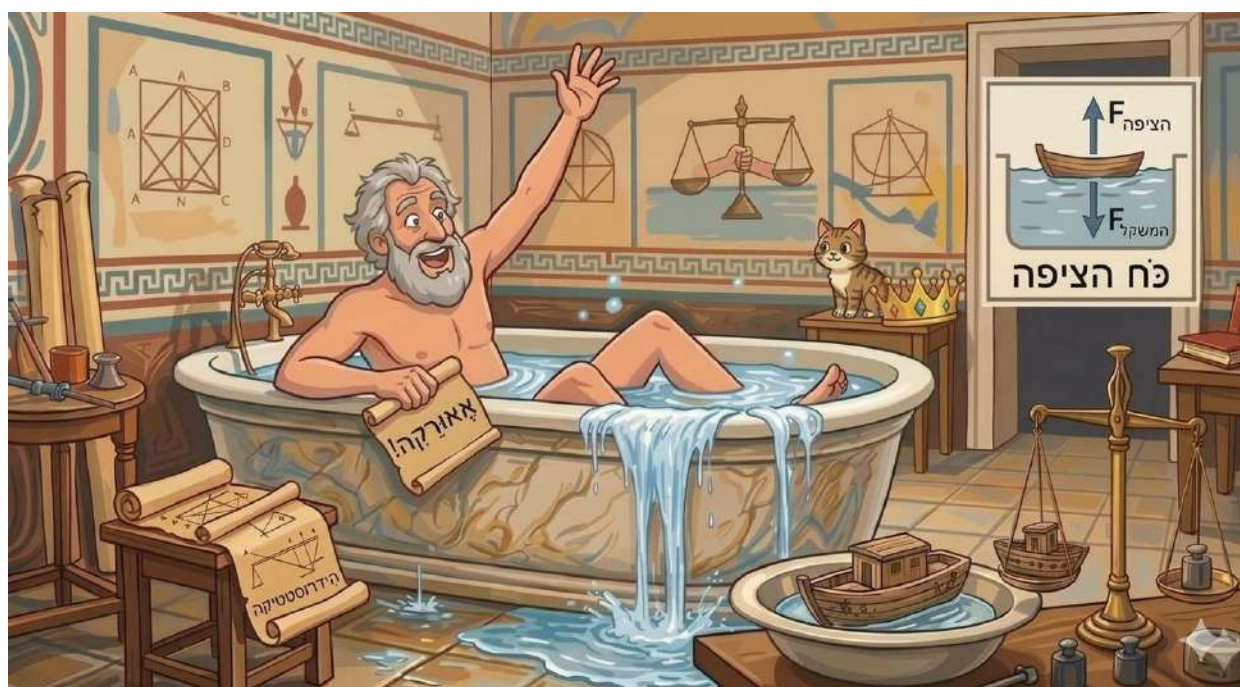




## סודות חוקי ארכימדס מדריך הוראה היסטורי-ניסויי לחטיבת הביניים



אהוד בר  
אנג'לה קנבסקי

## תוכן עניינים

|            |                                                                      |
|------------|----------------------------------------------------------------------|
| 3.....     | קהל היעד של המדריך                                                   |
| 3.....     | רקע היסטורי                                                          |
| 4-10.....  | ניסוי 1 : היכרות עם חוק ארכימדס – מדידת כוח עילוי ומציאת צפיפות המים |
| 10-21..... | ניסוי 2 : היחס שלא משתנה-סוד האיוון בין כוח עילוי למומנט             |
| 22.....    | תובנות דידקטיות ומסקנות כלליות                                       |

# סודות חוקים ארכימדס

## מדריך הוראה היסטורי-ניסויי לחטיבת הביניים

### קהל היעד של המדריך

הפעילות משתלבת בצורה טובה מאוד בתוכנית הלימודים של כיתה ח' במסגרת לימודי פיזיקה ומדעי הטבע (בנושאי כוחות, לחץ בנוזלים וחוק ארכימדס). המדריך במתכונת הנוכחית נבנה כך שהוא נגיש ומותאם במדויק לרמה של שכבת גיל זו, אך המבנה שלו הוא גמיש מספיק כדי לשמש גם כאתגר חקר מצוין ומעמיק עבור כיתות ט' או כיתות מצוינות בחטיבת הביניים.

### רקע היסטורי

#### מי היה ארכימדס?

ארכימדס היה מדען, מתמטיקאי וממציא יווני גאון שחי לפני יותר מ-2,200 שנה (במאה ה-3 לפני הספירה) בעיר סירוקוז שבסיציליה. הוא נחשב לאחד המוחות הגדולים ביותר בהיסטוריה האנושית, וההמצאות שלו הקדימו את זמנן במאות שנים.

#### הסיפור המפורסם על הכתר וקריאת "אאורקה"!

הסיפור המוכר ביותר עליו קרה כאשר מלך סירוקוז קיבל כתר זהב חדש, אך חשד שהצורף רימה אותו וערבב בפנים כסף זול. המלך ביקש מארכימדס לגלות את האמת, אבל בלי להרוס או להתיך את הכתר.

ארכימדס התלבט ארוכות, והפתרון הגיע אליו דווקא כשהלך להירגע באמבטיה הציבורית: הוא שם לב שכאשר הוא נכנס למים, גובה המים עולה וחלק מהם נשפכים החוצה. הוא הבין מיד שנפח המים שנשפכו שווה בדיוק לנפח הגוף שלו שנכנס למים. מרוב התרגשות, הוא קפץ מהאמבטיה ורץ עירום ברחובות העיר כשהוא צועק "אאורקה! אאורקה!" (ביוונית: "מצאתי! מצאתי!"). בזכות הגילוי הזה, הוא הטביע את הכתר ואת גוש הזהב במים, השווה את כמות המים שהם דחפו, והוכיח שהצורף אכן רימה את המלך.

#### תרומתו למדע

מעבר לסיפור המשעשע, ארכימדס ניסח חוק פיזיקלי חשוב ("חוק ארכימדס"): על כל גוף שנמצא בתוך נוזל פועל כוח דחיפה כלפי מעלה (כוח עילוי), השווה למשקל הנוזל שהגוף דוחה. בניסויים שבמדריך, הוסבר בדיוק את הכוח הזה בפעולה. קסמו של ארכימדס לא הצטמצם רק לחוקי הציפה והאמבטיה המפורסמת; הוא היה גם האדם שפיצח בצורה המדעית והמדויקת ביותר את חוק המנוף והמומנטים!

