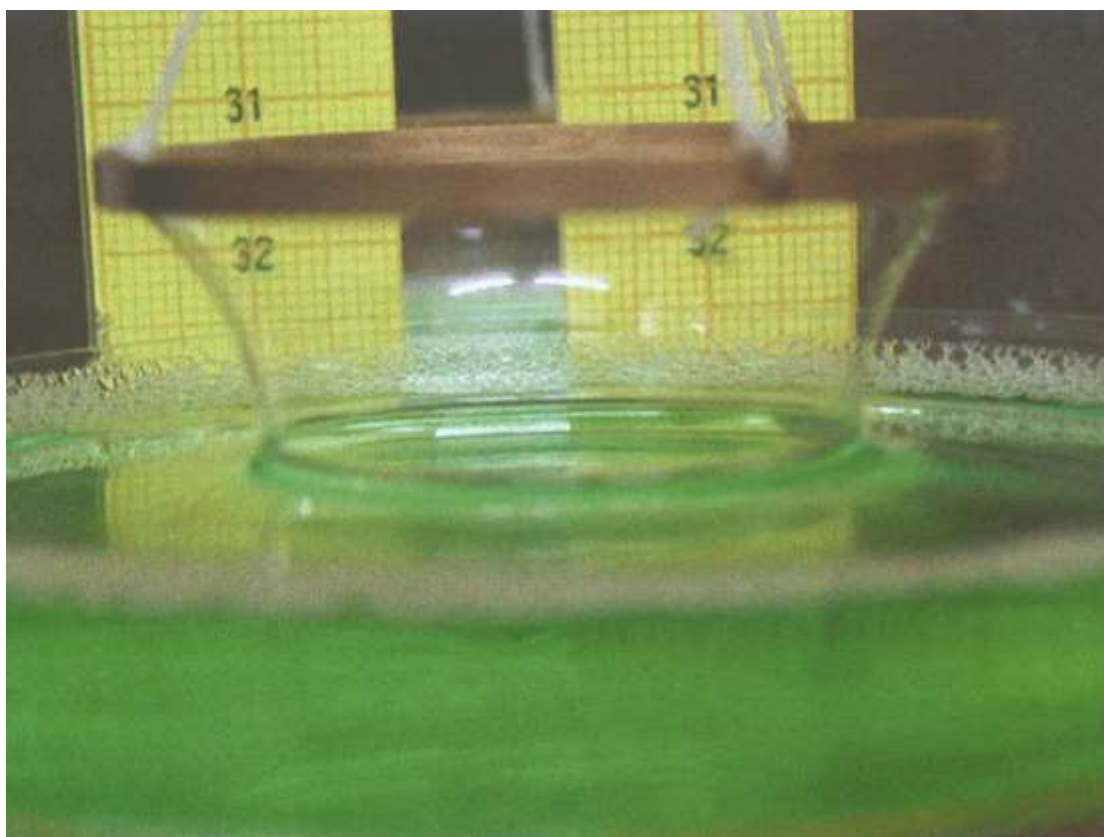
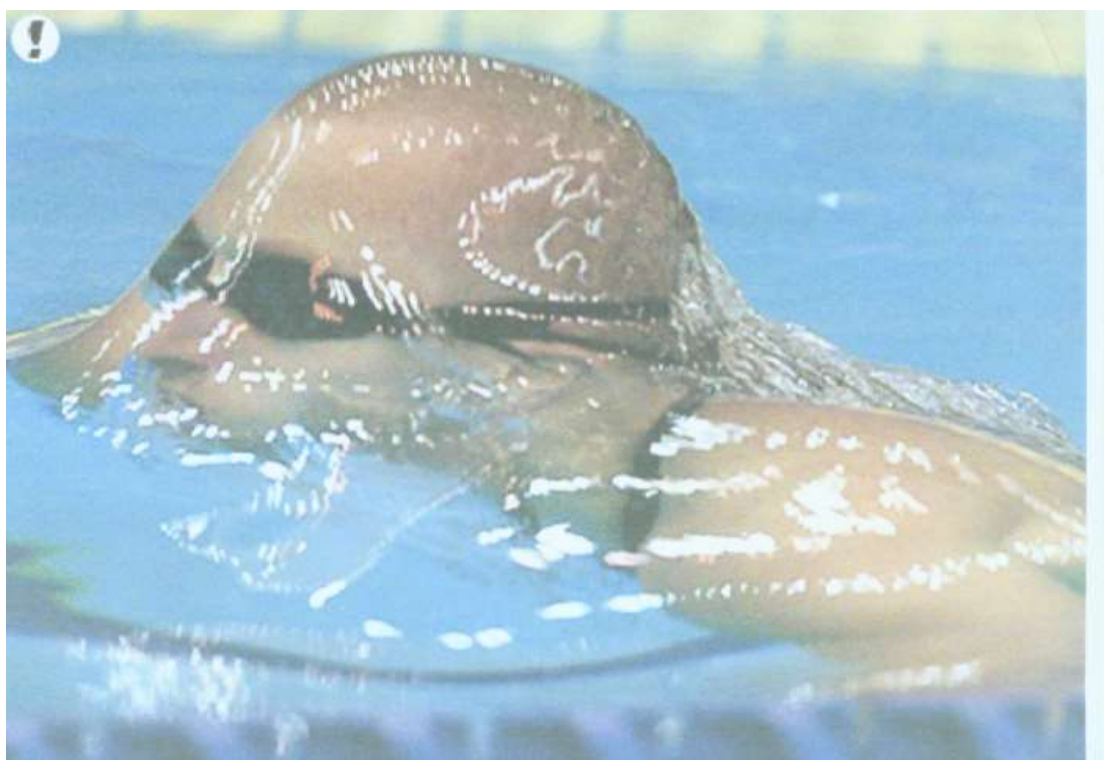


