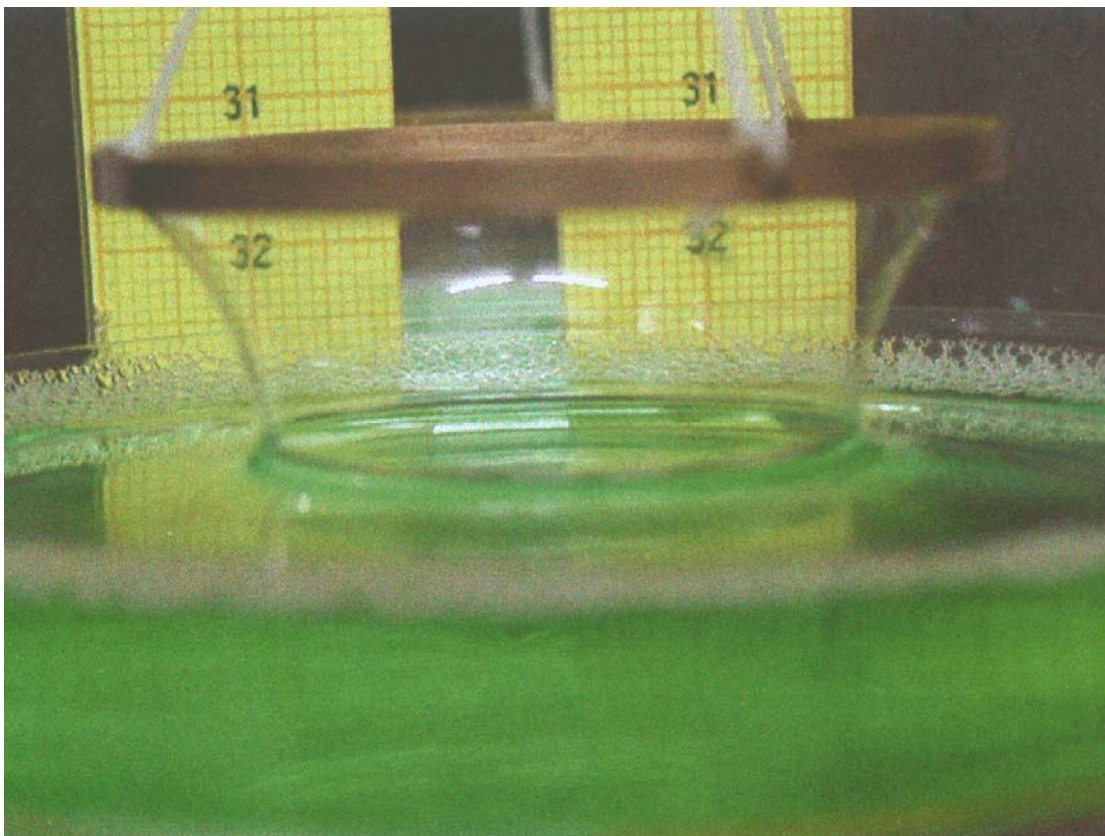


-מתח פנים-

## 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" ועוטף 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, 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  $\gamma$  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  $L$ .

-מתח פנים-

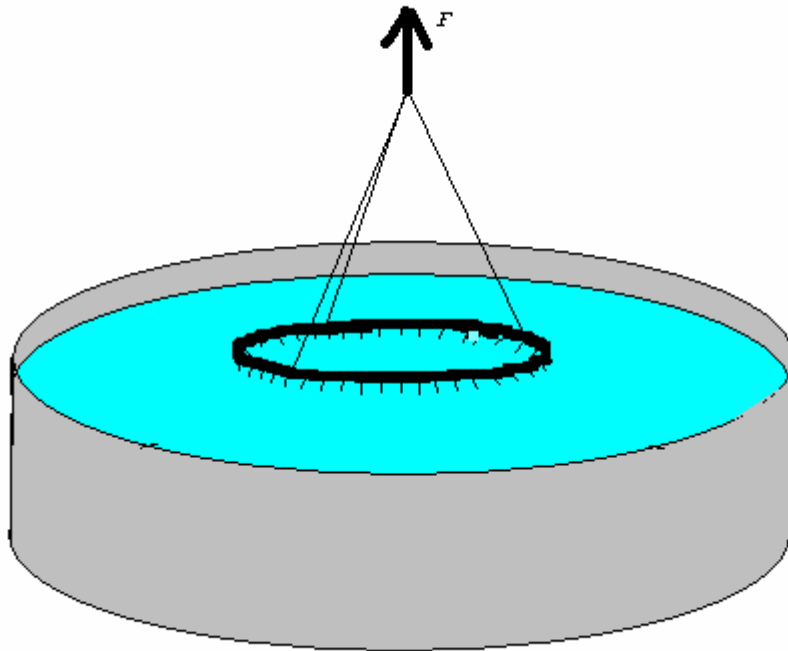
$$(1) \quad \gamma = \frac{F}{L}$$

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

### 1.2 תיאור הניסוי

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

מערכת הניסוי מתוארת בציור 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 ציור 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.

