

אוניברסיטת בן גוריון
הפקולטה למדעי הטבע
המחלקה לפיזיקה

שם הניסוי

דו"ח מעבדה 3- מתח פנים

מאת:

סול אמארה

מדריך המעבדה:

נמרוד שרף

10/12/2020

תוכן עניינים

2.....	1. מטרת הניסוי :
3.....	2. רקע תיאורטי :
5.....	3. ניסוי : מציאת קבוע הקפיץ בשיטת ההתארכות
5.....	3.1. מהלך הניסוי :
5.....	3.2. תוצאות הניסוי :
5.....	3.3. עיבוד התוצאות :
7.....	3.4. דיון בתוצאות ומסקנות :
8.....	4. ניסוי : מציאת קבוע הקפיץ בשיטת התנודות
8.....	4.1. מהלך הניסוי :
8.....	4.2. תוצאות הניסוי :
8.....	4.3. עיבוד התוצאות :
9.....	4.4. דיון בתוצאות ומסקנות :
11.....	5. ניסוי : מדידת מתח הפנים של מים ושל כהל
11.....	5.1. מהלך הניסוי :
11.....	5.2. תוצאות הניסוי :
12.....	5.3. עיבוד התוצאות :
14.....	5.4. דיון בתוצאות ומסקנות :
15.....	6. ניסוי : היחס בין המשקלים של טיפות מים ושל כהל
15.....	6.1. מהלך הניסוי :
15.....	6.2. תוצאות הניסוי :
15.....	6.3. עיבוד התוצאות :
16.....	6.4. דיון בתוצאות ומסקנות :
17.....	7. סיכום ומסקנות כלליות :
18.....	8. ביבליוגרפיה
19.....	9. נספחים

1. מטרת הניסוי :

- * להכיר את מתח הפנים והכוחות הנובעים ממנו
- * למדוד את קבוע הכוח של קפיץ בשיטת התארכות והתנודות
- * לכייל מאזני קפית לצורך מדידת כוחות
- * למדוד את מתח הפנים של מים וכהל

2. רקע תיאורטי:

מתח פנים γ :



כפי שניתן לראות בתמונה זו, קיימת לנוזלים תכונה מיוחדת בה יש מעטפת מים המקיפה את האדם שיוצא מהמים המדמה קרום אלסטי מתוח. מתח פני הנוזל מחושב על ידי נוסחה (1), והוא הכוח שיש להפעיל על מנת לקרוע את המעטפת חלקי האורך של קו המגע עם הנוזל. ברגע בו מעטפת הנוזל נקרעת הכוח המופעל שווה למתח פני הנוזל.

לכל נוזל יש מתח פנים קבוע בטמ"פ החדר, בניסוי זה נמדוד את מתח הפנים של מים ושל כהל

שערכיהם הספרותיים הם: $\gamma_{alc} = 22 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$, $\gamma_{water} = 72 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$

במעבדה זו, על מנת למדוד את הכוח המופעל ברגע קריעת מעטפת הנוזל, נשתמש בקפיץ ולכן נציג את המאפיינים העיקריים של קפיץ בהם נשתמש:

כוח אלסטי: כוח אלסטי הינו הכוח שמופעל על קפיץ על מנת להאריך או לכווץ אותו במרחק מסוים. הוא מחושב על ידי נוסחה (2), כאשר K מייצג את קבוע הקפיץ.

קבוע הקפיץ הינו גודל ההתנגדות שיש לקפיץ, הוא קבוע ואינו משתנה, והוא תלוי בחומר ממנו הוא עשוי. ככל שנצטרך להפעיל יותר כוח לשינוי אורך הקפיץ כך קבוע הקפיץ יהיה גדול יותר.

כוח הכובד: כוח הכובד הינו הכוח שמפעיל כדור הארץ למשיכת הגופים הנמצאים עליו לכיוון

מרכז כדור"א, והוא מחושב על ידי נוסחה (3), כאשר g קבוע ושווה ל- $g = 980 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$.

על פי החוק הראשון של ניוטון סכום הכוחות הפועלים על גוף הנמצא במנוחה הינו 0, ולכן נוכל להשוות בניסויים בין הכוח האלסטי לכוח הכובד ולחשב מכך את קבוע הקפיץ.

בנוסף, כאשר נתלה על גבי קפיץ מסה היא תנוע בתנועה הרמונית, מחזורית, מעלה ומטה כתוצאה מהשפעת הכוחות הפועלים עליה. בשל כך, למסה יהיה זמן מחזור קבוע והוא הזמן שלוקח לה להשלים תנועה מלאה ולחזור לאותה נקודה.

נציג את הנוסחאות בהם נשתמש במעבדה זו בטבלה הבאה :

(1) $\gamma = \frac{F}{L}$	מתח פנים
(2) $F = k \cdot \Delta x$	כוח שגורם לתוספת x בקפיץ
(3) $F = m \cdot g$	כוח הכובד
(4) $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$, $T^2 = 4\pi^2 \cdot \frac{m}{k}$ במצב של כמה משקלים : $T^2 = 4\pi^2 \cdot \frac{m_1}{k} + 4\pi^2 \cdot \frac{m^*}{k}$	זמן מחזור של תנודות הרמוניות
(5) $\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \Delta z\right)^2}$	הערכת השגיאה בגדלים בלתי תלויים
(6) $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$	חישוב ממוצע
(7) $\sigma \approx S_N = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$	חישוב סטיית התקן
(8) $\Delta x = \sqrt{\Delta_m^2 + \frac{\sigma^2}{N}}$	הערכת שגיאה המדידה
(9) $\frac{ \bar{x} - x }{\bar{x}}$	סטייה יחסית הערך שהתקבל-x הערך הספרותי- \bar{x}
(10) $\rho = \frac{m}{v}$	צפיפות סגולית

3. ניסוי: מציאת קבוע הקפיץ בשיטת ההתארכות

3.1. מהלך הניסוי:

בניסוי זה נמדוד את התארכות קפיץ כאשר נניח על גביו משקלים שונים. ראשית, נניח על הקפיץ דסקית ונחכה להתייצבות, כאשר מסתיימת התנועה וניתן לראות שדמות הדסקית במראה מתלכדת עם הדסקית, נמדוד את המרחק ההתחלתי. לאחר מכן, נניח משקלים שונים על גבי הקפיץ כאשר כל פעם נמתין להתייצבות ונמדוד את המרחק עם המשקל. את ההתארכות Δx נחשב על ידי השינוי שנעשה במרחק, כלומר המרחק שמדדנו עם המסה פחות המרחק ללא המסה. למדידת המסות, נניח כל פעם בנפרד על גבי מאזניים אנליטיים מכוילים את הדסקיות ונרשום את המספר המופיע על הצג. נציג את התוצאות בטבלה.

