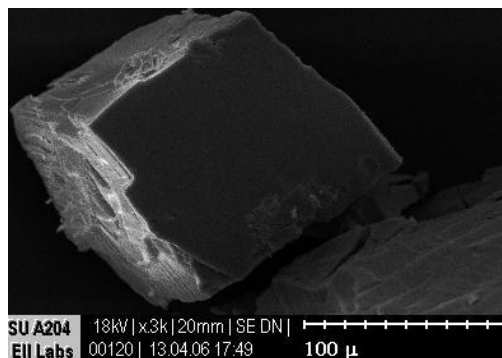
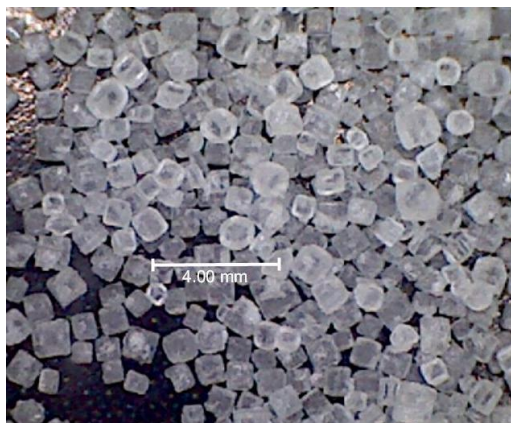


## ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЗАДАЧА

### Увод

Решението на поставената експериментална задача дава възможност да се определят плътност и обем на насипни, разтворими материали (захар, сол и др.), за които конвенционалните методи чрез потапяне в течност са неприложими. Готварската сол (NaCl) например, се състои от монокристали с микронни размери (фиг. 1) и настоящата задача е свързана с определяне плътността на самите кристали.



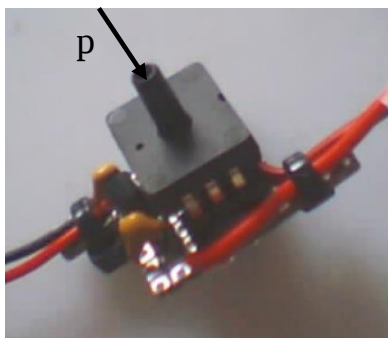
Фиг. 1. Снимки на кристали от NaCl, направени с оптичен и сканиращ електронен микроскоп.

### Уреди и материали

- Пластмасова спринцовка – 50 ml .....1 бр.
- Датчик за налягане (работен диапазон: 0 – 2 atm) .....1 бр.
- Мултицет .....1 бр.
- Батерия 9 V .....1 бр.
- Съд с насипен материал (NaCl) с маса –  $(20.00 \pm 0.01)$  g .....1 бр.
- Милиметрова хартия. ....2 л.

### Указания

- Разполагате с диференциален датчик на налягане, който мери разликата  $\Delta p$  между подаденото на датчика налягане  $p$  и атмосферното налягане  $p_0$ :  $\Delta p = p - p_0$ . Приемете, че отчетеното с датчика напрежение  $U$ , зависи линейно от разликата в налягането:  $\Delta p = a + bU$ .



- Датчикът на налягане издържа до 2 atm.
- Изходното напрежение на датчика  $U$  се измерва на двете му свободни клеми.
- Датчикът на налягане се захранва с батерия 9 V. Изключвайте батерията от веригата, когато не работите продължително време с датчика.

- Можете да изваждате датчика от шлауха, както и буталото на спринцовката.
- Не изваждайте памучната тапа от върха на спринцовката.

## Задачи

### 1. Калибриране на датчика.

- 1.1. Предложете, като опишете накратко и обосновайте теоретично, процедура за калибриране на датчика. Калибровката трябва да позволява от измереното напрежение да се определи относителното налягане  $p/p_0 = f(U)$ . Обмислете предварително необходимите мерки, които трябва да вземете, за да са в сила вашите теоретични допускания. [3 т.]

**Забележка:** Приемете въздуха за идеален газ.

От линейната връзка  $\Delta p = a + bU$ , относителното налягане може да се изрази като:

$$\frac{p}{p_0} = \frac{p_0 + a}{p_0} + \frac{b}{p_0} U \quad \text{или} \quad \boxed{\frac{p}{p_0} = A + BU} \quad [0.5 \text{ т.}], (1)$$

$$\text{където } A = \frac{p_0 + a}{p_0} \text{ и } B = \frac{b}{p_0}.$$

От приемането на въздуха за идеален газ може да се използва уравнение на състоянието на идеален газ  $\boxed{pV = nRT}$  [0.5 т.].