-מתח פנים-

מתח פנים



תמונה 1 : קרום מי סבון נמשך עם טבעת



תמונה 2 : קרום פני המים בשלמותו

מתח פנים

מילות מפתח :

מתח פנים, קבוע קפיץ, מאזני קפיץ.

הציוד הדרוש : מתקן עם מראה וקפיץ, טבעת מתכת, מחזיק משקולות של 1 גר' ו-2 גר', 2 כוסות פיירקס, כוהל, מים מזוקקים, טפטפות, מאזניים דיגיטליים, קליבר, שעון עצר.

מטרות הניסוי :

- להכיר את מתח הפנים והכוחות הנובעים ממנו.
- למדוד את קבוע הכוח של קפיץ בשיטת ההתארכות והתנודות.
- לכייל מאזני קפיץ לצורך מדידת כוחות.
- למדוד את מתח הפנים של מים ושל כהל.

1. תיאוריה

1.1 מתח פנים

ניתן להסתכל על פניו של נוזל כעל משטח בעל תכונות מיוחדות. ישנן תופעות המעידות כי משטח פני הנוזל הינו קרום אלסטי השרוי במצב של מאמץ. קרום זה מתוח בדומה ליריעת גומי מתוחה, לדוגמא: אם נניח בזהירות מחט פלדה דקה על פני מים, תיצור המחט גומה קלה במשטח פני המים ולא תשקע. או, השחיין בתמונה 2 בעמוד הפתיחה מכוסה בקרום פני המים ש"נמתח" ועוטרף את ראשו. ניסיון לקרוע את קרום הפנים יצריך כוח הגדול ממתח הפנים.

כוח נוסף הנובע מתכונות קרום פני הנוזל קיים כאשר מוצק בא במגע עם קרום פני הנוזל, במקרה זה פועל כוח משיכה בין המוצק לבין פני הנוזל. על מנת להוציא את המוצק מהנוזל יש צורך להתגבר על כוחות מתח הפנים. במידה והמתיחות שבקרום קטנה מהכוח המדביק את קרום הפנים אל המוצק, הקרום ייקרע והמוצק יישאר רטוב. ואילו בחומרים בהם המתיחות גדולה מכוח ההדבקה ייצא המוצק יבש.

את מתח הפנים γ שבקרום, ניתן להגדיר ע"י הכנסת מוצק (בעל כושר הירטבות) לתוך הנוזל, ומדידת הכוח F הדרוש להוצאתו כאשר אורך קו המגע בין המוצק לפני הנוזל הוא L .