3.2. תוצאות הניסוי:

מדידה	m מסה [gr]	Δx התארכות [cm]
1	2.05 ± 0.01	1.7 ± 0.1
2	5.05 ± 0.01	4 ± 0.1
3	4.04 ± 0.01	3.3 ± 0.1
4	1.02 ± 0.01	0.9 ± 0.1
5	7.13 ± 0.01	5.7 ± 0.1

3.3. עיבוד התוצאות:

נשתמש בנוסחאות (3) ו(5) על מנת לחשב את הכוח הפועל על הקפיץ והשגיאה בו: $F = m \cdot g$

$$\Delta F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial m} \Delta m\right)^2} = g \cdot \Delta m$$

נבחין כי השגיאה אינה תלויה במסה אלא רק בשגיאת המדידה של המסה, ולכן היא זהה לכל המדידות.

$$\Delta F = g \cdot \Delta m = 980 \cdot 0.01 = 9.8 \approx 10 \text{ [dyne]}$$

על פי הנתון בתדריך המעבדה, $g = 980 \frac{cm}{sec^2}$

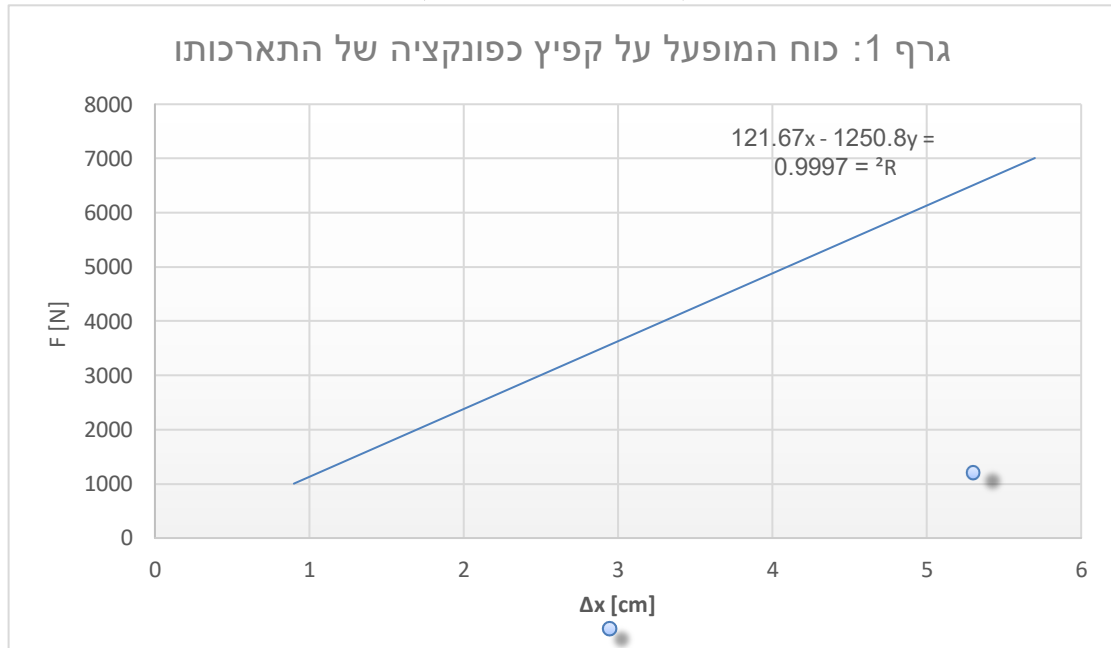
F [dyne]	m מסה [gr]	מדידה
$F = m \cdot g = 2.05 \cdot 980 = 2009$ $F = 2009 \pm 10$	2.05 ± 0.01	1
$F = m \cdot g = 5.05 \cdot 980 = 4949$ $F = 4949 \pm 10$	5.05 ± 0.01	2
$F = m \cdot g = 4.04 \cdot 980 = 3959$ $F = 3959 \pm 10$	4.04 ± 0.01	3
$F = m \cdot g = 1.02 \cdot 980 = 1000$ $F = 1000 \pm 10$	1.02 ± 0.01	4
$F = m \cdot g = 7.13 \cdot 980 = 6987$ $F = 6987 \pm 10$	7.13 ± 0.01	5

על מנת לחשב את קבוע הקפיץ נשתמש בנוסחאה (2) :

$$F = mg = k \cdot \Delta x$$

$$F = k \cdot \Delta x$$

נשים לב כי זוהי משוואה לינארית ולכן נציג את הנתונים בגרף :



3.4. דיון בתוצאות ומסקנות:

								SUMMARY OUTPUT
								Regression Statistics
							0.99983967	Multiple R
							0.999679366	R Square
							0.999572488	Adjusted R Square
							49.09089642	Standard Error
							5	Observations
								ANOVA
				Significance F	F	MS	SS	df
				2.43694E-06	9353.462116	22541059.05	22541059.05	1 Regression
						2409.916111	7229.748334	3 Residual
							22548288.8	4 Total
Upper 95.0%	Lower 95.0%	Upper 95%	Lower 95%	P-value	t Stat	Standard Error	Coefficients	
24.51817548	-267.8640944	24.51817548	-267.8640944	0.077078968	-2.648708216	45.93671689	-121.6729595	Intercept
1291.951178	1209.634053	1291.951178	1209.634053	2.43694E-06	96.71329855	12.93299509	1250.792615	X Variable 1

על פי נתוני גרף מספר 1, $y = 1250.8x - 121.67$ ונוסחא מספר (2):

$$F = k \cdot \Delta x$$

ממשוואה זו ניתן לראות כי בגרף של הכוח כתלות בשינוי המיקום, שיפוע הגרף מייצג את ערך קבוע הקפיץ.

