

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЗАДАЧА 2

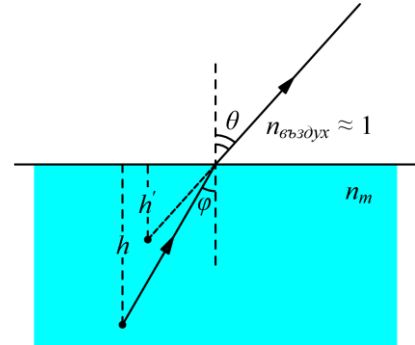
Определяне на показателя на пречупване на течности

Теоретична част

Когато тяло се намира на дълбочина h под повърхността на течност с показател на пречупване n_m , наблюдател над повърхността вижда недействителен образ на тялото на по-малка дълбочина h' . Може да се покаже, че връзката между h' и h е следната

$$h' = \frac{1}{n_m} \frac{\cos^3 \theta}{\cos^3 \varphi} h, \quad (1)$$

където ъглите θ и φ са показани на фигурата в дясно.



Уреди и материали

- Бехерова чаша 1000 ml 1 бр.
- Бутилка с неизвестна течност 1 бр.
- Статив 1 бр.
- Муфа за статив 1 бр.
- Метална линия 1 бр.
- Игли 2 бр.
- Огледало 1 бр.
- Стъкло 1 бр.
- Бяла хартия 1 л.
- Милиметрова хартия 1 л.
- Попивателна кърпа 1 бр.

Указания

- Внимавайте да не разливате от течността по работната маса. Ако разлеете използвайте попивателната кърпа. Избягвайте продължителен контакт с кожата.
- Внимавайте да не счупите чашата, стъклото или огледалото. Също така внимавайте да не се порежете на някой от ръбовете на стъклото или огледалото.
- Може да използвате стъклото като подложка за огледалото. Не потапяйте огледалото или стъклото в течността.
- Разполагате със статив и муфа, която може да закрепите на различни височини по статива, като внимателно затягате притискащия винт на муфата. Не пренатягайте винта, за да не се изкриви муфата или да не се нарани боята по пръчката на статива.
- В муфата предварително е закрепен филтър, не вадете филтъра от муфата. Може да забивате иглите във филтъра.

- За измерване на разстояния може да използвате металната линия. Понякога обаче, не всички разстояния могат да бъдат измерени директно с линията. В такъв случай описаният по-долу начин може да ви бъде полезен.
Нека наблюдаваме два обекта, намиращи се на различни разстояния спрямо нас. Ако наблюдаваме единия обект от две различни места, в двата случая, той **видимо** ще се намира на различни разстояния спрямо другия обект. Това ще рече, че ако няма видимо отместване между двата обекта при промяна на мястото на наблюдение, то двата обекта се намират на едно и също разстояние от нас и ако знаем разстоянието до единия обект, то знаем на какво разстояние се намира и другият.

