

ПРОТОКОЛ V

МОЛЕКУЛНА ФИЗИКА

Измерване на относителна  
плътност на пари по метода на  
Виктор Майер

Лабораторно упражнение №3.5

Виолета Кабаджова,  
ККТФ, фак. номер: ЗРН0600026

Физически Факултет,  
Софийски Университет "Св. Климент Охридски"  
28 май 2023 г.

# 1 Теоритична част

Забележка: В текущия протокол, макар и нестандартно, ще бележим относителната плътност с  $r$  (латинският аналог на гръцкото  $\rho$ ).

Упражнението цели измерването на относителната плътност на пари хлороформ спрямо плътността на въздух при нормални условия (налягане  $p = 101\,325$  Pa и температура  $T = 273.15$  K). Тъй като в повечето случаи абсолютната стойност на газове и пари е много малка, то за удобство плътността се дефинира като относителна плътност между два газа, като най-често използваният еталон е сух въздух при нормални условия. Тази дефиниция се формулира във вида 1, където  $\rho_0$ ,  $V_0$ ,  $M_0$  са съответно плътността, обемът и масата на изследваното вещество, а  $\rho_{air}$  - плътността на въздуха.

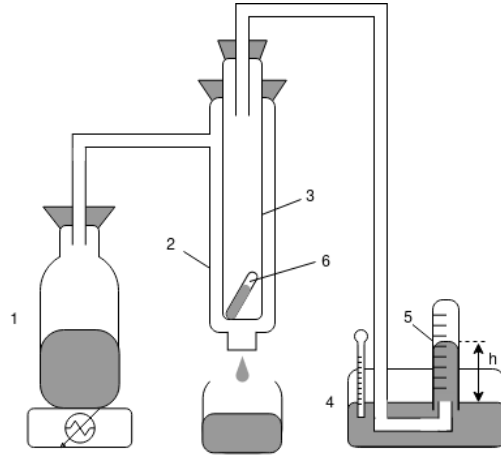
$$r = \frac{\rho_0}{\rho_{air}} = \frac{M_0}{V_0} \frac{1}{\rho_{air}} \quad (1)$$

## 2 Експериментална част

### 2.1 Експериментална установка

Над нагревател се слага стъклена колба пълна с вода, която се загрева и изпарява, като след това поема по тръбичките на системата. Когато парата стигне до стъкления съд 2 на схемата (фиг. 1), тя започва да затопля стъкления съд 3, след което да кондензира и да излиза от стъкления кожух 2, падайки в съда отдолу. Когато вътрешния съд 3 се загрева, въздухът в него се разширява и се отвежда до епруетка 5, където избутва част от водата. Следователно в епруетка 5 можем да измерим пряко изместеното количество обем. Отбелязваме, че налягането в епруетката, което съответства на нивото в широкия съд 4, е сума от хидростатичното налягане на стълба вода с височина  $h$  над това ниво ( $\rho_{H_2O}gh$ ) и налягането на газовата смес в горния край на епруетката, което от своя страна е сума от парциалните налягания  $p_1$  на изместения въздух от съда 3 и на наситените пари  $e$  ( $e$  зависи от температурата на водата в епруетката 5).

Тъй като съд 4 и епруетка 5 са скачени съдове, и налягането на повърхността на водата в съд 4 е равно на атмосферното налягане  $p_{atm}$ , то от условието за равновесие на скачени съдове следва ур. 3.



Фигура 1: Схема на опитна постановка; 1 - колба над нагревател, 2 - стъклен кожух, 3 и 4 - стъклени съдове, 5 - измерителна епруветка, 6 - ампула

$$p_{atm} = p_1 + e + \rho_{h_2o}gh, \quad (2)$$

$$p_1 = p_{atm} - e - \rho_{h_2o}gh, \quad (3)$$

Работната формула, която ще използваме е формула 4, където  $M_0$ ,  $V_0$ ,  $p_0$ ,  $\rho_0$  са съответно масата, обемът, налягането и плътността на изследваното вещество,  $T_{atm}$ ,  $p_{atm}$  - съответните температура и налягане на атмосферата при стандартни условия,  $p_1$ ,  $e$  - съответните парциални налягания на изместения въздух от съда 3 (фиг. 1) и на наситените водни пари,  $\rho_{h_2o}$  - плътността на водата в съд 4 (фиг. 1),  $h$  - височината на водата в епруветка 5 (фиг. 1).

$$r = \frac{\rho_0}{\rho_{air}} = \frac{M_0 T_{air} p_0}{V_0 T_{atm} \rho_{air} p_1} = \frac{M_0 T_{air} p_0}{V_0 T_{atm} \rho_{air}} \frac{1}{(p_{air} - e - \rho_{h_2o}gh)} \quad (4)$$

## 2.2 Задача: Измерване коефициента на вътрешно триене и дължината на свободния пробег на молекулите на въздуха

Правим експеримента веднъж и записваме измерванията в таблица 1. За да намерим масата на изследваното вещество, използваме формула 5, където  $V_{ch}$  е първоначално налятото количество хлороформ в ампула 6 на фиг. 1. Използваните стандартни константи записваме в таблица 2, като тяхната грешка е половината от най-малкото записано деление.

$$M = V_{ch0} = 1489 \cdot 4 \cdot 10^{-9} = (60 \pm 7) \cdot 10^{-6} kg \quad (5)$$

Величина	Стойност и грешка	Мерна единица
Плътност на въздуха $\rho_{air}$	$95\,389 \pm 10$	Pa
Температура на въздуха $T_{air}$	$292 \pm 0.5$	K
Плътност на хлороформ $\rho_0$	$1489 \pm 0.5$	kg/m <sup>3</sup>
Налято количество хлороформ в ампула $V_{ch}$	$(40 \pm 5) \cdot 10^{-6}$	m <sup>3</sup>
Обем газ в епруветка $V_0$	$(7.5 \pm 0.05) \cdot 10^{-6}$	m <sup>3</sup>
Височина на воден стълб в епруветка $h$	$(9 \pm 0.5) \cdot 10^{-2}$	m
Налягане на наситени водни пари при 19 deg C	$2199.45 \pm 24$	Pa

Таблица 1: Измервания и резултати

Използвайки ур. 4, получаваме  $r = 7.2 \pm 1.4$ . Тъй като относителната плътност  $r$  е съотношение между две други плътности, то тази величина е безразмерен коефициент.

Величина	Стойност	Мерна единица
Атмосферно налягане при нормални условия $p_{atm}$	101 325	Pa
Температура при нормални условия $T_{atm}$	273.15	K
Плътност на въздуха $\rho_{air}$	1.293	kg/m <sup>3</sup>
Земно ускорение $g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
Плътност на водата $\rho_{h_2o}$	997	kg/m <sup>3</sup>

Таблица 2: Използвани стандартни константи