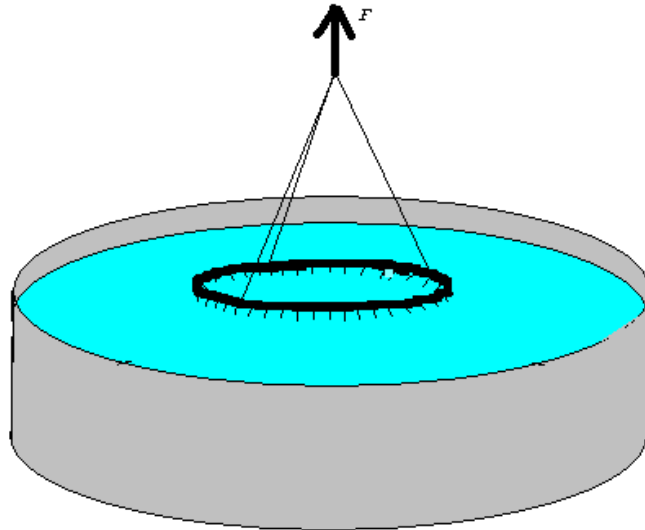
$$(1) \quad \gamma = \frac{F}{L}$$

במערכת היחידות c.g.s מתח הפנים מבוטא ב- dyne/cm^1 .

1.2 תיאור הניסוי

בניסוי זה ננסה לקצוב את ערכו של γ עבור מים וכוהל ע"י מדידת הכוח הדרוש להוצאת טבעת מתוך הנוזל. נמדוד ישירות את הכוח F ואת האורך L , ונשתמש בנוסחה (1) לחישוב γ .

מערכת הניסוי מתוארת באיור 1. משקעים בתוך הנוזל טבעת בעלת רדיוס R . הוצאתה של הטבעת מתוך הנוזל מצריכה הפעלת כוח F (בנוסף למשקלה) כדי להתגבר על מתח הפנים (ראה איור 1). ברגע ההתנתקות של הטבעת מהנוזל נקרע קרום פני הנוזל, כלומר הכוח המופעל להוצאת הטבעת שווה בגודלו לכוח המופעל ע"י מתח הפנים. אם נוציא את הטבעת לאט, הרי שההפרש בין הכוח הדרוש לתליית הטבעת לפני ההתנתקות ולאחריה הוא כוח מתח הפנים שהפעיל קרום פני הנוזל על הטבעת.



איור 1 : הטבעת נמשכת מתוך הנוזל, קרום פני הנוזל נמשך עם הטבעת.

¹ Dyne היא יחידה למדידת כוח במערכת היחידות cgs (סנטימטר, גרם, שניה) היא מוגדרת ככוח הנדרש להבאת

מסה של 1 גרם לתאוצה של סנטימטר לשנייה בריבוע $(1\text{Dyne} = 10^{-5} N)$.

קו המגע בין קרום פני הנוזל והטבעת נמשך לאורך ההיקף הפנימי והחיצוני של הטבעת.

למדידת הכוח F נשתמש במאזני קפיץ, התארכות הקפיץ תשקף את הכוח הפועל על הקפיץ. קפיץ ליניארי אידיאלי מאופיין בכך שהתארכות הקפיץ פרופורציונית לכוח הפועל עליו, קבוע הפרופורציה נקרא קבוע הכוח של הקפיץ ומסומן k .

$$(2) \quad F = k \cdot x$$

כאשר F הוא הכוח שגורם לתוספת x באורך הקפיץ. אם תולים מסה m בקפיץ ומניחים לה להתנדוד בתנועה הרמונית אזי זמן המחזור של התנדודות T נתון ע"י

$$(3) \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

בעיה: הקפיץ העומד לרשותנו לביצוע הניסוי אינו אידיאלי.

כלומר, קבוע הקפיץ k אינו קבוע אלא תלוי בעצמו בהתארכות הקפיץ. על מנת לאפשר את השימוש במאזני הקפיץ לצורך מדידת הכוח עלינו לקבוע את תחום העבודה הרלוונטי לניסוי, אם תחום זה יהיה קטן דיו נוכל להניח שהקפיץ ליניארי בקירוב טוב. תחום העבודה הרלוונטי לניסוי הוא התחום שבין 'משקל הטבעת' ל: 'משקל הטבעת + כוח מתח הפנים'.