ארכימדס הוא זה שטבע את המשפט ההיסטורי המפורסם: "תנו לי נקודת משען, ואוכל להזיז את העולם". הוא הבין שבאמצעות מנוף, כוח קטן שפועל רחוק מנקודת המשען יכול לאזן או להרים משקל עצום שקרוב אליה.

**בניסויים שבמדריך, אתם הולכים להפגיש את שני הגילויים הגדולים של ארכימדס.**

## ניסויים:

### ניסוי 1: היכרות עם חוק ארכימדס – מדידת כוח עילוי ומציאת צפיפות המים

#### 1. הרקע המדעי והאתגר

בניסוי זה נכיר מקרוב את הכוחות הפועלים על גופים הצפים או שוקעים במים, ונבין כיצד נפח הגוף הטבול משפיע באופן ישיר על עוצמתו של כוח העילוי. בנוסף, נשתמש בנתונים שנאספו כדי לחשב את קבוע צפיפות החומר של המים.

#### **הבנת הציפה והקשר שלה עם עקרון ארכימדס**

כוח הציפה הוא הכוח כלפי מעלה שהנוזל מפעיל על גוף ששקוע בתוכו. הכוח הזה נמצא ביחס ישר (פרופורציונלי) לנפח הנוזל שהגוף דוחה הצידה. עיקרון ארכימדס הוא למעשה הבסיס לציפה, והוא זה שמסביר לנו למה חפצים צפים או שוקעים בנוזלים. תחשבו על הפעם האחרונה שהייתם בבריכה וניסיתם להטביע כדור ים מתנפח. נכון שהרגשתם שהמים "נלחמים" בכם ודוחפים את הכדור בכוח בחזרה למעלה? הכוח הזה שאתם מרגישים בידיים נקרא **כוח הציפה** (או בשמו המדעי: **כוח העילוי**). זוהי למעשה דחיפה כלפי מעלה שהמים (או כל נוזל אחר) מפעילים על גוף שנמצא בתוכם.

#### דוגמאות לציפה בחיי היומיום

לכוח הציפה יש מגוון רחב של יישומים מעשיים בחיי היום-יום. למשל, חליפות הצלה מתוכננות לשמור על האדם מעל פני המים על ידי יצירת כוח ציפה גדול מספיק שיאזן את משקל הגוף שלו. באותו אופן, סירות וספינות בנויות כך שהן מנצלות את כוח הציפה של המים כדי לצוף.

ניתן לחשב את כוח העילוי באמצעות הנוסחה הבאה:

$$F_b = \rho \cdot V \cdot g$$

$F_b$  - כוח העילוי (Buoyant force), נמדד בניוטון (N).

$\rho$  (רו) - צפיפות הנוזל (או הגז) שבו נמצא הגוף, נמדדת בק"ג למטר מעוקב. ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  - נפח הגוף ששקוע בתוך הנוזל (רק החלק שנמצא מתחת למים), נמדד במטר מעוקב ( $\text{m}^3$ ).

$g$  - תאוצת הכובד (על כדור הארץ מדובר בערך ב- $9.8 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$ ).

## 2. מערך הניסוי והציוד הנדרש

הניסוי פשוט מאוד להפעלה, חזותי ומתאים לעבודה בקבוצות קטנות של תלמידים.

### רשימת ציוד:

בקבוק פלסטיק שקוף בנפח 330 או 500 מ"ל, משורת מדידה / מבחנת מים (או בקבוקון עם סימוני נפח מדויקים), כוס כימית גדולה או מיכל פלסטיק פתוח למילוי מים, דינמומטר (מד כוח) מצויד בו תלייה, סטטיב (לייצוב המערכת), טוש צבעוני עמיד לסימון גובה המים.

## 3. מהלך השיעור והנחיות לביצוע הניסוי

### שלב א': הכנת הבקבוק המדורג

1. בקשו מהתלמידים למזוג בעזרת משורת המדידה כמות קבועה וידועה של מים (מומלץ מנות של 50 מ"ל בכל פעם) לתוך בקבוק הפלסטיק הריק.
2. לאחר כל מזיגה, התלמידים יסמנו בעזרת הטוש קו מדויק על גבי הבקבוק המציין את גובה פני המים (השנתות). יש לחזור על הפעולה 4–5 פעמים כדי ליצור סרגל נפחים מובנה על הבקבוק.
3. מוסיפים עוד קצת מים מעל השנתה העליונה, אך מקפידים שלא למלא את הבקבוק לחלוטין. סוגרים את הפקק היטב ומחברים אליו את וו התלייה.



שלב ב' : התקנת וו תלייה בפקק הבקבוק

**אפשרות 1: בורג-וו (הכי יציב)**

1. מנקבים חור קטן במרכז הפקק בעזרת נעץ או מסמר.
2. מבריגים לתוך החור בורג-וו קטן (בורג טבעת).
3. מוסיפים טיפת דבק חס בחלק הפנימי של הפקק כדי לאטום מנזילות ולקבע את הבורג.

**אפשרות 2: אטב נייר (הכי זמין)**

1. מנקבים חור במרכז הפקק.
2. מיישרים אטב נייר, ומשאירים רק את קצהו העליון מכופף בצורת וו.
3. משחילים את האטב **מבתוך** הפקק כלפי חוץ (כך שהוא בולט למעלה).
4. מקפלים את שארית המתכת שבתוך הפקק כדי שלא תישלף, ואוטמים בטיפת דבק חס.