Процесът на свиване на въздуха може да се разглежда като изотермен  $\boxed{pV = \text{const}}$  при предположение, че температурата на въздуха на околната среда не се изменя по време на експеримента и са взети съответните мерки (вж. по-долу). Друго предположение е, че  $p_0$  е константа по време на експеримента. [0.5 т.]

За две състояния на въздуха в спринцовката при еднаква температура ще имаме  $\boxed{p_0 V_0 = pV}$ , откъдето  $\boxed{p/p_0 = V_0/V}$  (2)

$$\text{Комбинирайки (1) и (2) получаваме } \boxed{\frac{V_0}{V} = \frac{p}{p_0} = A + BU} \quad (3) [1 \text{ т.}].$$

Променяйки обема на спринцовката получаваме зависимостта  $p/p_0 = f(U)$

За да се разглежда процесът на свиване на газа като изотермен трябва [0.5 т.]:

- 1.) Свиването да става достатъчно бавно или да се изчаква да се изравнят температурите на въздуха в спринцовката и околната среда.
- 2.) Да не се обхваща с ръка спринцовката, за да не се изменя температурата.

### 1.2. Направете необходимите измервания по предложената от вас процедура.

Представете данните таблично и оценете грешките на единичното измерване.

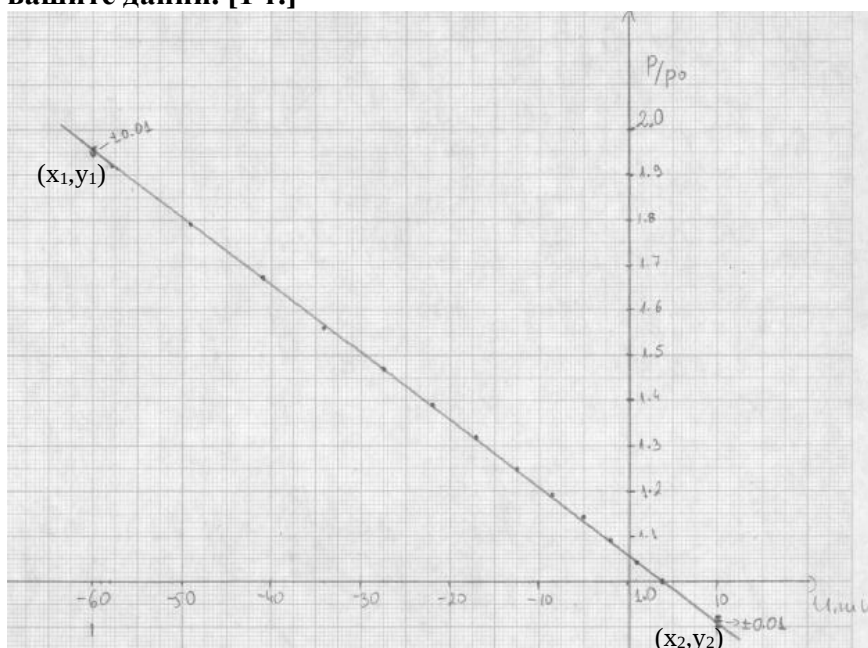
$V_0 = 50 \text{ ml}$  (таблично представяне на данни - минимум 5 измервания [1 т.]

| sensor 12 |                 |       |
|-----------|-----------------|-------|
| V, ml     | $V_0/V = p/p_0$ | U, mV |
| 50        | 1               | 4.2   |
| 48        | 1.041667        | 1.2   |
| 46        | 1.086957        | -1.6  |
| 44        | 1.136364        | -5.1  |
| 42        | 1.190476        | -8.7  |
| 40        | 1.25            | -12.7 |
| 38        | 1.315789        | -17.3 |
| 36        | 1.388889        | -22.1 |
| 34        | 1.470588        | -27.6 |
| 32        | 1.5625          | -33.8 |
| 30        | 1.666667        | -41.1 |

|    |          |       |
|----|----------|-------|
| 28 | 1.785714 | -49.2 |
| 26 | 1.923077 | -58.2 |