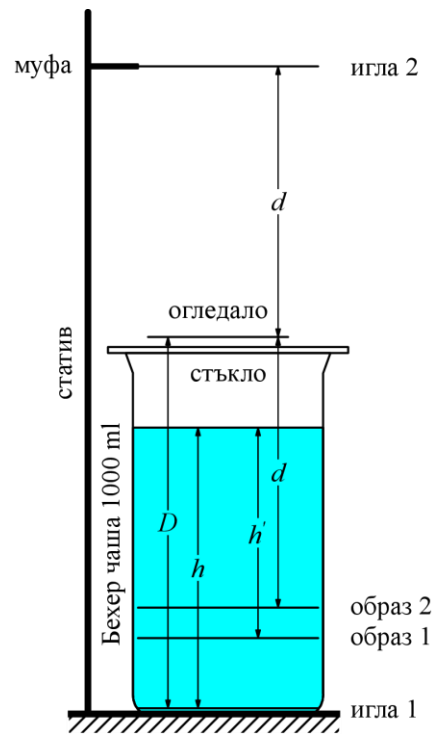
Задачи

1. Предложете метод за определяне на показателя на пречупване на течността (n_m), който се основава на сравнението на положенията на образите на двете игли. Единият образ е недействителният образ на игла потопена в течността, а другият е образът на втората игла в огледалото. Опишете последователността на провеждане на експеримента. **(4 т.)**
Забележка: първо прочетете всички задачи докрай и обмислете метод, който да позволява изпълнението им.
2. Направете схематично представяне (опростен чертеж) на експерименталната установка и означете всички величини, които ще са ви необходими за определяне на n_m в предложения от вас метод. **(1.4 т.)**
3. Представете зависимостта (1) с подходящи променливи, така че да получите линейна зависимост от вида $y = ax$ ($a = \text{const}$), от която да може да се определи n_m . **(1 т.)**
4. Направете необходимите измервания и представете данните таблично (използвайте предоставения лист за таблицата). **(4 т.)**
5. Оценете абсолютната грешка на измерените величини в задача 4. **(0.5 т.)**
6. Използвайте експерименталните данни от задача 4 и представете зависимостта от задача 3 графично. **(4.5 т.)**
7. Пресметнете n_m , като преди това определите коефициента на линейната зависимост от задача 3 (наклона на правата от задача 6). **(2 т.)**
8. Оценете абсолютната и относителната грешка на n_m . **(1.6 т.)**
9. Представете крайния резултат за n_m , като отчитате пресметнатите грешки. **(1 т.)**

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЗАДАЧА 2: ПРИМЕРНО РЕШЕНИЕ

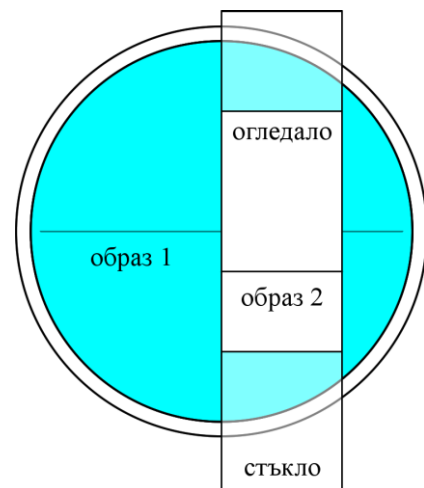
1. Предложете метод за определяне на показателя на пречупване на течността (n_m), който се основава на сравнението на положенията на образите на двете игли. Единият образ е недействителният образ на игла потопена в течността, а другият е образът на втората игла в огледалото. Опишете последователността на провеждане на експеримента. (4 т.)

Описание на метода: от теоретичната част и указанията става ясно, че трябва да определим показателя на пречупване на течността като определим видимата и реалната дълбочина на която се намира предмет потопен в течността. За целта поставяме едната игла на дъното на чашата и пълним чашата с течността. С помощта на линията може да измерим реалната дълбочина, на която се намира иглата. За да измерим видимата дълбочина използваме огледалото и другата игла. Знаем, че разстоянието от образа на иглата до огледалото е равно на разстоянието от иглата до огледалото, а последното също може да бъде измерено пряко с линията. Ако променяме разстоянието между огледалото и втората игла, докато нейният образ съвпадне с образа на първата игла, лесно може да определим видимата дълбочина, на която се намира първата игла (виж Фигура 1). (2 т.)



Фигура 1

Последователност на действията: поставяме игла 1 на дъното на чашата и наливаме от течността; с линията измерваме реалната дълбочина h на която се намира игла 1; използваме стъклото като подложка за огледалото и го поставяме върху чашата (виж Фигура 1 и Фигура 2); забиваме игла 2 във филтъра закрепен на муфата и я поставяме над огледалото; ако е необходимо нагласяме чашата така, че образът на игла 1 в течността, този на игла 2 в огледалото и игла 2 да лежат в една равнина (така сме сигурни, че при всяко измерване наблюдаваме по нормалата към огледалото); започваме да движим муфата, докато видимото отместване на двата образа изчезне при наблюдение под малки ъгли спрямо нормалата към огледалото; когато двата образа съвпадна измерваме разстоянието d от долната повърхност на огледалото до игла 2; пресмятаме $h' = d - (D - h)$, където D е разстоянието от игла 1 до долната повърхност на огледалото; повтаряме измерванията като всеки път доливаме от течността, така променяме дълбочината h , съответно и h' . (2 т.)