שלב ג' : מדידות וטבילה הדרגתית

1. **מדידת המשקל באוויר**: תולים את הבקבוק המלא על הדינמומטר (באוויר) ומודדים את משקלו הכולל. רושמים את הערך שהתקבל.
  2. ממלאים את המיכל או הכוס הכימית הגדולה במים עד לכשני שליש מגובהם.
  3. **טבילה הדרגתית**: מורידים את הבקבוק התלוי על הדינמומטר באיטיות לתוך מיכל המים (ניתן להיעזר בסטטיב). עוצרים בדיוק כאשר פני המים שבמיכל מגיעים אל השנתה התחתונה שסומנה על הבקבוק (טבילה של 50 מ"ל).
  4. קוראים את המשקל החדש שמראה הדינמומטר ורושמים אותו בטבלה.
  5. חוזרים על שלב זה עבור כל שנתה ושנתה (בכל פעם מטביעים חלק גדול יותר מהבקבוק) ומתעדים את המשקל המשתנה.
- דגש חשוב במהלך הניסוי**: יש לוודא שהבקבוק תלוי בצורה חופשית ואנכית, ואינו נוגע בשום שלב בקרקעית המיכל או בדפנות שלו.



שלב ד': איסוף נתונים ועיבוד תוצאות

להלן דוגמה לריכוז הנתונים מתוך הניסוי. **חשוב:** כוח העילוי מחושב כהפרש בין משקל הבקבוק באוויר למשקלו בתוך המים:

משקל המערכת באוויר (לפני חישוב כוח העילוי): \_\_\_\_\_:

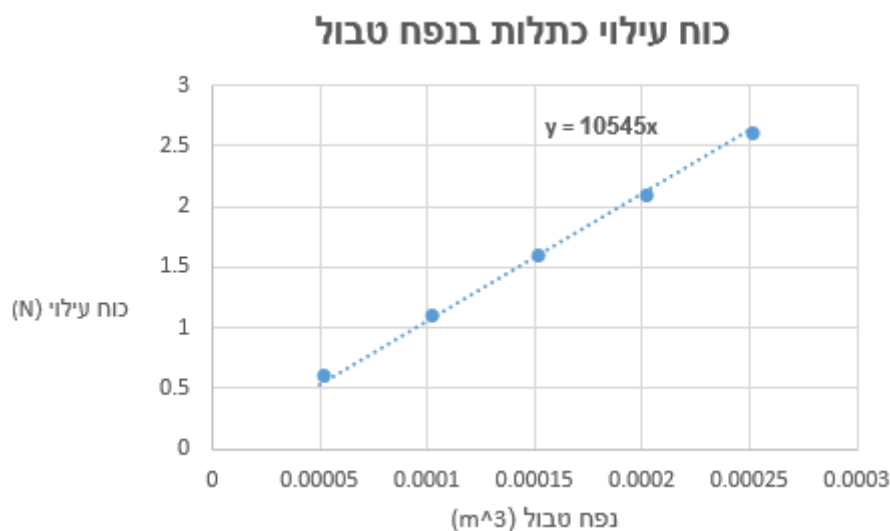
| נפח טבול (מיליליטר) | נפח טבול ( $3^m$ ) | כוח עילוי נמדד (ניוטון) |
|---------------------|--------------------|-------------------------|
| 50                  | 0.00005            | 0.6                     |
| 100                 | 0.00010            | 1.1                     |
| 150                 | 0.00015            | 1.6                     |
| 200                 | 0.00020            | 2.1                     |
| 250                 | 0.00025            | 2.6                     |

שלב ה': סרטוט גרף ומציאת צפיפות המים

הנחו את התלמידים לפעול לפי השלבים הבאים:

1. סרטוט הגרף: סרטוט גרף פיזור של כוח העילוי ביחידות של ניוטון בציר ה- $y$  כפונקציה של הנפח הטבול ביחידות של  $\text{m}^3$  בציר ה- $x$ .
2. העברת קו מגמה: העבירו קו ישר מיטבי (קו מגמה ליניארי) בין הנקודות. הקו צפוי לעבור בקירוב רב דרך ראשית הצירים  $(0,0)$ .
3. חישוב שיפוע הגרף: בחרו שתי נקודות מרוחקות על גבי קו המגמה וחשבו את השיפוע.
4. לפי השיפוע תחשבו צפיפות המים (כדי למצוא את צפיפות המים נחלק את שיפוע הגרף שקיבלנו בתאוצת הכובד).

דוגמה לגרף:



$$\text{חישוב צפיפות המים: } \frac{10545}{9.8} = 1076.02 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

שלב ו': סיכום וניתוח- השוואת הצפיפות הנמדדת לערך התיאורטי

לאחר שהתלמידים חישוב את צפיפות המים, יש להנחות אותם לבצע השוואה לערך התיאורטי:

1. יש לציין בפני התלמידים כי הערך התיאורטי המקובל של צפיפות מים מזוקקים בטמפרטורת החדר הוא:

$$\rho_{theoretic} = 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

2. ניתן להנחות את התלמידים לחשב את מידת הדיוק של הניסוי שלהם באמצעות הנוסחה:

$$\text{Error \%} = \left| \frac{\rho_{theoretic} - \rho_{exp}}{\rho_{theoretic}} \right| \times 100$$

שלב ז': דיון דידקטי בכיתה – ניתוח אי-דיוקים ושגיאות מדידה: כמורים, ננצל שלב זה כדי לפתח חשיבה מדעית ולדון עם התלמידים מדוע התוצאה מהניסוי לעיתים שונה מהערך התיאורטי.

#### גורמים מרכזיים לדיון:

- שגיאת פרלקסה (זווית ראייה): חוסר דיוק בקריאת מדידות בדינמומטר או בקריאת נפח המים בכלי המדידה.
- צפיפות מי הברז: בניסוי מעבדתי משתמשים לרוב במי ברז המכילים מלחים ומינרלים מומסים, ולכן צפיפותם האמיתית מעט גבוהה מ-1 גרם לסמ"ק.

• ר

#### 4. דגשים דידיקטיים וטעויות נפוצות של תלמידים

- **הטעות הנפוצה של התלמידים:** כאשר התלמידים מטביעים את הבקבוק במים ורואים את המחוג של הדינמומטר זז ומשתנה, הנטייה האינטואיטיבית שלהם היא לחשוב שערך הכוח שמופיע על הצג הוא "כוח העילוי" עצמו.
- **ההסבר הנכון (הטעות והסברה):** חשוב להבהיר לתלמידים כי הדינמומטר אינו מודד את כוח העילוי, אלא את כוח המתיחות של הקפיץ – כלומר, את המשקל ה"הנותר" של הגוף בתוך המים (מה שמכונה בפיזיקה "משקל מדומה").