Абсолютни грешки на единичните измервания [0.5 т.]:  $\Delta V = \pm 1 \text{ ml}$ ;  $\Delta U = \pm 0.1 \text{ mV}$

**1.3. Представете графично, по подходящ за по-нататъшна обработка начин, вашите данни. [1 т.]**



**1.4. На базата на вашите резултати, определете в явен вид калибровъчната функция  $p/p_0 = f(U)$ . Оценете грешките в получените от вас параметри на тази зависимост.**

За определяне в явен вид калибровъчната функция  $p/p_0 = f(U)$  е необходимо да се определят коефициентите А и В от уравнение (3)  $p/p_0 = A + BU$ .

При  $U = 0$ ;  $A = p/p_0$ ,  $A = 1.05 \pm 0.02$  [0.5 т.]; абсолютна грешка  $\Delta A = 0.02$  [0.5 т.]; относителна грешка  $\Delta A/A = 2\%$

От наклона на графиката се определя параметърът В:

$$B = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{-1.04}{70} = -0.01486 \text{ mV}^{-1}$$

$$\text{Относителна грешка: } \frac{\Delta B}{B} = \frac{\Delta y}{y} + \frac{\Delta x}{x} = \frac{0.02}{1.04} + \frac{1}{70} = 0.03; \frac{\Delta B}{B} = 3\%,$$

Абсолютна грешка:  $\Delta B = \pm 0.0004 \text{ mV}^{-1}$  [0.5 т.]

$$B = (-0.0149 \pm 0.0004) \text{ mV}^{-1} \text{ [0.5 т.]}$$

Калибровъчна функция:  $p/p_0 = (1.05 \pm 0.02) + (-0.0149 \pm 0.0004)U$  [2 т.]

**2. Определяне на реалния, неизвестен обем на насипен материал от NaCl.**

**2.1. Предложете, като опишете накратко и обосновайте теоретично, процедура за определяне на истинския обем на кристалите от NaCl, използвайки резултатите, получено в зад. 1. Начертайте схема на използваната установка.**

Използва се уравнението за изотермен процес  $pV' = \text{const} = c'$ , където  $V' = V - V_x$  е обема на въздуха в спринцовката,  $V$  - показание на спринцовката,  $V_x$  - неизвестен обем на кристалите от NaCl.

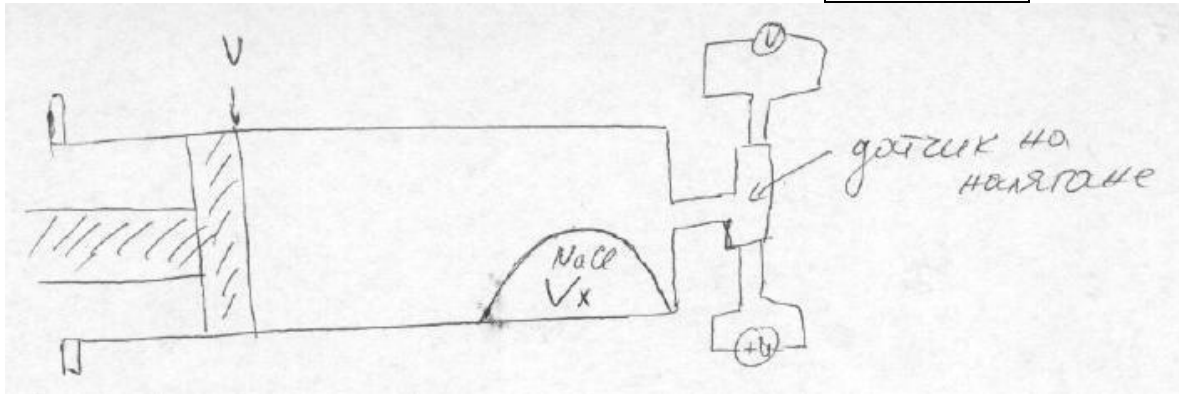
След заместване се получава:  $p(V - V_x) = c'$ , в относително налягане:

$$\frac{p}{p_0} V = c + V_x \frac{p}{p_0} \quad (4) \text{ [4 т.], където } c = c' / p_0.$$

Отношението  $p/p_0$  се определя от стойностите на измереното напрежение на датчика и направената в зад. 1 калибровка.