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

למידת 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  $k$ .

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

כאשר  $\Delta F$  היא תוספת הכוח שגורמת לתוספת  $\Delta x$  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'.

### 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?

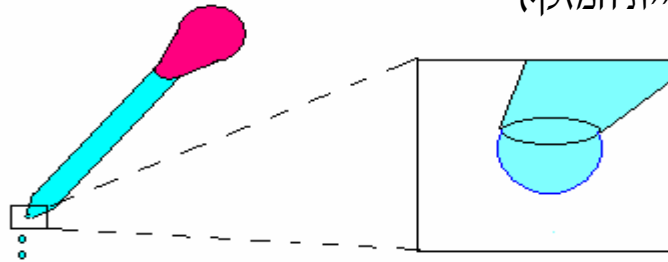
(ב) חברו את הקפיצים בטור. מהו הקבוע של הקפיץ השקול?

(ג) מה יהיה זמן המחזור של מסה התלויה על מערכת הקפיצים בסעיף א' וב'?

2. הסבר מדוע חשוב להקפיד על כך שהטבעת בצירור 1 תהיה אופקית. במידה והטבעת נוטה מעט, כיצד ישפיע הדבר על תוצאות הניסוי? האם נמדוד מתח פנים גדול או קטן מערכו האמיתי ?

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.

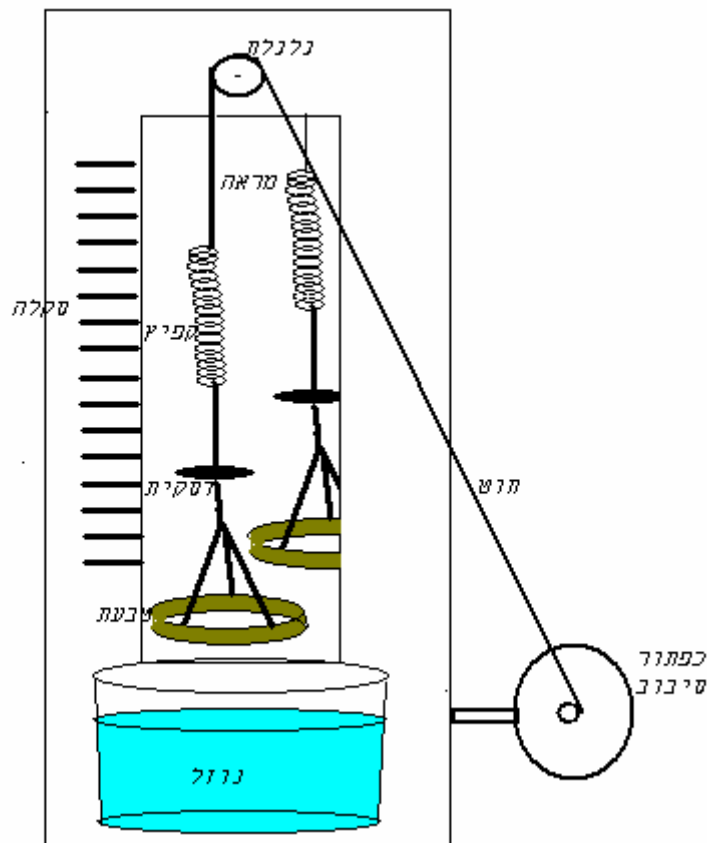
4. לעתים, ניתנות תרופות באמצעות מזלף. הסבר כיצד ניתן לבצע מדידה מדויקת באמצעות מזלף. (רמז: הטיפה תתנתק ברגע שמשקלה ישווה לכוח מתח הפנים המופעל עליה מפייט המזלף)



ציור 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 ?

## 2. מהלך הניסוי



ציור 3 : מערכת הניסוי למדידת מתח הפנים באמצעות טבעת.

## 2.1 מציאת קבוע הרפיץ $k$

א. קביעת תחום העבודה :

- שקול את הטבעת הנתונה, משקלה משמש גבול תחתון לכוח הפועל על הקפיץ במהלך הניסוי.
- מדוד את קוטר הטבעת בשפתה החדה (איזה קוטר תמדוד, הפנימי או החיצוני?), חשב את אורך קו המגע בין הטבעת לקרום פני הנוזל.
- הנח כי מתח הפנים של הנוזל הוא לכל היותר 80 דין/ס"מ, חשב את הכוח שיפעילו פני הנוזל על הטבעת. משקל הטבעת + כוח מתח הפנים מהווה גבול עליון לכוח הפועל על הקפיץ.