Фигура 2

2. Направете схематично представяне (опростен чертеж) на експерименталната установка и означете всички величини, които ще са ви необходими за определяне на n_m в предложения от вас метод. **(1.4 т.)**

Експерименталната установка е представена схематично на Фигура 1 и Фигура 2. **(1 т.)**

При нормално наблюдение, т.е. $\theta = \varphi = 0^\circ$, зависимостта (1) може да се запише като

$$h' = \frac{1}{n_m} h,$$

така величините необходими за определянето на n_m са

h дълбочината на която се намира игла 1; **(0.1 т.)**

D разстоянието от игла 1 до долната повърхност на огледалото; **(0.1 т.)**

d разстоянието от игла 2 до долната повърхност на огледалото; **(0.1 т.)**

$h' = d - (D - h)$ дълбочината, на която се намира образ 1. **(0.1 т.)**

3. Представете зависимостта (1) с подходящи променливи, така че да получите линейна зависимост от вида $y = ax$ ($a = \text{const}$), от която да може да се определи n_m . **(1 т.)**

При $\theta = \varphi = 0^\circ$ получаваме следната линейна зависимост

$$h' = \frac{1}{n_m} h, \text{ (1 т.)}$$

от която може да се определи наклона $\frac{1}{n_m}$, съответно и n_m .

4. Направете необходимите измервания и представете данните таблично (използвайте предоставения лист за таблицата). **(4 т.)**

$D = 17.6 \text{ cm}$, $h' = d - (D - h)$ **(0.75 т.)**

h (cm)	d (cm)	h' (cm)	при отбелязани мерни единици (0.25 т.)
3.1	16.9	2.4	
4.5	16.5	3.4	
6.0	16.0	4.4	
7.5	15.6	5.5	под 5 измервания (1.5 т.)
10.5	15.0	7.9	
12.0	14.5	8.9	
13.5	14.0	9.9	
15.5	13.5	11.4	над 7 измервания (3 т.)

5. Оценете абсолютната грешка на измерените величини в задача 4. **(0.5 т.)**

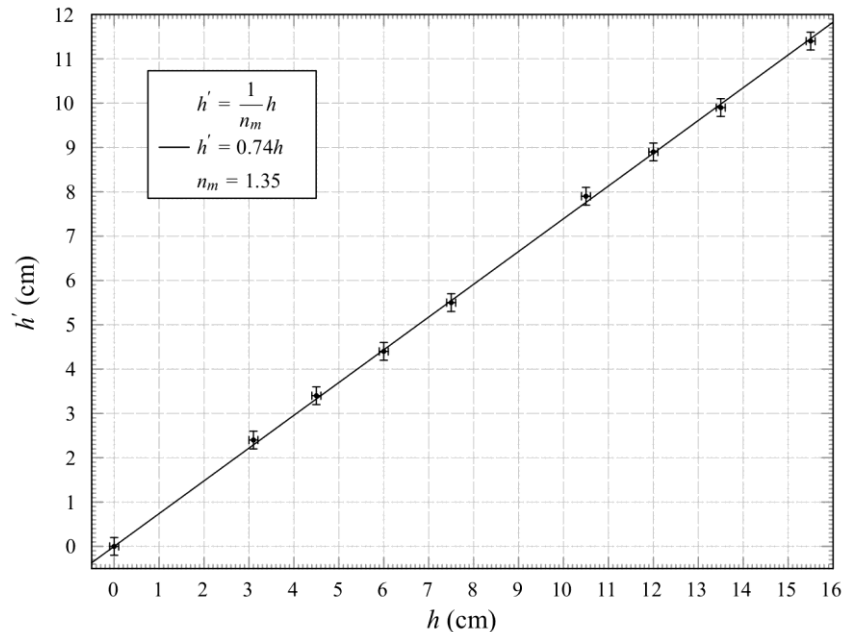
$\Delta D = 0.5 \text{ mm}$; $\Delta h = 0.5 \text{ mm}$; $\Delta d = 0.5 \text{ mm}$; **(0.25 т.)**

