

ПРОТОКОЛ VIII

МОЛЕКУЛНА ФИЗИКА

Измерване на специфична
топлина на изпарение на
течност и специфична топлина
на топене на лед

Лабораторно упражнение №3.14

Виолета Кабаджова,
ККТФ, фак. номер: ЗРН0600026

Физически Факултет,
Софийски Университет "Св. Климент Охридски"
02 юни 2023 г.

1 Теоритична част

За изолирана термодинамична система, можем да запишем така нареченото уравнение на топлинния баланс (ур. 1) - отдадената от по-топлите тела количество топлина Q_j е равно на приетото количество Q_i от по-студените тела. Тъй като за изохорен процес може да се запише уравнение 2, където c_V - специфичен топлинен капацитет на идеален газ, M - масата му, $\Delta T = T_{KP} - T_H$ - разликата между крайната и началната температура, и за твърди тела и течности поради малка промяна на обемите им с температурата, може да се приеме $c_V \equiv c$ и ур. 1 да се запише във вида 3.

$$\sum_{j=1}^m Q_j = \sum_{i=1}^m Q_i \quad (1)$$

$$Q = \Delta U = c_V M \Delta T = c_V M (T_{KP} - T_H) \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m c_j M_j (T_j - \theta) = \sum_{i=1}^m c_i M_i (\theta - T_i) \quad (3)$$

При протичане на фазов преход в системата, то обмененото количество топлина за неговото осъществяване също трябва да бъде взето в предвид в уравнението на топлинния баланс, като за фазов преход изпарение (кондензация) то е $Q = \lambda M$, а за фазов преход топене (втвърдяване, кристализация) е $Q = r M$, където λ , r са съответно специфични топлини на изпарение и топене, $[\lambda] = \text{J/kg}$, $[r] = \text{J/kg}$.

При постъпването на водна пара в топлинно изолиран от околната среда съд с вода, най-напред парата се втечнява (настъпва фазов преход от I род), при което се отделя количество топлина $Q_1 = \lambda M_{steam}$, където M_{steam} е масата на парите. След това втечнената пара се охлажда до крайна до този момент в съда температура T_{KP} . В следствие на това в съда се отделя количество топлина $Q_2 = c_B M_{steam} (T_K - T_{KP})$. Получените количества топлина Q_1 и Q_2 нагряват съда от начална температура T_H до крайна температура T_{KP} . Съответните количества топлина, погълнати от водата и съда са $Q_3 = C_C (T_{KP} - T_H)$ и $Q_4 = c_B M_B (T_{KP} - T_H)$. Тогава уравнението на топлинния баланс придобива вида $Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$ или вида на уравнение 4 и оттам изразяваме във вида на уравнение 5, където M_{steam} е масата на парите в изследвания съд, c_B , M_B са специфичния

топлинен капацитет и масата на водата, T_H , T_{KP} , T_K са съответно начална, крайна температура и температура на кипене на водата, C_C - топлинен капацитет на дюаровия съд.

$$M_{steam} + c_B M_{steam} (T_K - T_{KP}) = C_C (T_{KP} - T_H) + c_B M_B (T_{KP} - T_H) \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{1}{M_{steam}} [(T_H - T_{KP})(C_C + c_B M_B) - c_B M_B (T_K - T_{KP})] \quad (5)$$

По подобни на горните разсъждения може да се достигне и до формулата за намиране на специфичен топлина на топене (ур. 6) при слагането на кубчета лед в топлинно изолиран съд. Във формула 6 M_{ice} е масата на леда, c_B , M_B са специфичния топлинен капацитет и масата на водата, T_H , T_{KP} , T_T са съответно начална, крайна температура и температура на топене на леда, C_C - топлинен капацитет на дюаровия съд.

$$r = \frac{1}{M_{ice}} [(T_H - T_{KP})(C_C + c_B M_B) - c_B M_{ice} (T_{KP} - T_T)] \quad (6)$$

2 Експериментална част

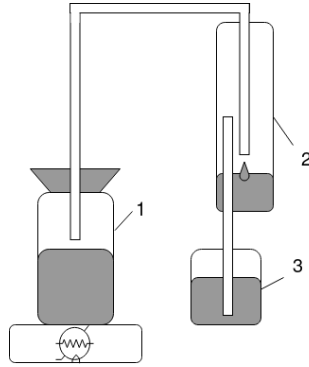
2.1 Експериментална установка

В таблица 1 са дадени стойностите на константите, използвани по-долу в пресмятанията.