- [סרטון](#) שממחיש את התופעה.
- [סרטון](#) על מדידת מתח פנים באמצעות טבעת.

1.3 שאלות הכנה

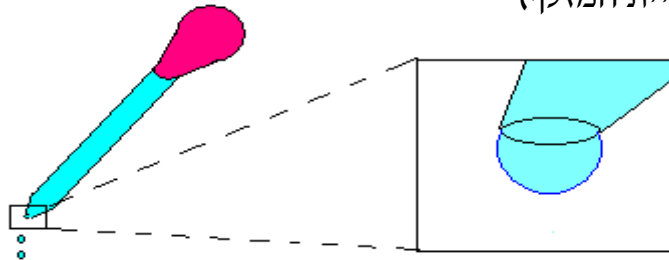
1. נתונים שני קפיצים בעלי קבועים k_1 ו- k_2 .
 - (א) חברו את הקפיצים במקביל. מהו הקבוע של הקפיץ השקול?
 - (ב) חברו את הקפיצים בטור. מהו הקבוע של הקפיץ השקול?
 - (ג) מה יהיה זמן המחזור של מסה התלויה על מערכת הקפיצים בסעיף א' וב'?
2. הסבר מדוע חשוב להקפיד על כך שהטבעת באיור 1 תהיה אופקית. במידה והטבעת נוטה מעט, כיצד ישפיע הדבר על תוצאות הניסוי? האם נמדוד מתח פנים גדול או קטן מערכו האמיתי ?

-מתח פנים-

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.

4. בניסוי מתח פנים סטודנט קיבל מתח פנים של כהל 37 dyne/cm . ידוע שמתח הפנים של כהל בריכוז 100% הוא 22 dyne/cm ושל המים 72 dyne/cm . מתוצאות הניסוי סטודנט הסיק שהכהל מהול במים. מהו אחוז הכהל ואחוז המים בתמיסה שסטודנט בדק בניסוי.

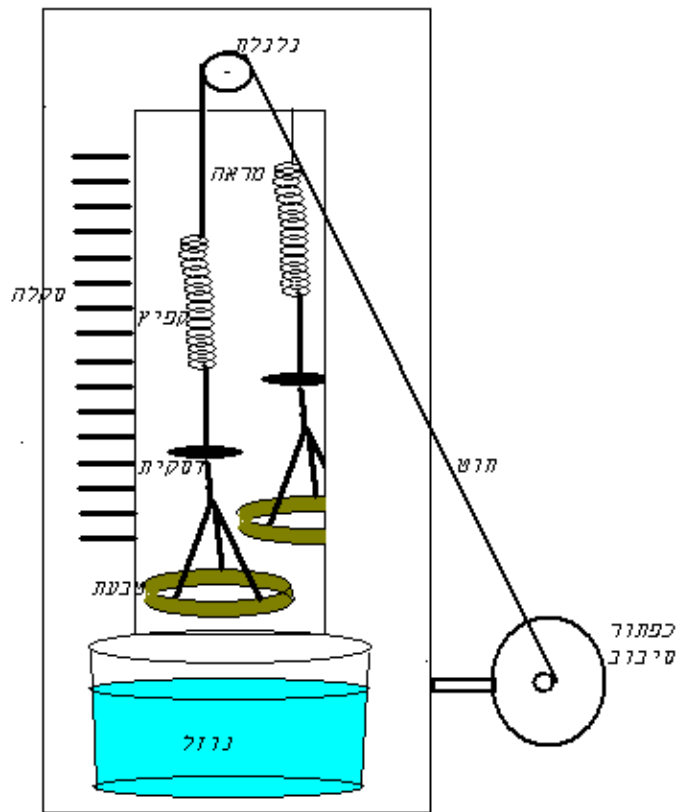
5. לעתים, ניתנות תרופות באמצעות מזלף. הסבר כיצד ניתן לבצע מדידה מדויקת באמצעות מזלף. (רמז: הטיפה תתנתק ברגע שמשקלה ישווה לכוח מתח הפנים המופעל עליה מפייט המזלף)



איור 2 : מזלף

נתון נוזל שצפיפותו 1 גרם לסמ"ק ומתח הפנים שלו 70 דין לס"מ. כמה טיפות יש לטפטף באמצעות מזלף שקוטר פתחו 3 מ"מ כדי לקבל 0.2 סמ"ק? הניחו שעובי דפנות המזלף זניח.