$\Delta h' = \Delta d + \Delta D + \Delta h = 1.5 \text{ mm}$. **(0.25 т.)**

6. Използвайте експерименталните данни от задача 4 и представете зависимостта от задача 3 графично. **(4.5 т.)**

Точки за графиката се дават ако

- използвана е цялата площ на листа милиметрова хартия; **(1.5 т.)**
- по осите на графиката са означени съответните величини; **(1 т.)**
- отбелязани са мерните единици на величините; **(0.25 т.)**
- нанесени са всички точки от таблицата в задача 4; **(1.25 т.)**
- зависимостта е от вида $y = ax$ и построената права задължително трябва да минава през точката с координати $(0.0,0.0)$. **(0.5 т.)**



7. Пресметнете n_m , като преди това определите коефициента на линейната зависимост от задача 3 (наклона на правата от задача 6). **(2 т.)**

Наклонът на графиката $\frac{1}{n_m}$ може да се определи графично, като изберем две точки от правата прекарана през експерименталните данни, например т. А с координати $(0.0,0.0)$ и т. В с координати $(15.7,11.6)$. Тогава за $\frac{1}{n_m}$ можем да запишем

$$\frac{1}{\bar{n}_m} = \frac{B_y - A_y}{B_x - A_x} = \frac{11.6}{15.7} = 0.74, \text{ (1.5 т.)}$$

от където за показателя на пречупване получаваме

$$\bar{n}_m = 1.35. \text{ (0.5 т.)}$$

Наклонът на графиката може да се определи и по формулата $\frac{1}{\bar{n}_m} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i h'_i}{\sum_{i=1}^n h_i^2}$.

8. Оценете абсолютната и относителната грешка на n_m . **(1.6 т.)**

Ако използваме, че $\bar{n}_m = \frac{B_x - A_x}{B_y - A_y}$, то максималната относителна грешка на $\bar{n}_m$ е

$$r = \frac{\Delta n_m}{\bar{n}_m} = \frac{\Delta(B_x - A_x)}{B_x - A_x} + \frac{\Delta(B_y - A_y)}{B_y - A_y}, \text{ (1 т.)}$$

където $\Delta(B_x - A_x) = \Delta B_x + \Delta A_x = (0.05 + 0.05) \text{ cm} = 0.1 \text{ cm}$ и $B_x - A_x = 15.7 \text{ cm}$, **(0.2 т.)**

а $\Delta(B_y - A_y) = \Delta B_y + \Delta A_y = (0.15 + 0.15) \text{ cm} = 0.3 \text{ cm}$ и $B_y - A_y = 11.6 \text{ cm}$. **(0.2 т.)**

Така получаваме, че $\frac{\Delta n_m}{\bar{n}_m} = \frac{0.1}{15.7} + \frac{0.3}{11.6} = 3\%$, а $\Delta n_m = 0.04$ **(0.2 т.)**

Абсолютната грешка Δn_m може да се оцени и графично, като през експерименталните точки се прекарат още две прави, от където да се определят максималния и минималния наклон, съответно да се пресметнат $n_m^{\min}$ и $n_m^{\max}$, тогава

$$\Delta n_m = (n_m^{\max} - n_m^{\min})/2.$$

9. Представете крайния резултат за n_m , като отчитате пресметнатите грешки. **(1 т.)**

$$n_m = \bar{n}_m \pm \Delta n_m, \quad n_m = 1.35 \pm 0.04 \text{ (0.5 т.)}$$

$$n_m = \bar{n}_m \pm r, \quad n_m = 1.35 \pm 3\% \text{ (0.5 т.)}$$