י

נ

#### איך נסביר להם את מאזן הכוחות?

- על הבקבוק הטבול פועלים שני כוחות מנוגדים בכיוונים:
- **כוח הכובד:** מושך את הבקבוק כלפי מטה (זהו המשקל האמיתי והקבוע של הבקבוק, כפי שנמדד באוויר).
- **כוח העילוי:** דוחף את הבקבוק כלפי מעלה (מטעם המים).
- הדינמומטר בעצם "עוזר" למים להחזיק את הבקבוק כדי שלא ישקע. לכן, הקריאה בדגנומטר שונה למשקל באוויר פחות מכוח העילוי שבו השתמשו התלמידים.

- השורה התחתונה שצריך להדגיש בכיתה: ככל שאנו מטביעים חלק גדול יותר מהבקבוק, המים דוחפים אותו חזק יותר מלמטה למעלה (כוח העילוי גדל). מכיוון שהמים עושים "יותר עבודה" בלהחזיק את הבקבוק, הדינמומטר צריך להתאמץ פחות – ולכן הקריאה בדינמומטר תלך ותקטן.
- **שגיאת פרלקסה במדידת הנפח:** בדיוק כמו בניסוי הבא, המדידה של קווי הנפח וההתאמה לפני המים החיצוניים חייבת להתבצע בדיוק בגובה העיניים כדי למנוע טעויות קריאה.

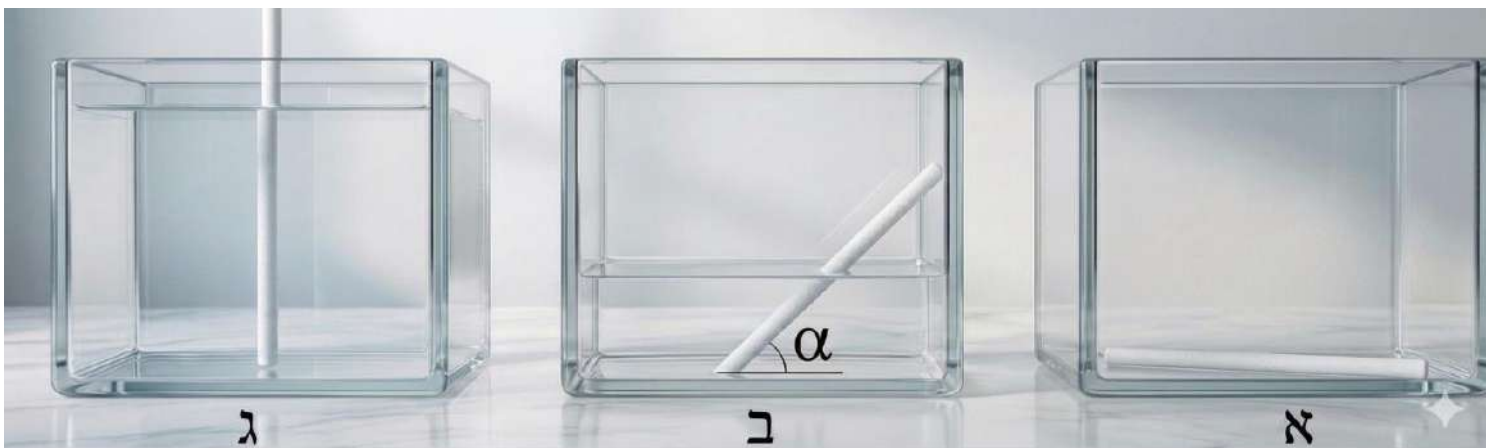
## ניסוי 2: היחס שלא משתנה - סוד האיזון בין כוח עילוי למומנט

### 4. הרקע המדעי והאתגר

הניסוי מבוסס על בעיה קלאסית שניסח פרופסור שמעון לויט ממכון ויצמן למדע. האתגר המחשבתי מעורר השראה: אנו מציבים מוט קל (כמו קלקר) המחובר בציר לתחתית כלי. כאשר מוסיפים מים, המוט מתרומם בהדרגה בגלל כוח העילוי, עד שבגובה מים מסוים הוא נעמד בצורה אנכית לחלוטין (90 מעלות).

התגלית המפתיעה היא שכל עוד המוט נמצא בזווית נטייה (ולא קם לחלוטין), היחס בין החלק הטבול במים לבין החלק שמחוץ למים נשאר קבוע לחלוטין, ללא שום תלות בזווית הנטייה!

ההסבר הפיזיקלי (עבור המורה)



מוט העשוי מחומר בעל צפיפות מסוימת קשור בקצהו לציר המחובר לתחתית של כלי (תרשים א'). כאשר מוסיפים לתוך הכלי נוזל בעל צפיפות גדולה מצפיפות של המוט, הוא מתרומם בהדרגה (תרשים ב').

עד שבגובה מסוים של הנוזל בכלי הוא ניצב לתחתית הכלי (תרשים ג').  
 צריך להוכיח שכל עוד המוט לא הגיע למצב ג', היחס בין חלק המוט הנמצא מחוץ לנוזל, לחלק הטבול בנוזל, קבוע ובלתי תלוי בזווית שיוצר המוט עם התחתית הכלי, צריך לחשב את ערכו של יחס זה.

### הוכחה תיאורטית:



כוח הכובד ( $F_g$ ): יוצא ממרכז המוט (מרחק  $\frac{L}{2}$  מהציר) ומצביע למטה.  
 כוח העילוי ( $F_b$ ): יוצא ממרכז הטבול (מרחק  $\frac{l}{2}$  מהציר) ומצביע למעלה.  
 כדי למצוא את זרוע המומנט עבור כל כוח, צריך לעשות התל את המרחקים הללו ( $\frac{l}{2} - 1 - \frac{L}{2}$ ) על הציר האופקי. זו הסיבה שהנוסחה הסופית מכילה  $\cos \alpha$ .