2. מהלך הניסוי



איור 3 : מערכת הניסוי למדידת מתח הפנים באמצעות טבעת.

2.1 מציאת קבוע הקפיץ k

א. מציאת k בעזרת ההתארכות:

- תתלו בתחתית הקפיץ את הדסקית העגולה (ראו איור 3). קריאת הסקלה מתבצעת כאשר כיוון ההסתכלות הוא אופקי, הקריאה הנכונה היא מיקום הדיסקית על גבי הסקלה, כאשר דמות הדיסקית במראה מתלכדת עם הדסקית עצמה.
- תשקלו כל משקולות ותתלו בקפיץ משקולות באמצעות מחזיק המשקולות מ-3gr עד 11gr בקפיצות של 2gr בערך. (סה"כ 5 מסות).
- עבור כל מסה חישבו את הכוח F הפועל על הקפיץ ורישמו את התארכות הקפיץ X שנגרמה עקב הפעלת הכח. (ביחידות C.G.S: $g = 980 \frac{cm}{sec^2}$, המסה ב-gr, קבוע הקפיץ ב- $\frac{dyne}{cm}$).
- תערכו גרף של F כפונקציה של x , ותמצאו מתוך שיפוע הגרף את קבוע הכוח k של הקפיץ. תמצאו גם את השגיאה ב- k .

ב. מציאת k בשיטת התנודות:

- תתלו בתחתית הקפיץ את מחזיק המשקולות ואת המשקולות כמו בסעיף א', ותמדדו את זמן המחזור T של התנודות עבור מסות שונות. (סה"כ 5 מסות). לשם כך, תמדדו את הזמן שלוקח למשקולות להשלים 10 מחזורים וחלקו ב-10. ספירת המחזורים צריכה להתבצע באופן הבא: משיכת הקפיץ עם המחזיק ומשקולות מטה, הפעלת השעון יחד עם שחרור הקפיץ, ספירת מחזור ראשון אחרי שהמשקולות תגיע לניקודה תחתונה שממנה שוחררה.
- על מנת לערוך את התוצאות בגרף ליניארי נעלה בריבוע את משוואה (3) כדי לקבל:

$$(4) \quad T^2 = \frac{4\pi^2}{k} m$$

המסה m שמשפיעה על זמן המחזור מורכבת מהמסה הידועה m_I (מסת המשקולות יחד עם מחזיק המשקולות) וכן ממסה אפקטיבית m^* של הקפיץ.

$$(5) \quad m = m_I + m^*$$

לכן המשוואה (4) תעבור כעת למשוואה

$$(6) \quad T^2 = \frac{4\pi^2}{k} m_I + \frac{4\pi^2}{k} m^*$$

- תערכו גרף של T^2 כנגד m_I , ותמצאו מתוך הגרף את k ואת השגיאה ב- k .
- מתוך נקודת החיתוך של הגרף עם הציר של T^2 , ניתן למצוא את המסה האפקטיבית m^* של הקפיץ. הסבירו מדוע עלינו להכניס למשוואה (6) את המסה האפקטיבית, ומדוע לא נוכל להשתמש במשוואה (4) כמו שהיא. חשבו מה מייצגת המסה האפקטיבית מבחינה פיזיקלית, האם זו מסת הקפיץ? תמצאו מהו היחס בין המסה האפקטיבית של הקפיץ לבין מסתו האמיתית. (לשם כך יהיה עליכם לדעת את מסת הקפיץ ע"י שקילתו).

- השוו בין ערכי k כפי שנמדדו בשיטת ההתארכות ובשיטת התנודות. במידה וישנם הבדלים משמעותיים נסו להסביר את מקורם.

