = \pm 0.005 \text{ k}\Omega$;

1.3. Представете данните в подходящи променливи, така че зависимостта между тях да е права линия. **[2 т.]**

$$R(T) = Ae^{B/T} = Ae^{\frac{E_a}{2kT}} \Rightarrow \ln(R) = \ln(A) + B/T \Rightarrow y = a + bx$$



2. Използвайки данните от т. 1:

2.1. Определете константите A и B от формула (1) **[4 т.]**. Оценете грешките **[0.5 т.]**.

$$\ln(A) = a \Rightarrow A = e^a; \quad B = b$$

$a = -11.2 \pm 0.1$ (ако R е в kΩ); $A = (0.014 \pm 0.001) \Omega$; $B = 3600 \pm 200 \text{ K}$ (~5%)

$$\ln(R) = \ln(A) + B/T \Rightarrow B/T = \ln(R) - \ln(A) \Rightarrow$$

$$T = B/(\ln(R) - a)$$

2.2. Определете активационната енергия E_a (в eV) [1 т.] и оценете абсолютната и относителна грешка на резултата [0.5 т.].

$$B = E_a / 2k \Rightarrow E_a = 2kB$$

$$E_a = 2 \times 1.38 \times 10^{-23} \text{ (J/K)} \times 3600 \text{ (K)} = 9 \times 10^{-23} \text{ J} = 9.2 \times 10^{-20} \text{ J} = 9.9 \times 10^{-20} \text{ J} / 1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV} = (0.62 \pm 0.03) \text{ eV} (\sim 5\%)$$

2.3. Определете температурният коефициент на съпротивлението на термистора при 20°C [2 т.]. Оценете грешката [0.5 т.].

$$\alpha_t = -\frac{B}{T^2}$$

$$\alpha_t = -3600/(20+273.15)^2 = -3600/85936 = -(0.042 \pm 0.004) \text{ 1/K} (\sim 2 \times 5\%);$$

3. Изследвайте процеса на разтваряне на амониев нитрат (NH_4NO_3) във вода. За измерване на температурата оттук нататък **използвайте само термистора** и резултатите от т. 1 и 2. [7 т.]

3.1. Направете предварителен експеримент за да оцените типа на процеса, порядъка на измерваните величини и да планирате оптимално (напр. количеството вода, оптимална начална температура и т.н.) по-прецизен експеримент. Опишете кратко наблюденията и изводите си и посочете типа на процеса (ендо- или екзотермичен) [0.5 т.]

3.2. Направете по-прецизен експеримент за определяне на топлината на разтваряне на амониев нитрат във вода. Опишете кратко, но достатъчно пълно така планирания и проведен експеримент. Определете топлината на разтваряне [4 т.] за използваното количество амониев нитрат и разтворител (посочете ги).

3.3. Определете специфичната топлина на разтваряне на амониев нитрат (NH_4NO_3) във вода. Представете резултата в единици kJ/kg [1 т.] и kJ/mol [1 т.]. Оценете съответните грешки [0.5 т.].

$$Q = [c(m_w + m_s) + C_c] \Delta T \Rightarrow q_s = Q/m_s; \quad q_M = Mq_s$$

m, NH_4NO_3 , g	R, k Ω	t, °C	ΔT , K	conc, wt%	c, kJ/kg/K	E, J/g	E, kJ/mol
0	2,59	19,60	0,00	0,00	4,19		
5	2,96	16,42	-3,18	4,76	4,19	322,79	25,84
10	3,35	13,53	-6,07	9,09	4,19	320,61	25,66

Табл. данни: $q_M = (25.7 \pm 0.1) \text{ kJ/mol}$; $q_s = (321 \pm 1) \text{ kJ/kg}$. Тук: 5-10% грешка - приемливо

амониев нитрат (NH_4NO_3)

- Solubility in water, g/100 ml at 20°C: 150-190
- Molecular mass: ($2 \times \text{N}(14.0067) + 4 \times \text{H}(1.0079) + 3 \times \text{O}(15.9994) = 80.04$)