מניתוח הנתונים ניתן לראות כי השגיאה בשיפוע הגרף הינה $13 \approx 12.933$, נקבל כי

$$k = 1251 \pm 13 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$$

בנוסף, נשים לב כי $R^2 = 0.997$. קרבתו של ערך זה ל-1, מייצגת את מהימנות התוצאות ומכך ניתן להסיק כי תוצאות הניסוי הינן מדויקות. כמו כן, ניתן לראות כי קיימת התאמה לינארית של כל הנקודות אל הישר, כלומר התוצאות תואמות את המשוואה.

4. ניסוי: מציאת קבוע הקפיץ בשיטת התנודות

4.1 מהלך הניסוי:

נניח על הקפיץ דסקית ומשקלים שונים על גבי הקפיץ, נמתח את המערכת מטה ונשחרר ברגע שנפעיל את הטיימר. המערכת תנוע בתנודות הרמוניות, ולאחר שנספור 10 מחזורים נעצור את הזמן. נחשב את אורך זמן המחזור על ידי חלוקת הזמן ב-10. למדידת המסות, נניח כל פעם בנפרד על גבי מאזניים אנליטיים מכוילים את הדסקיות ונרשום את המספר המופיע על הצג. נציג את התוצאות בטבלה.

4.2 תוצאות הניסוי:

מסת הקפיץ $m_{sp} = 1.56 \pm 0.01 \text{ gr}$

מדידה	$M1$ מסה $[gr]$	T זמן המחזור $[sec]$
1	1.33 ± 0.01	0.23 ± 0.03
2	2.36 ± 0.01	0.3 ± 0.03
3	4.39 ± 0.01	0.39 ± 0.03
4	6.43 ± 0.01	0.45 ± 0.03
5	11.47 ± 0.01	0.59 ± 0.03

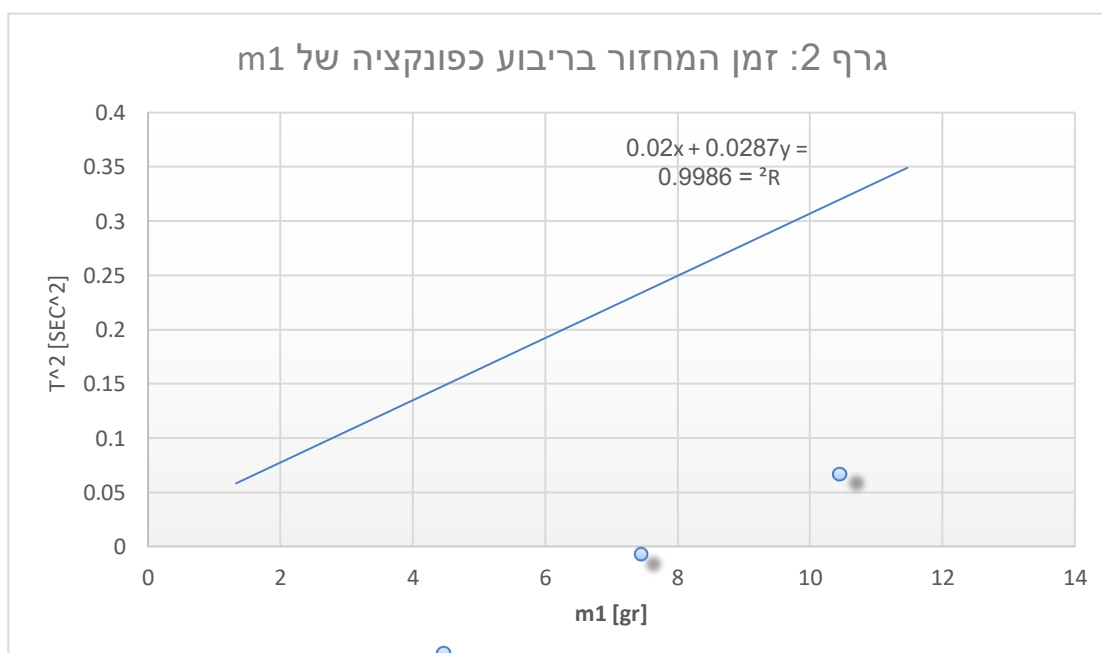
4.3 עיבוד התוצאות:

נשתמש בנוסחה (4), ונשים לב כי זוהי משוואה לינארית ולכן נציג את הנתונים בגרף:

$$T^2 = 4\pi^2 \cdot \frac{m_1}{k} + 4\pi^2 \cdot \frac{m^*}{k}$$

נחשב את זמן המחזור בריבוע:

T^2 זמן המחזור $[sec^2]$	T זמן המחזור $[sec]$
$0.0529 \pm 9 \cdot 10^{-4}$	0.23 ± 0.03
$0.09 \pm 9 \cdot 10^{-4}$	0.3 ± 0.03
$0.1521 \pm 9 \cdot 10^{-4}$	0.39 ± 0.03
$0.2025 \pm 9 \cdot 10^{-4}$	0.45 ± 0.03
$0.3481 \pm 9 \cdot 10^{-4}$	0.59 ± 0.03



4.4. דיון בתוצאות ומסקנות:

								SUMMARY OUTPUT
								Regression Statistics
								0.999289544 Multiple R
								0.998579592 R Square
								0.998106123 Adjusted R Square
								0.005019048 Standard Error
								5 Observations
								ANOVA
				Significance F	F	MS	SS	df
				2.27297E-05	2109.06969	0.053129235	0.053129235	1 Regression
						2.51908E-05	7.55725E-05	3 Residual
							0.053204808	4 Total
Upper 95.0%	Lower 95.0%	Upper 95%	Lower 95%	P-value	t Stat	Standard Error	Coefficients	
0.032582202	0.007460157	0.032582	0.007460157	0.014795798	5.072543313	0.003946971	0.02002118	Intercept
0.030683401	0.026706446	0.030683	0.026706446	2.27297E-05	45.92460876	0.000624827	0.028694923	X Variable 1