2.2 מדידת מתח הפנים של מים ושל כוהל

- תמדדו את קוטר הטבעת בשפתה החדה (D). חישבו את אורך קו המגע בין הטבעת לקרום פני הנוזל. (אורך קו המגע הפנימי והחיצוני $L \approx 2\pi D$)
- חברו את הטבעת אל הדסקית כך ששפתה החדה כלפי מטה ומקבילה לפני הנוזל (ראו איור 1,3). השקיעו את הטבעת בתוך הנוזל ותעלו אותה באיטיות ע"י סיבוב כפתור הסיבוב. עקבו במשך כל הזמן אחר קריאת הסקאלה עד לרגע ההינתקות.
- תמצאו את הכוח של מתח הפנים על פי ההפרש של קריאות הסקלה ברגע ההינתקות ובמצב שיווי המשקל שאליו מגיע הקפיץ לאחר הניתוק ($F = k\Delta X$). (עליכם להשתמש בערך k , שמצאתם בשיטת ההתארכות ובשיטת התנודות). רגע ההינתקות מתואר באיור 1. נגיעה קלה בגלגלת כאשר הקרום מתוח, תגרום לטבעת להתנתק מהמים. לאחר הניתוק, ברגע שהתנודות ייפסקו והטבעת תתייצב, הגעתם לנקודת שיווי המשקל.
- בצעו את המדידה מספר פעמים הן לגבי מים מזוקקים והן לגבי כהל אתילי. תמצאו את γ הממוצע עבור המים ועבור הכוהל, וכן את השגיאה.
- השוו את הערכים שמדדתם עם הערכים המצויים בספרות: מתח פנים של מים בטמפרטורת החדר $72 \text{ dyne}\cdot\text{cm}^{-1}$, ושל כהל $22 \text{ dyne}\cdot\text{cm}^{-1}$. מהו ה- k שנותן תוצאות מדויקות יותר. חשבו האם היו במהלך הניסוי תופעות העלולות לגרום לשגיאה שיטתית במדידות (מעבר לשגיאות סטטיסטיות), כגון: טבעת לא אופקית, שימוש בקוטר פנימי/חיצוני של הטבעת, קביעת ערכו של קבוע הקפיץ ועוד.

2.3 היחס בין המשקלים של טיפות מים וכהל

- תשקלו את הבקבוקון הנתון לכם בעזרת המאזניים האנליטיים.
- טפטפו בעזרת מזלף מספר טיפות כהל לתוך הבקבוקון, ותשקלו אותו שנית. תמצאו לפי זה את משקלה הממוצע של טיפה אחת. שטופו את המזלף במים.
- באופן דומה, תוך שימוש באותו המזלף, תמצאו גם את משקלה של טיפת מים. מהו היחס שבין המשקלים של טיפת המים והכוהל?
- האם קיים קשר בין משקל הטיפות לבין מתח הפנים?

- חשבו : כיצד יש ללחוץ על המזלף? באיזו זווית להחזיקו? הסבירו.

2.4 ניסויים נוספים (הדגמות של מדריך)

כאשר מכניסים סבון לתוך המים מתח הפנים יורד בצורה משמעותית, ראה לדוגמא תמונה 1 בעמוד הפתיחה בה רואים את קרום מי הסבון נמשך עם הטבעת ולא נקרע. האנרגיה האגורה בקרום פרופורציונית לשטחו, ולכן יישאף הקרום למצב של שטח פנים מינימלי.

- הכניסו את הדגמים לתוך מי הסבון והוצא, שימו לב שהקרום אינו עוטף את הדגם אלא מסתדר בצורה מסוימת. מהי?
- הכניסו את המסגרת עם החוט למי הסבון והוציאו, וודאו שהקרום ממלא את המסגרת. נקבו את אחד הצדדים, מה התרחש? מדוע?
- הכניסו טבעת אופקית כמו בתמונה 1 ונסה למשוך את קרום הנוזל גבוה ככל הניתן, העריכו באיזה גובה מתנתק הקרום. נסו להשוות בין שטח מעטפת הגליל הנמשך עם הטבעת לבין שטח הטבעת, ולהסביר את ההתנתקות.