2.2 Задача: Измерване на специфична топлина r на топене на лед

Слагаме няколко кубчета лед във вода с начална температура $T_H = 20.9$ °C и маса $M_B = 150$ ml = 0.15 kg и разбъркваме добре до пълното разтопяване на леда при температура $T_K = 7.6$ °C. Масата на леда определяме от разликата на крайната маса (с разтопения лед) и началната (със сложения във водата неразтопен лед): $M_{ice} = 0.1 \cdot 10^{-3}$ kg. Смятаме специфичната топлина на топене по формула 6.

Температурата на топене на леда T_T се взима таблично за съответното налягане. В нашия случай (стандартни условия с налягане $p = 101.3$



Фигура 1: Схема на опитна постановка при измерване на специфичната топлина на изпарение на вода: 1 - парогенератор (вода в съд върху нагревател), 2 - дефлегматор, 3 - течност, нагриваща се от парите в дефлегматора.

kPa), тя е $T_T = 0^\circ\text{C}$. Прилагайки формула 6, получаваме $r = (282.9 \pm 0.8) \cdot 10^3 \text{ J/kg}$. Грешката пресмятаме по формула 7.

$$\Delta r = r \left[\frac{\Delta T_H}{T_H} + \frac{\Delta T_{KP}}{T_{KP}} + \frac{\Delta T_K}{T_K} + \frac{\Delta M_B}{M_V} + \frac{\Delta M_{ice}}{M_{ice}} + \frac{\Delta c_B}{c_B} + \frac{\Delta C_C}{C_C} \right] \quad (7)$$

2.3 Задача: Определяне на специфична топлина λ на изпарение на водата

В дюаровия съд отново се налива дестилирана вода, като се записва нейната начална температура $T_H = 19.8^\circ\text{C}$ след като е достигнала термично равновесие със съда, в който е поставена. Включваме парогенератора, който е свързан към дюаровия съд през дефлегматор (фиг. 1). Водата от съд 1 започва да се изпарява, парите достигат до дефлегматора и оттам достигат до съд 3 с изследваната течност, която започва да се нагрива от парите, които достигат до близо сантиметър от дъното на съда. Когато температурата на водата в съд 3 достигне $T_{KP} = 53.2^\circ\text{C}$, изключваме парогенератора и прекъсваме връзката на изследвания съд с останалата част от системата. Измерваме масата на парите като разлика от масата на водата преди и след експеримента и заместваем стойностите във формула 5, изчислявайки специфичната топлина на изпарение на водата $= (2671 \pm 35) \cdot 10^3 \text{ J/kg}$. Грешката пресмятаме по формула 8.

$$\Delta\lambda = \lambda \left[\frac{\Delta T_H}{T_H} + \frac{\Delta T_{KP}}{T_{KP}} + \frac{\Delta T_K}{T_K} + \frac{\Delta M_B}{M_V} + \frac{\Delta M_{steam}}{M_{steam}} + \frac{\Delta c_B}{c_B} + \frac{\Delta C_C}{C_C} \right] \quad (8)$$

Величина	Стойност	Мерна единица
Специфичен топлинен капацитет c_B на водата при температура $T = 20^\circ\text{C}$ и налягане $p = 101.3 \text{ kPa}$	$4.1816 \cdot 10^3$	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
Температура на кипене на водата T_K при налягане $p = 101.3 \text{ kPa}$	100	$^\circ\text{C}$
Температура на топене на леда T_T при налягане $p = 101.3 \text{ kPa}$	0	$^\circ\text{C}$

Таблица 1: Константи, използвани при пресмятанията