על פי נתוני גרף מספר 2, $y = 0.0287x + 0.02$ ונוסחא מספר (4):

$$T^2 = 4\pi^2 \cdot \frac{m_1}{k} + 4\pi^2 \cdot \frac{m^*}{k}$$

ממשוואה זו ניתן לראות כי בגרף של זמן המחזור בריבוע כתלות ב m , שיפוע הגרף מיוצג על ידי:

$$0.0287 = \frac{4\pi^2}{k}, \quad k = \frac{4\pi^2}{0.0287} = 1375.555$$

מניתוח הנתונים ניתן לראות כי השגיאה בשיפוע הגרף הינה $0.0006 \approx 0.000625$, נשתמש

בנוסחה (5) לחישוב השגיאה בקבוע הקפיץ:

$$k = \frac{4\pi^2}{a} \quad \text{אזי, שיפוע הגרף, } a$$

$$\Delta k = \sqrt{\left(\frac{\partial k}{\partial a} \Delta a\right)^2} = \frac{4\pi^2 \cdot \Delta a}{a^2} = \frac{4\pi^2 \cdot 0.0006}{0.0287^2} = 28.76$$

נקבל כי:

$$k = 1376 \pm 29 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$$

בנוסף, נשים לב כי $R^2 = 0.9986$. כיוון שערך זה קרוב ל 1 ניתן להסיק כי תוצאות הניסוי הינן מדויקות. כמו כן, ניתן לראות כי קיימת התאמה לינארית של כל הנקודות אל הישר, כלומר התוצאות תואמות את המשוואה.

נסתכל על נקודת החיתוך של הגרף עם ציר ה-y :
 על פי משוואת הישר, נקודת חיתוך זו הינה 0.02, נשווה אותה לערך על פי נוסחה (4) :

$$4\pi^2 \cdot \frac{m^*}{k} = 0.02, m^* = \frac{0.02 k}{4\pi^2} = 0.7 \text{ gr}$$

עלינו להשתמש במשוואה זו $T^2 = 4\pi^2 \cdot \frac{m_1}{k} + 4\pi^2 \cdot \frac{m^*}{k}$ ולא במשוואה $T^2 = 4\pi^2 \cdot \frac{m}{k}$ לחישוב המסה האפקטיבית של הקפיץ מפני שהמסה במשוואה השנייה איננה מייצגת רק את מסת הקפיץ אלא את מסת הקפיץ עם המשקולות שהנחנו עליו. כמו כן, לא ביצענו מדידת זמן המחזור ללא משקולות על הקפיץ ולכן לא נוכל לחשב ממשוואה זו את מסתו.

על פי המדידות שביצענו בניסוי, $m_{sp} = 1.56 \pm 0.01 \text{ gr}$. נחשב את היחס בין מסת הקפיץ לבין מסתו האפקטיבית :

$$\frac{1.56}{0.7} = 2.22$$

קיבלנו כי מסת הקפיץ גדולה פי 2.22 מהמסה האפקטיבית שחישבנו על ידי נוסחה (4).
 המסה האפקטיבית תפקידה לדמות מצב בו במידה ונפעיל כוח על גוף בעל מסה זהה למסה האפקטיבית הוא ינוע באותו אופן. [1]

נשווה בין קבועי הקפיץ שקיבלנו בשני הניסויים :

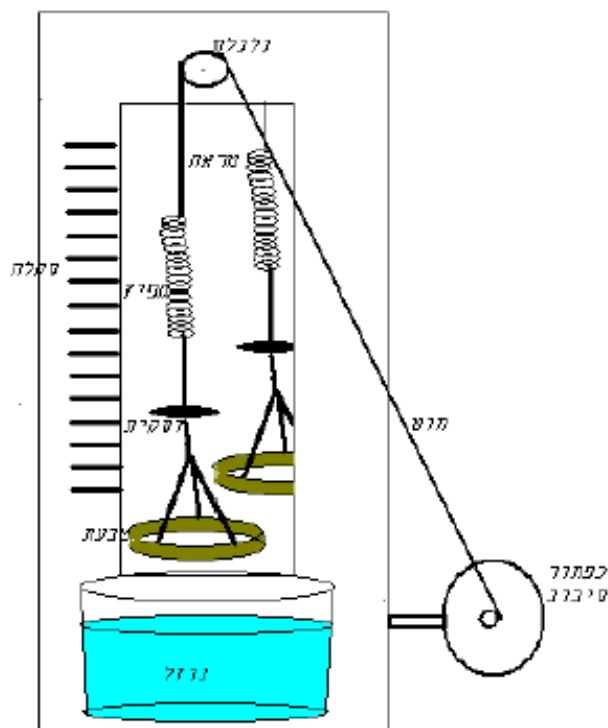
$$k_3 = 1251 \pm 13 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}, k_4 = 1376 \pm 29 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$$

ניתן לראות כי השגיאה בקבוע הקפיץ שהתקבלה באמצעות ניסוי זה, גדולה פי 2.23 מאשר השגיאה שהתקבלה בניסוי 3. כמו כן, ניתן לשער כי התוצאות שהתקבלו בניסוי 3 הינן מדויקות יותר כיוון שמדידת זמן מחזור של תנודת הקפיץ הינה קשה יותר לדיוק מאשר מדידת התארכותו וחישוב פיזיקלי של קבוע הקפיץ באמצעות ערכים אלו.