Зависимостта (4) е линейна спрямо относителното налягане  $p/p_0$ . Неизвестния

обем  $V_x$  може да се определи от наклона на графиката  $\frac{p}{p_0} V = f\left(\frac{p}{p_0}\right)$ .

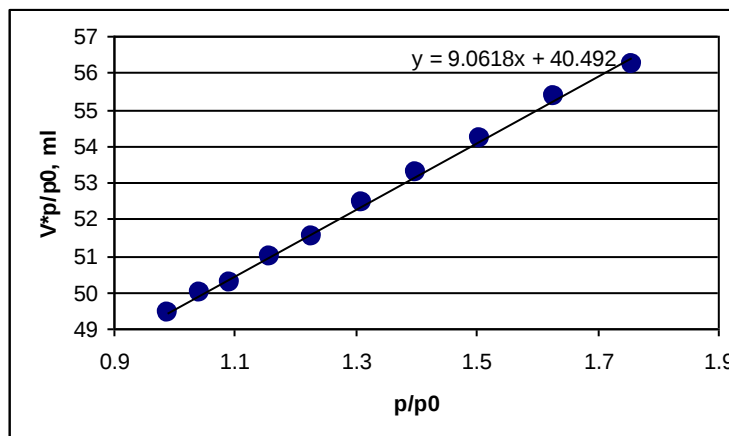


за фигура [0.5 т.]

## 2.2. Извършете необходимите измервания по предложената от вас процедура, представете данните таблично и графично.

(таблично представяне на данни - минимум 5 измервания [1 т.]

| V, ml | U, mV | p/p <sub>0</sub> | V*p/p <sub>0</sub> , ml |
|-------|-------|------------------|-------------------------|
| 50    | 4.1   | 0.98891          | 49.4455                 |
| 48    | 0.6   | 1.04106          | 49.97088                |
| 46    | -2.9  | 1.09321          | 50.28766                |
| 44    | -7.3  | 1.15877          | 50.98588                |
| 42    | -11.9 | 1.22731          | 51.54702                |
| 40    | -17.5 | 1.31075          | 52.43                   |
| 38    | -23.6 | 1.40164          | 53.26232                |
| 36    | -30.6 | 1.50594          | 54.21384                |
| 34    | -38.8 | 1.62812          | 55.35608                |
| 32    | -47.5 | 1.75775          | 56.248                  |



за графика [1 т.]

- 2.3. Използвайки получените от вас данни (и тези от зад.1), определете истинския обем на кристалите NaCl. Оценете абсолютната и относителна грешки във вашия резултат.**

От уравнението на правата  $\boxed{\frac{p}{p_0} V = c + V_x \frac{p}{p_0}}$ , следва че коефициентът пред  $p/p_0$  е търсения обем:  $V_x = 9.0618 \text{ ml}$

$$\frac{\Delta V_x}{V_x} = \frac{\Delta y}{y} + \frac{\Delta x}{x} = \frac{0.1}{6.80} + \frac{0.01}{0.77} = 0.03; \quad \frac{\Delta V_x}{V_x} = 3\% \text{ [0.5 т.]}$$

Абсолютна грешка:  $\Delta V_x = 0.3 \text{ ml}$  [0.5 т.]

$$\boxed{V_x = (9.1 \pm 0.3) \text{ ml}} \text{ [1 т.]}$$

- 3. Използвайки резултатите от зад.2, определете плътността на NaCl. Оценете абсолютната и относителна грешки на резултата.**

$$\rho = m/V_x$$

$$\rho = 2.198 \text{ g/cm}^3$$

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta V_x}{V_x} = \frac{0.01}{20} + \frac{0.3}{9.1} = 0.03; \quad \frac{\Delta \rho}{\rho} = 3\% \text{ [0.5 т.];}$$

$$\Delta \rho = 0.07 \text{ g/cm}^3 \text{ [0.5 т.]}$$

$$\rho = (2.20 \pm 0.07) \text{ g/cm}^3 \text{ [1 т.]}$$

По литературни данни:  $\rho = 2.17 \text{ g/cm}^3$

[http://webelements.com/compounds/sodium/sodium\\_chloride.html](http://webelements.com/compounds/sodium/sodium_chloride.html)

При липса на размерности на величините, включително в таблици, графики и др. се отнемат по  $\sim 0.25$  т.