### למה משתמשים בחצאי מרחקים ומה קורה בנקודת הציר?

1. בנקודת הציר (נקודת החיבור) פועל כוח תגובה מהקרקע, אבל כשאנחנו מחשבים מומנטים סביב נקודה זו, המרחק של הכוח מהציר הוא אפס. לכן המומנט שלו הוא אפס, וזה מאפשר לנו "להתעלם" ממנו במשוואה ולהתמקד רק בכוחות שגורמים לסיבוב (כוח הכובד וכוח העילוי).
2. המוט הוא גוף אחיד באורך  $L$ . כדור הארץ מושך את כל חלקי המוט, אבל מבחינה מתמטית, אפשר להתייחס לכל המשקל כאילו הוא מרוכז בנקודה אחת-מרכז

המסה. בגוף אחיד, נקודה זו נמצאת בדיוק באמצע, כלומר במרחק  $\frac{L}{2}$  מנקודת הציר.

3. כוח העילוי פועל רק על החלק שנמצא בתוך המים באורך  $l$ . המים "דוחפים" את החלק הטבול כלפי מעלה. מרכז הכוח הזה נמצא במרכז הגיאומטרי של החלק הטבול, כלומר במרחק  $\frac{l}{2}$  מנקודת הציר.

### ניתוח המומנטים

כדי שהמוט יישאר בזווית  $\alpha$  ולא ייפול או יזדקף, סכום המומנטים סביב הציר חייב להיות אפס (מומנט כוח הכובד שווה בגודל ומנוגד בכיוון למומנט כוח העילוי).

כוח הכובד:  $F_g = mg$ . המסה היא צפיפות המוט כפול נפח המוט כולו  $F_g = g L A \rho_{\text{המוט}}$  (A שטח החתך של מוט).

לפי חוק ארכימדס, כוח העילוי שווה למשקל הנוזל שנדחה על ידי החלק הטבול (אורכו  $l$ ).

$$F_b = g l A \rho_{\text{הנוזל}}$$

### חישוב המומנטים:

מומנט כוח הכובד:

$$M_g = F_g \frac{L}{2} \cos \alpha = g L A \rho_{\text{המוט}} \frac{L}{2} \cos \alpha$$

מומנט כוח העילוי:

$$M_b = F_b \frac{l}{2} \cos \alpha = g l A \rho_{\text{הנוזל}} \frac{l}{2} \cos \alpha$$

המומנטים שווים זה לזה:

$$M_g = M_b$$

$$g l A \rho_{\text{הנוזל}} \frac{l}{2} \cos \alpha = g L A \rho_{\text{המוט}} \frac{L}{2} \cos \alpha$$

בצמצום איברים נמחק את  $A, g, 2$  ואת  $\cos \alpha$  משני הצדדים. נשארים עם:

$$l^2 \rho_{\text{הנוזל}} = L^2 \rho_{\text{המוט}}$$

### תוצאה סופית:

נחלץ את היחס בין  $l$  ל-  $L$ :

$$\frac{l^2}{L^2} = \frac{\rho_{\text{המוט}}}{\rho_{\text{הנוזל}}}$$

היחס המבוקש בשאלה: החלק שבחוץ הנוזל  $L - l$  חלקי החלק שבתוך הנוזל  $l$ .

$$\frac{L - l}{l} = \frac{L}{l} - 1 = \sqrt{\frac{\rho_{\text{הנוזל}}}{\rho_{\text{המוט}}}} - 1$$

כפי שניתן לראות מהנוסחה: היחס הוא קבוע.

## 2. מערך הניסוי והציוד הנדרש

הניסוי מצוין להדגמה כיתתית או לעבודה בקבוצות קטנות.

### רשימת ציוד:

אקווריום קטן או מיכל זכוכית שקוף בעל דפנות ישרות. חלק משיפוד עץ/מתכת המודבק היטב לתחתית האקווריום ומיועד לשמש כציר קבוע. פס קלקר אחיד שנחתך במדויק, עליו מסומנים קווי מדידה.

דגש חשוב: יש לוודא שהחיבור בין פס הקלקר לציר השיפוד הוא בעל חיכוך מינימלי, כדי לאפשר תנועה חופשית לחלוטין של הקלקר.

קנקן מים להוספה הדרגתית, מצלמה/טלפון חכם (לתיעוד מול מרכז המיכל).

### בניית הניסוי

#### שלב 1: הכנת ציר הציפה במוט הקלקר (מניעת חיכוך)

אם נשחיל את השיפוד ישירות לתוך הקלקר, הקלקר יתקע והחיכוך יפריע לו להסתובב. לכן נעשה פטנט קטן:

1. הנחו את התלמידים לקחת חתיכה קטנה של קשית מפלסטיק (באורך רוחב מוט הקלקר).

2. בעזרת ראש של שיפוד, יש ליצור בעדינות חור עובר בקצה אחד של מוט הקלקר (כחצי סנטימטר מהקצה התחתון).

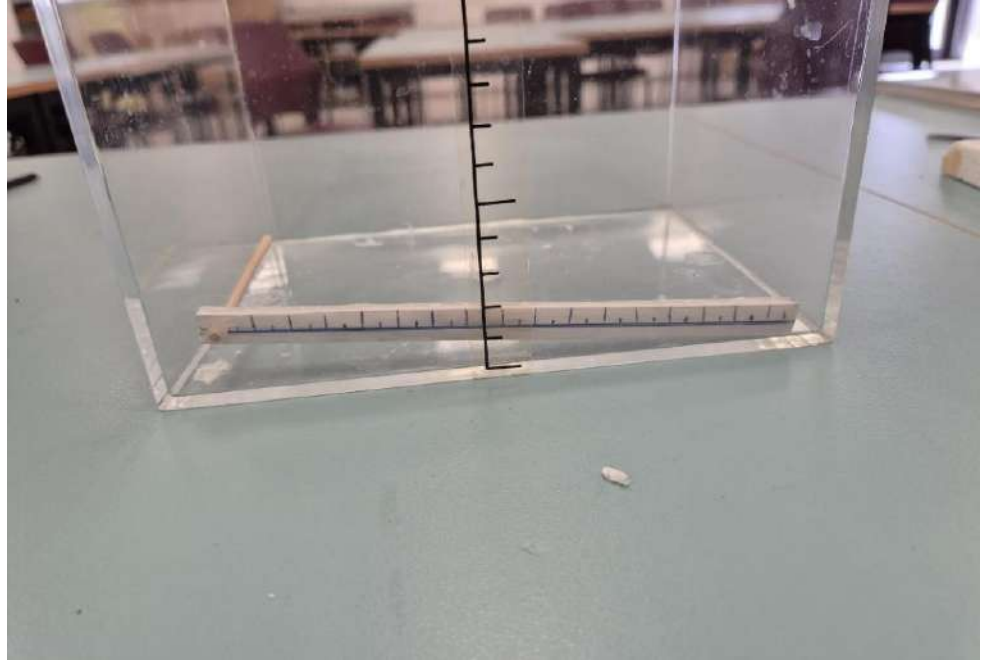
3. יש להשחיל את חתיכת הקשית לתוך החור שנוצר בקלקר, או להדביק חתיכת הקשית לדופן של מוט הקלקר.