5. ניסוי: מדידת מתח הפנים של מים ושל כהל

5.1 מהלך הניסוי:

ראשית מדדנו את קוטר הטבעת באמצעות קליבר. לאחר מכן, תלינו את הטבעת על גבי הקפיץ, ווידאנו שהיא מוכנסת במלואה אל המים. סובבנו את כפתור הסיבוב באטיות, עד הנקודה המדויקת בה ניתן לראות כי מעטפת המים מתנתקת מהטבעת. נחשב את Δx על ידי הפרש המרחקים בין הנקודה הזו, בה מעטפת המים מתנתקת לבין הנקודה שהטבעת בשיווי משקל. נחזור על פעולות אלו 3 פעמים עבור מים ו3 פעמים עבור כהל ונציג את הנתונים בטבלה. בתרשים הבא ניתן לראות את מערכת הניסוי:



5.2 תוצאות הניסוי:

קוטר הטבעת $D = 3.29 \pm 0.02 \text{ cm}$

אורך קו המגע $L \approx 2\pi D = 2\pi \cdot 3.29 = 20.7 \text{ cm}$

מדידה	מים	כהל
1	$\Delta x = 1.3 \pm 0.1 \text{ cm}$	$\Delta x = 0.7 \pm 0.1 \text{ cm}$
2	$\Delta x = 1.4 \pm 0.1 \text{ cm}$	$\Delta x = 0.7 \pm 0.1 \text{ cm}$
3	$\Delta x = 1.1 \pm 0.1 \text{ cm}$	$\Delta x = 0.7 \pm 0.1 \text{ cm}$

5.3. עיבוד התוצאות:

נחשב את השגיאה באורך קו המגע באמצעות נוסחה (5):

$$\Delta L = \sqrt{\left(\frac{\partial L}{\partial D} \Delta D\right)^2} = 2\pi \Delta D = 2\pi \cdot 0.02 = 0.126$$

$$L = 20.7 \pm 0.1 \text{ cm}$$

נחשב את השגיאה בשינוי באורך הנמדד על ידי נוסחאות 6,7,8:
עבור מים:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \frac{1.3 + 1.4 + 1.1}{3} = \frac{19}{15}$$

$$\begin{aligned} \sigma \approx S_N &= \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{\left(1.3 - \frac{19}{15}\right)^2 + \left(1.4 - \frac{19}{15}\right)^2 + \left(1.1 - \frac{19}{15}\right)^2}{3-1}} \\ &= \frac{\sqrt{21}}{30} \end{aligned}$$

$$\Delta(\Delta x) = \sqrt{0.1^2 + \frac{\frac{\sqrt{21}}{30}^2}{3}} = 0.133 \approx 0.1$$

מפני שבמדידות הכהל כל התוצאות זהות, $\Delta(\Delta x) = 0.1$.

נחשב את מתח הפנים עבור קבוע הקפיץ שקיבלנו מניסויים 3,4 על ידי נוסחאות (1), (2)

$$k_3 = 1251 \pm 13 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}, \quad k_4 = 1376 \pm 29 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$$

$$\gamma = \frac{F}{L} = \frac{k \cdot \Delta x}{L}$$

את השגיאה במתח הפנים נחשב על פי נוסחה זו ונוסחה (5):

$$\Delta \gamma = \sqrt{\left(\frac{\partial \gamma}{\partial \Delta x} \Delta(\Delta x)\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma}{\partial k} \Delta k\right)^2 + \left(\frac{\partial \gamma}{\partial L} \Delta L\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{k}{L} \Delta(\Delta x)\right)^2 + \left(\frac{\Delta x}{L} \Delta k\right)^2 + \left(\frac{-k \Delta x}{L^2} \Delta L\right)^2}$$

מים		
$k_4 = 1376 \pm 29 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$	$k_3 = 1251 \pm 13 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$	מדידה
$\Delta \gamma =$ $= \sqrt{\left(\frac{1376}{20.7} \cdot 0.1\right)^2 + \left(\frac{19}{20.7} \cdot 29\right)^2 + \left(\frac{-1376 \cdot 19}{20.7^2} \cdot 0.1\right)^2}$ $= 6.892 \approx 7$	$\Delta \gamma =$ $= \sqrt{\left(\frac{1251}{20.7} \cdot 0.1\right)^2 + \left(\frac{19}{20.7} \cdot 13\right)^2 + \left(\frac{-1251 \cdot 19}{20.7^2} \cdot 0.1\right)^2}$ $= 6.055 \approx 6$	חישוב סטיית מתח פנים
$\gamma = \frac{k \cdot \Delta x}{L} = \frac{1376 \cdot 1.3}{20.7} = 84$	$\gamma = \frac{k \cdot \Delta x}{L} = \frac{1251 \cdot 1.3}{20.7} = 79$	1
$\gamma = \frac{k \cdot \Delta x}{L} = \frac{1376 \cdot 1.4}{20.7} = 93$	$\gamma = \frac{k \cdot \Delta x}{L} = \frac{1251 \cdot 1.4}{20.7} = 85$	2
$\gamma = \frac{k \cdot \Delta x}{L} = \frac{1376 \cdot 1.1}{20.7} = 73$	$\gamma = \frac{k \cdot \Delta x}{L} = \frac{1251 \cdot 1.1}{20.7} = 66$	3
$\bar{\gamma} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \gamma_i = \frac{84 + 93 + 73}{3} = 83.33$	$\bar{\gamma} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \gamma_i = \frac{79 + 85 + 66}{3} = 76.6$	חישוב ממוצע
$\bar{\gamma} = 83 \pm 7 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$	$\bar{\gamma} = 77 \pm 6 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$	מתח הפנים הממוצע