ב. מציאת  $k$  בעזרת ההתארכות :

- תלה בתחתית הקפיץ את הדסקית העגולה (ראה ציור 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.
- תלה בקפיץ משקלות באמצעות מחזיק המשקלות, החל במשקל הקטן ב 1 גר"כ ממשקל הטבעת ועד למשקל הגדול ב 1 גר"כ מהגבול העליון שחישבת בסעיף א'. (שים לב לקחת בחשבון גם את מחזיק המשקלות).
- מדוד את התוספות  $\Delta F$  ו-  $\Delta x$  של הכוח ושל ההתארכות.
- ערוך גרף של  $\Delta F$  כפונקציה של  $\Delta x$ , ומצא מתוך שיפוע הגרף את קבוע הכוח  $k$  של הקפיץ. תן את התוצאה ל- $k$  ביחידות שונות  $\left(\frac{\text{גר"כ}}{\text{ס"מ}}, \frac{\text{ג"ר"כ}}{\text{ס"מ}}\right)$ .

מצא גם את השגיאה ב- $k$ .

ג. מציאת  $k$  בשיטת התנודות :

- תלה בתחתית הקפיץ את המשקלות כמו בסעיף ב', ומדוד את זמן המחזור  $T$  של התנודות עבור מסות שונות בתחום העבודה.
- 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) וכן ממסה אפקטיבית  $m^*$  של הקפיץ, הדסקית ועוד.

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

- לכן המשוואה (4) תעבור כעת למשוואה

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

- ערוך גרף של  $T^2$  כנגד  $m_I$ , ומצא 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. הסבר מדוע עלינו להכניס למשוואה (6) את המסה האפקטיבית, ומדוע לא נוכל להשתמש במשוואה (4) כמו שהיא. חשוב מה מייצגת המסה האפקטיבית מבחינה פיזיקלית, האם זו מסת הקפיץ? מצא מהו היחס בין המסה האפקטיבית של הקפיץ לבין מסתו האמיתית. (לשם כך יהיה עליך לדעת את מסת הקפיץ ע"י שקילתו).
- השווה בין ערכי  $k$  כפי שנמדדו בשיטת ההתארכות ובשיטת התנודות. במידה וישנם הבדלים משמעותיים נסה להסביר את מקורם. באיזה ערך עדיף להשתמש בניסוי הבא (מדידת מתח פנים באמצעות טבעת).

## 2.2 מדידת מתח הפנים של מים ושל כוהל

- חבר את הטבעת אל הדסקית כך ששפתה החדה כלפי מטה ומקבילה לפני הנוזל (ראה ציור 1,3). השקע את הטבעת בתוך הנוזל והעלה אותה באיטיות ע"י סיבוב כפתור הסיבוב. עקוב במשך כל הזמן אחר קריאת הסקאלה עד לרגע ההינתקות.
- מצא את הכוח של מתח הפנים על פי ההפרש של קריאות הסקלה ברגע ההינתקות ובמצב שיווי המשקל שאליו מגיע הקפיץ לאחר הניתוק. (עליך להשתמש בערך שמצאת קודם עבור  $k$ ).
- בצע את המדידה מספר פעמים הן לגבי מים מזוקקים והן לגבי כהל אתילי.

מצא את  $\gamma$  עבור המים והכוהל, וכן את השגיאה.

- השווה את הערכים שמדדת עם הערכים המצויים בספרות: מתח פנים של מים בטמפרטורת החדר  $72 \text{ dyne}\cdot\text{cm}^{-1}$ , ושל כהל  $22 \text{ dyne}\cdot\text{cm}^{-1}$ . חשוב 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

- שקול את הצלוחית הנתונה לך בעזרת המאזניים האנליטיים.
- טפטף בעזרת מזלף מספר טיפות מים לתוך הצלוחית, ושקול אותה שנית. מצא לפי זה את משקלה הממוצע של טיפה אחת.
- באופן דומה, תוך שימוש באותו המזלף, מצא גם את משקלה של טיפת כוהל. מהו היחס שבין המשקלים של טיפת המים והכוהל?
- האם קיים קשר בין משקל הטיפות לבין מתח הפנים?
- חשוב: כיצד יש ללחוץ על המזלף? באיזו זווית להחזיקו? הסבר.

### 2.4 ניסויים נוספים

כאשר מכניסים סבון לתוך המים מתח הפנים יורד בצורה משמעותית, ראה לדוגמה 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.

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