4. כעת, מנחים את התלמידים להשחיל את השיפוד לתוך הקשית. בשלב זה חשוב לוודא שהקלקר מסתובב סביב השיפוד בצורה חופשית לחלוטין ובקלות.

#### שלב 2: קיבוע השיפוד לתחתית המיכל

- עכשיו עלינו להדביק את הציר (השיפוד) לתחתית המיכל בצורה יציבה ואופקית, כדי שהמוט לא יזוז ממקומו כשיעלו המים.
1. יש למקם את השיפוד (כשהוא כבר מושחל בתוך הקלקר) לרוחב המיכל, קרוב מאוד לתחתית.
  2. בעזרת אקדח דבק חם, שופכים כמות נדיבה של דבק על קצוות השיפוד בנקודות המפגש שלהם עם דפנות הצד של המיכל.
  3. זהירות קריטית בהוראה: חשוב להדגיש בפני התלמידים כי מדביקים אך ורק את קצוות השיפוד לזכוכית בצדדים. הדבק החם לא נוגע בשום אופן במוט הקלקר או בקשית, כדי לא לחסום או להדביק את תנועת הסיבוב שלהם!
  4. יש להנחות את התלמידים להחזיק את השיפוד בצורה יציבה ולהמתין כדקה לייבוש מלא של הדבק.
  5. **ניהול בטיחות בכיתה**: מאחר והבנייה כוללת שימוש באקדח דבק חם, מומלץ לרכז את שלב ההדבקה בעמדה ייעודית תחת השגחתכם, או להכין את הצירוף מראש עבור כיתות הזקוקות לכך.





### 3. מהלך השיעור והנחיות לביצוע הניסוי

שלב א': גירוי וחזות

הציגו לתלמידים את המערכת היבשה (המוט שוכב על הקרקעית). שאלו אותם: "מה יקרה לדעתכם אם נתחיל למזוג מים לאקווריום? האם המוט יצוף מיד למעלה? האם הוא יישאר באותה זווית?"

שלב ב': ביצוע הניסוי והצפת המים

התחילו למזוג מים למיכל בצורה איטית והדרגתית.

1. עצרו בכל פעם שהמוט מתייצב בזווית חדשה.
2. בכל נקודת עצירה, בקשו מהתלמידים להביט ישירות בנקודת קו המים (פני המים) החותכת את המוט, ולקרוא את הערך בסנטימטרים שעל גבי הקלקר.
3. מה הם צפויים לראות? למרות שהזווית משתנה ופני המים במיכל עולים, פני המים תמיד יחתכו את המוט בדיוק באותו הסימון (בניסוי המקורי המתואר בהמשך למטה, זה קורה סביב סימון ה-6.5 ס"מ!).

שלב ג': דיון

שאלו את התלמידים את השאלות הבאות כדי להוביל אותם למסקנה:

- שאלה "האם השתנתה זווית המוט?" (תשובה: כן, המוט הלך והזדקף).
- שאלה "האם השתנה הגובה פני המים באקווריום?" (תשובה: כן, המים עלו).
- שאלה "מה קרה לאורך המוט שנמצא מתחת למים לעומת האורך שמחוץ למים?" (תשובה: להפתעתנו, נקודת ההפרדה נשארה קבועה בקירוב!).

שלב ד': איסוף נתונים ומדידות

| מדידה | מצב              | חלק המוט הנמצא מחוץ לנוזל [ס"מ] | לחלק המוט הטבול בנוזל [ס"מ] | היחס בין חלק המוט הנמצא מחוץ לנוזל, לחלק הטבול בנוזל |
|-------|------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------|
| 1     | זווית נמוכה      |                                 |                             |                                                      |
| 2     | זווית בינונית    |                                 |                             |                                                      |
| 3     | זווית גבוהה      |                                 |                             |                                                      |
| 4     | זווית כמעט אנכית |                                 |                             |                                                      |

#### 4. דגשים דידקטיים וטעויות נפוצות של תלמידים

**זווית הצילום/הראייה (שגיאת פרלקסה):** אי-הדיוק העיקרי בניסוי זה נובע מחוסר אחידות בזווית הראייה של התלמידים או בזווית הצילום. כדי לראות את התופעה בצורה מושלמת, יש להקפיד להביט בגובה פני המים בדיוק בגובה העיניים (בקו ישר אופקי), ולא מלמעלה או מלמטה.

**הבחנה קריטית בנושא מומנטים:** תלמידים נוטים להתבלבל ולחשוב שמומנט הוא סוג של כוח. חשוב להדגיש להם: מומנט הוא לא כוח, אלא ההשפעה הסיבובית של הכוח (כמה הכוח מצליח לסובב משהו).

**מדוע מתעלמים מהכוח שפועל בציר?** הסבירו לתלמידים שבנקודת החיבור (הציר) פועל כוח תגובה מהקרקע, אך כיוון שהמרחק שלו מהציר הוא אפס, המומנט שלו הוא אפס, וזה מה שמקל עלינו את החישוב המתמטי.