בהל		
$k_4 = 1376 \pm 29 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$	$k_3 = 1251 \pm 13 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$	מדידה
$\Delta \gamma =$ $= \sqrt{\left(\frac{1376}{20.7} \cdot 0.1\right)^2 + \left(\frac{0.7}{20.7} \cdot 29\right)^2 + \left(\frac{-1376 \cdot 0.7}{20.7^2} \cdot 0.1\right)^2}$ $= 6.723 \approx 7$	$\Delta \gamma =$ $= \sqrt{\left(\frac{1251}{20.7} \cdot 0.1\right)^2 + \left(\frac{0.7}{20.7} \cdot 13\right)^2 + \left(\frac{-1251 \cdot 0.7}{20.7^2} \cdot 0.1\right)^2}$ $= 6.063 \approx 6$	חישוב סטיית מתח פנים
$\gamma = \frac{k \cdot \Delta x}{L} = \frac{1376 \cdot 0.7}{20.7} = 47$	$\gamma = \frac{k \cdot \Delta x}{L} = \frac{1251 \cdot 0.7}{20.7} = 42$	1
$\gamma = \frac{k \cdot \Delta x}{L} = \frac{1376 \cdot 0.7}{20.7} = 47$	$\gamma = \frac{k \cdot \Delta x}{L} = \frac{1251 \cdot 0.7}{20.7} = 42$	2
$\gamma = \frac{k \cdot \Delta x}{L} = \frac{1376 \cdot 0.7}{20.7} = 47$	$\gamma = \frac{k \cdot \Delta x}{L} = \frac{1251 \cdot 0.7}{20.7} = 42$	3
$\bar{\gamma} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \gamma_i = \frac{47 + 47 + 47}{3} = 47$	$\bar{\gamma} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \gamma_i = \frac{42 + 42 + 42}{3} = 42$	חישוב ממוצע
$\bar{\gamma} = 47 \pm 7 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$	$\bar{\gamma} = 42 \pm 6 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$	מתח הפנים הממוצע

5.4. דיון בתוצאות ומסקנות:

על פי תדריך המעבדה, מתח פנים של מים בטמ"פ החדר הינו $72 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$ ושל כהל הינו $22 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$. [2] באמצעות נוסחה (9) נחשב את הסטייה היחסית של הערכים שקיבלנו מהערכים הספרותיים:

מים	
$\frac{ \bar{\gamma} - \gamma }{\bar{\gamma}} \cdot 100\% = \frac{ 72 - 77 }{72} \cdot 100\% = 7\%$	מתח פנים שחושב באמצעות k_3
$\frac{ \bar{\gamma} - \gamma }{\bar{\gamma}} \cdot 100\% = \frac{ 72 - 83 }{72} \cdot 100\% = 15\%$	מתח פנים שחושב באמצעות k_4

ניתן לשים לב כי בשני הניסויים קיבלנו אחוז סטייה נמוך של מתח הפנים, כלומר הניסוי תואם את המציאות ומציג ערכים מדויקים ונכונים. כמו כן, ניתן לראות כי שיטת ההתארכות מדויקת יותר משיטת התנודות. ניתן לשער כי שיטה זו מדויקת יותר מפני שהיא מבוססת על משוואות וחישובים מדויקים כמו מדידת מסה והתארכות של קפיץ. לעומתה, שיטת התנודות מבוססת על מדידת הזמן של תנודה, ומפני שזמן זה קצר ניתן להניח כי קיימות שגיאות במדידתו.

כהל	
$\frac{ \bar{\gamma} - \gamma }{\bar{\gamma}} \cdot 100\% = \frac{ 22 - 42 }{22} \cdot 100\% = 91\%$	מתח פנים שחושב באמצעות k_3
$\frac{ \bar{\gamma} - \gamma }{\bar{\gamma}} \cdot 100\% = \frac{ 22 - 47 }{22} \cdot 100\% = 113\%$	מתח פנים שחושב באמצעות k_4

לעומת הניסוי שבוצע במים, בניסוי זה קיבלנו ערך שגיאה גבוהה מאוד ואינו תואם את הערכים הספרותיים. ניתן להניח כי השגיאה הזו נובעת מכך שהנקודה בה מעטפת הכהל העוטפת את הטבעת נקרעת הינה מהירה יותר מהמים, ובשל כך קיימת פגיעה במדידה מדויקת של המרחק, וכי מערכת זו אינה תואמת את רגישות המכשירים הנדרשת על מנת להגיע לתוצאות מדויקות. כמו כן, על מנת להגיע לתוצאות מדויקות יותר במדידות אלו ניתן להשתמש במכשיר למדידת מרחק בעל שגיאה נמוכה מהסרגל בו השתמשנו, וגם להשתמש במכשיר בעל יכולת סיבוב רגישה יותר ממכשיר זה או לחזור על הניסוי מספר פעמים.

6. ניסוי: היחס בין המשקלים של טיפות מים ושל כהל

6.1. מהלך הניסוי:

נשקול באמצעות מאזניים אנליטיים את המסה של הבקבוקון בו נרצה להשתמש. לאחר מכן באמצעות מזרק נטפטף 5 טיפות מים אל הבקבוקון ונשקול את המסה כעת. נשטוף את הבקבוקון ונחזור על הפעולה, נטפטף 5 טיפות כהל ונשקול את המסה. את התוצאות שמוצגות על הצג האלקטרוני נרשום בטבלה.

6.2. תוצאות הניסוי:

מדידה	מסה
בקבוקון	$m_b = 13.83 \pm 0.01 \text{ gr}$
בקבוקון + 5 טיפות כהל	$m_{b+5 \text{ alc}} = 13.93 \pm 0.01 \text{ gr}$
בקבוקון + 5 טיפות מים	$m_{b+5 \text{ water}} = 14.16 \pm 0.01 \text{ gr}$

6.3. עיבוד התוצאות:

נחשב את המסה של כל טיפה:

$$m_{alc} = \frac{m_{b+5 \text{ alc}} - m_b}{5} = \frac{13.93 - 13.83}{5} = 0.02 \text{ gr}$$

$$m_{alc} = 0.02 \pm 0.01 \text{ gr}$$

$$m_{water} = \frac{m_{b+5 \text{ water}} - m_b}{5} = \frac{14.16 - 13.83}{5} = 0.066 \text{ gr}$$

$$m_{water} = 0.066 \pm 0.01 \text{ gr}$$

6.4. דיון בתוצאות ומסקנות:

נשים לב כי קיים קשר בין משקל הטיפות לבין מתח הפנים :

$$\frac{0.066}{0.02} = 3.3 \quad \frac{72}{22} = 3.27$$

ולכן הקשר הינו :

$$\frac{m_{water}}{m_{alc}} = \frac{\gamma_{water}}{\gamma_{alc}}$$

מכך ניתן להסיק שככל שמסת טיפת נוזל גבוהה יותר אז גם מתח הפנים שלה יגדל. ניתן לשער כי ככל שטיפת נוזל הינה יותר כבדה, יהיה יותר קשה לפרק את הקשרים בינה לבין טיפות אחרות ולקרוע את מעטפת הנוזל.

חשוב איך צריך ללחוץ על המזלף? באיזה זווית להחזיקו?

כפי שנאמר בשאלה (5) בשאלות ההכנה למעבדה זו, השימוש במזלף מתבסס על כך שהטיפה מתנתקת מהמזלף כאשר המשקל שלה (הפועל כלפי מטה) שווה לכוח של מתח הפנים (הפועל לכיוון המנוגד על מנת למנוע את קריעת קרום פני הנוזל). ברגע זה מעטפת פני הנוזל נקרעת ונוכל לחשב באמצעות מתח פני הנוזל את המשקל שלה, ובאמצעות המשקל וצפיפות הנוזל את נפח הטיפה המדויק. לפיכך, חשוב שנחזיק את המזלף בצורה בה הפתח מקביל לרצפה, כאשר הכוחות הפועלים על הטיפה יהיו באופן הבא : כוח מתח הפנים



בכל זווית אחרת לא יתבצע שוויון בין הכוחות ותהיה לכך השפעה על נכונות הנפח שנחשב.

7. סיכום ומסקנות כלליות:

נציג את תוצאות הניסויים בטבלה הבאה:

ניסוי	תוצאות	
3- מציאת קבוע הקפיץ בשיטת ההתארכות	$k_3 = 1251 \pm 13 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$	
4- מציאת קבוע הקפיץ בשיטת התנודות	$k_4 = 1376 \pm 29 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$	
5- מדידת מתח הפנים של מים ושל כהל	$\bar{\gamma}_{\text{water},3} = 77 \pm 6 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$ $\bar{\gamma}_{\text{water},4} = 83 \pm 7 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$ $\bar{\gamma}_{\text{alc},3} = 42 \pm 6 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$ $\bar{\gamma}_{\text{alc},4} = 47 \pm 7 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$	סטייה של 7% מערך ספרותי סטייה של 15% מערך ספרותי סטייה של 91% מערך ספרותי סטייה של 113% מערך ספרותי
6- היחס בין המשקלים של טיפות מים ושל כהל	$m_{\text{alc}} = 0.02 \pm 0.01 \text{ gr}$ $m_{\text{water}} = 0.066 \pm 0.01 \text{ gr}$	$\frac{m_{\text{water}}}{m_{\text{alc}}} = \frac{\gamma_{\text{water}}}{\gamma_{\text{alc}}} = 3.3$

במעבדה זו למדתי על מהו מתח פנים של נוזל ותכונותיו, על קבוע קפיץ ודרכים שונות לחישובו.

בניסויים 3,4 הכרתי והשתמשתי בשתי שיטות שונות למדידת קבוע הקפיץ. הראשונה באמצעות מדידת התארכות הקפיץ כתוצאה מהוספת מסות אליו והשנייה על ידי מדידת זמן המחזור של הקפיץ. לאחר מכן באמצעות קבועי קפיץ אלו חישבנו את מתח הפנים של מים ושל כהל בניסוי 5. ראינו כי קבוע הקפיץ מניסוי 4 הניב תוצאות פחות מדויקות גם במים וגם בכהל, ומכך ניתן להסיק כי שיטה זו איננה מדויקת וכי קיימת עדיפות להשתמש בשיטת ההתארכות על מנת להגיע לחישובים ותוצאות מדויקות. כמו כן, ניתן לשער כי תוצאות אלו אינן מדויקות בשל כך שמאוד קשה למדוד בדיוק רב את הזמן של תנודות הקפיץ. על מנת להגיע לדיוק רב יותר ניתן לחזור על הניסוי מספר פעמים או לספור מספר רב יותר של תנודות (בניסוי זה מדדנו זמן של 10 תנודות ומכך חישבנו את הזמן של תנודה אחת, אילו נגדיל את מספר התנודות שנמדוד נוכל להגיע לתוצאה מדויקת יותר).

לאחר מכן, בניסוי מספר 5 ראינו כי חישוב מתח הפנים של מים יצא בעל סטייה יחסית נמוכה של עד כ-15%, ואילו הסטייה היחסית בכהל יצאה גבוהה מאוד כ-90-110%. ניתן להסיק מכך כי ככל שמתח הפנים (על פי הספרות) של הנוזל שאותו אנו בודקים קטן יותר, יידרש פחות כוח על מנת לקרוע את מעטפת הנוזל ולכן יהיה לנו קשה יותר להצביע על הנקודה המדויקת בה זה קרה. לסיכום, לאחר חישוב מתח הפנים מדדנו את המסה של טיפת מים וטיפת כהל. ראינו כי קיים קשר ישר בין יחסי המסות לבין יחסי המתח הפנים של הנוזלים, זאת בדומה להשערה כי ככל שמסת הטיפה גדולה יותר, נצטרך להפעיל יותר כוח על מנת להגיע לנקודה בה מעטפת הנוזל נקרעת.

8. ביבליוגרפיה

1. ויקיפדיה- מסה אפקטיבית
<https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%9E%D7%A1%D7%94%D7%90%D7%A4%D7%A7%D7%98%D7%99%D7%91%D7%99%D7%AA>
2. תדריך מעבדה – אוניברסיטת בן גוריון
3. ויקיפדיה- כוח אלסטי
<https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%9B%D7%95%D7%97%D7%90%D7%9C%D7%A1%D7%98%D7%99>

1. נתונים שני קפיצים בעלי קבועים k_1, k_2 .

א. חברו את הקפיצים במקביל, מה הקבוע של הקיפץ השקול?

כאשר נחבר שני קפיצים במקביל נקבל התנגדות השווה לסכום ההתנגדויות בנפרד ולכן קבוע הקפיץ השקול הינו [3]

$$k_{total} = k_1 + k_2$$

ב. השקול הקפיץ של הקבוע מה, בטור הקפיצים את חברו?

כאשר נחבר שני קפיצים בטור נקבל שקבוע הקפיץ השקול הינו [3]

$$\frac{1}{k_{total}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}, \quad k_{total} = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}$$

ג. 'ב ובסעיף א' בסעיף הקפיצים מערכת על התלויה מסה של המחזור זמן יהיה מה ג.

על פי נוסחה (4) נקבל כי:

זמן המחזור עבור הקפיצים בסעיף א' הינו:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k_{total}}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k_1 + k_2}}$$

זמן המחזור עבור הקפיצים בסעיף א' הינו:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k_{total}}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{\frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m \cdot (k_1 + k_2)}{k_1 \cdot k_2}}$$

2. הסבר מדוע חשוב להקפיד על כך שהטבעת באיור 1 תהיה אופקית. במידה והטבעת

נוטה מעט, כיצד ישפיע הדבר על תוצאות הניסוי? האם נמדוד מתח פנים גדול או קטן

מערכו האמיתי?

כאשר הטבעת נוטה מעט, שטח המגע של הטבעת והנוזל יקטן כיוון שחלק מסוים ממנו נמצא באוויר. בשל כך, נצטרך להפעיל כוח חלש יותר על מנת למשוך את הטבעת ולקרוע את מעטפת הנוזל ולכן במצב כזה, מתח הפנים יקטן על פי נוסחה (1) מפני F קטן.

3. הסבר מדוע טבעת הנחושת יוצאת רטובה, מה יקרה אם נבצע את הניסוי בעזרת טבעת

טפלון היוצאת יבשה מהמים, מהו הגודל אותו נמדוד והאם נקבל תוצאה גדולה או קטנה

מהערך הנמדד בעזרת טבעת הנחושת.

הטבעת נרטבת מפני שהכוח המופעל עליה (הכוח שמדביק את הנוזל למשטח) גדול ממתח הפנים ולכן כאשר מעטפת הנוזל נקרעת הטבעת (שהייתה עטופה בו) נרטבת.

בשל כך שטבעת הטפלון יוצא יבשה מהמים ניתן להסיק כי מעטפת הנוזל איננה נקרעת ועל כן מתח פני הנוזל גדול מהכוח המופעל על טבעת הטפלון. בעקבות כך ניתן להניח כי נמדוד תוצאה נמוכה יותר מטבעת הנחושת, כיוון שהכוח על טבעת הטפלון קטן ממתח פני הנוזל ואילו בטבעת הנחושת הכוח גדול יותר.

4. בניסוי מתח פנים סטודנט קיבל מתח פנים של כהל $37 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$. ידוע שמתח הפנים של כהל בריכוז 100% הינו $22 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$ ושל המים $72 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$. מתוצאות הניסוי סטודנט הסביר שהכהל מהול במים. מהו אחוז הכהל ואחוז המים בתמיסה שהסטודנט בדק בניסוי? נסמן בx את אחוז הכהל ובהנחה שהתמיסה מורכבת ממים וכהל ניתן להסיק כי אחוז המים הינו $100-x$. נחשב את x באמצעות הכפל אחוז הנוזל במתח הפנים שלו ונשווה למתח הפנים של התמיסה, $37 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$, המהווה 100% מהנוזל.

$$22x + 72(100 - x) = 37 \cdot 100$$

$$22x + 7200 - 72x = 3700$$

$$3500 = 50x$$

$$x = 70\% \quad 100 - x = 30\%$$

מכאן ניתן להסיק כי אחוז הכהל הינו 70% ואחוז המים הינו 30%.

5. לעיתים, ניתנות תרופות באמצעות מזלף. הסבר כיצד ניתן לבצע מדידה מדויקת באמצעות מזלף. (רמז: הטיפה תתנתק ברגע שמשקלה ישווה לכוח מתח הפנים המופעל עליה מפיית המזלף) נתון נוזל שצפיפותו 1 גרם לסמ"ק ומתח הפנים שלו 70 דין לסמ"מ. כמה טיפות יש לטפטף באמצעות מזלף שקוטר פתחו 3 מ"מ כדי לקבל 0.2 סמ"ק?

ניתן להשתמש במזלף ולבצע מדידה מדויקת מפני שהטיפה מתנתקת מהמזלף כאשר המשקל שלה (הפועל כלפי מטה) יהיה שווה לכוח של מתח הפנים (הפועל לכיוון המנוגד על מנת למנוע את קריעת קרום פני הנוזל). ברגע זה מעטפת פני הנוזל תיקרע ונוכל לחשב באמצעות מתח פני הנוזל את המשקל שלה, ובאמצעות המשקל וצפיפות הנוזל את נפח הטיפה המדויק. נשתמש בנוסחה (1) על מנת לחשב את הכוח שמופעל על הנוזל. את האורך נחשב לפי נפח של מעגל המייצג את פתח פני הנוזל:

$$R = \frac{3}{2} mm = 1.5 mm = 0.15 cm$$

$$L = 2\pi R = 2\pi \cdot 0.15 = 0.94 cm$$

$$\gamma = \frac{F}{L}, \quad 70 = \frac{F}{0.94}, \quad F = 65.8 N$$

כעת נשתמש בנוסחה (3) על מנת לחשב את מסת הטיפות הנדרשת:

$$g = 980 \frac{cm}{sec^2} \text{ נזכור כי}$$

$$m = \frac{F}{g} = \frac{65.8}{980} = 0.067 gr$$

כמו כן, נתון כי צפיפות הנוזל הינה $1 \frac{gr}{cm^3}$ $\rho = 1$ לכן ניתן לחשב את נפח כל טיפה באמצעות הנוסחה:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad V = \frac{m}{\rho} = \frac{0.067}{1} = 0.067 cm^3$$

על מנת לחשב את כמות הטיפות נחלק את הנפח של כל טיפה שקיבלנו לעיל בנפח הדרוש:

$$n = \frac{\sum V}{V} = \frac{0.2}{0.067} = 3$$

לכן יש לטפטף 3 טיפות מהנוזל.