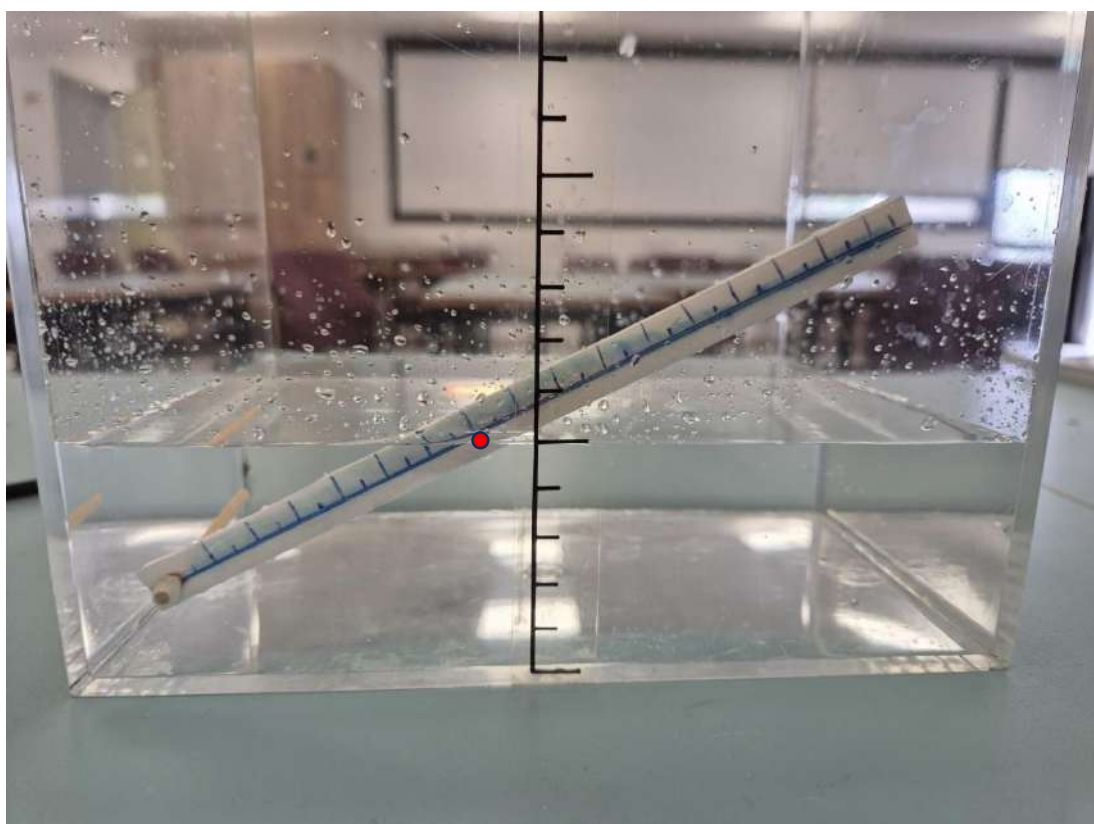
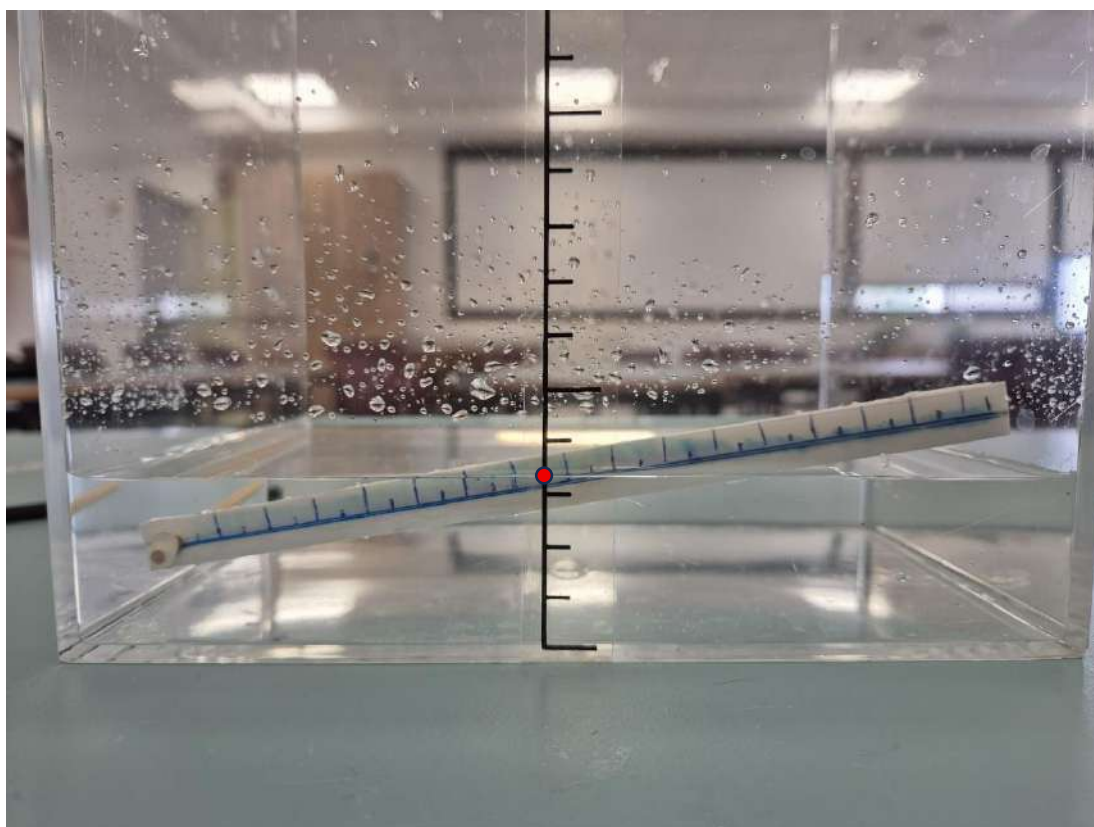
#### 5. רעיון לשאלות סיכום:

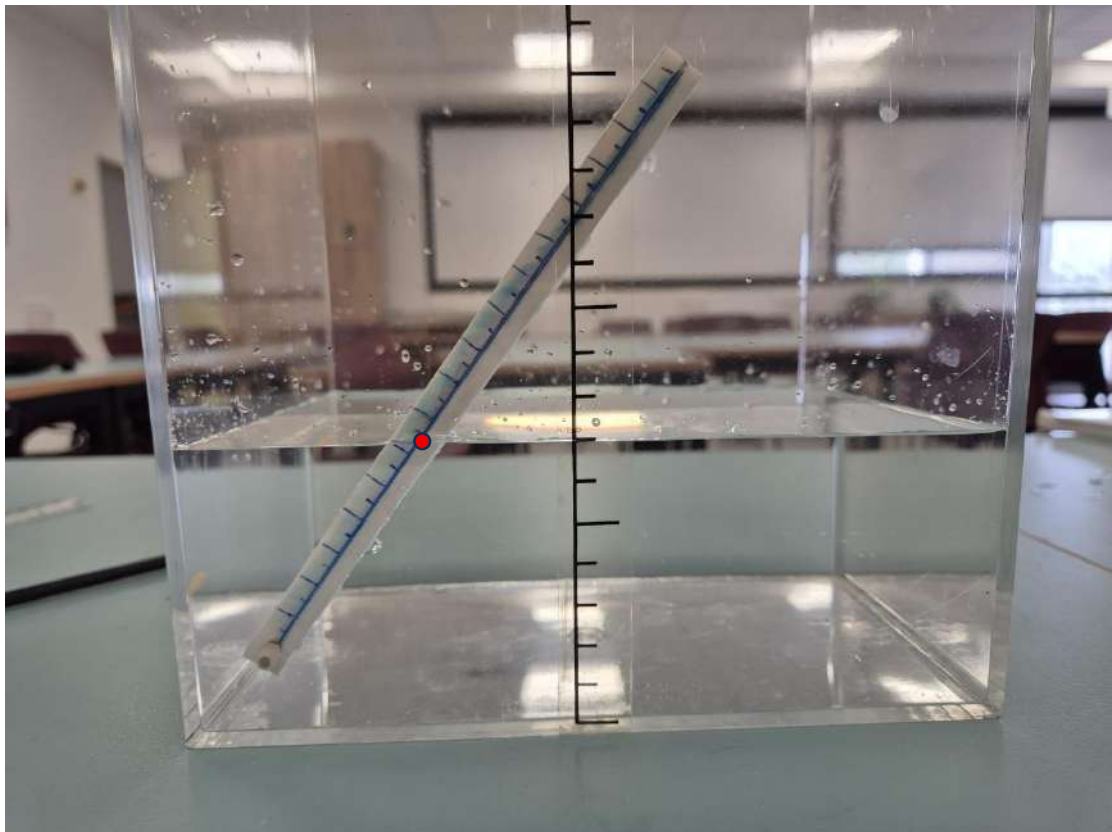
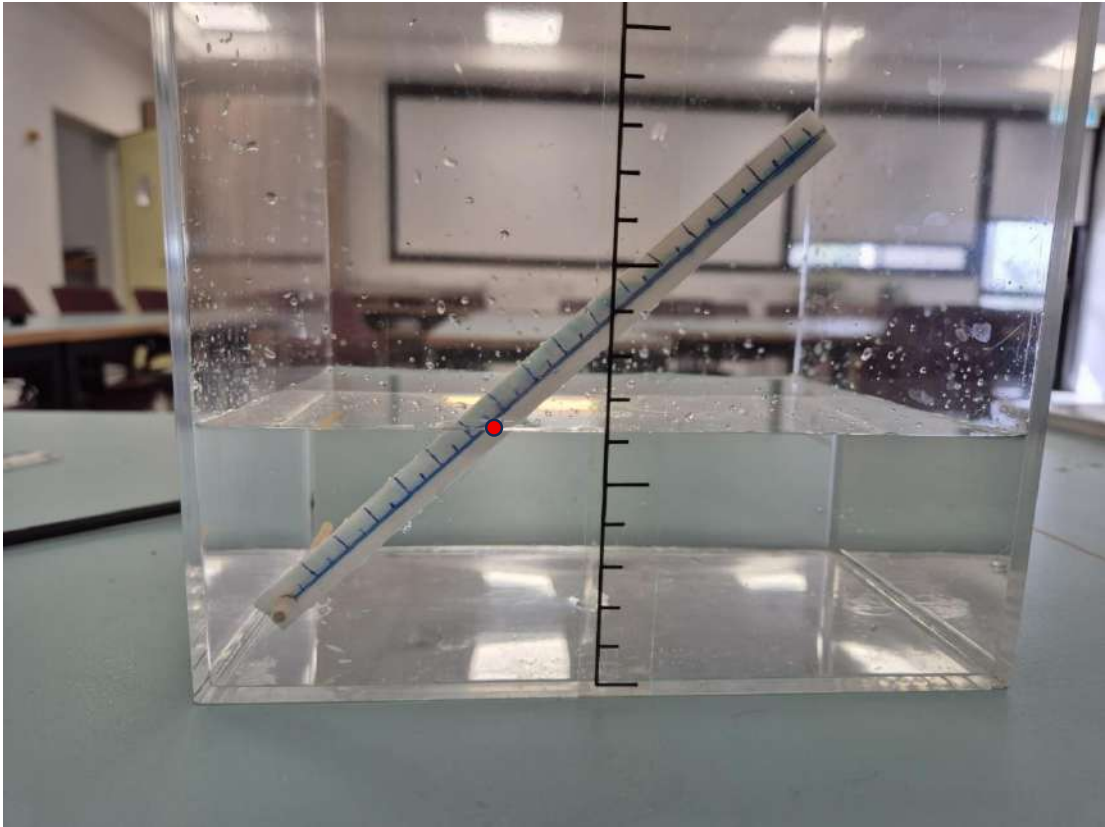
- הגדר במילים שלך מהו כוח עילוי ומדוע הוא גרם למוט להתרומם.
- בניסוי ראינו שנקודת המפגש של המים עם המוט נשארה קבועה (סביב 6.5 ס"מ). חשב את היחס בין החלק שמחוץ למים לחלק שבתוך המים במערכת זו.
- מה היה קורה לדעתך אילו היינו מחליפים את המים בנוזל צפוף בהרבה (כמו שמן מרוכז או מי מלח רוויים)? האם נקודת החיתוך הייתה משתנה? הסבר.

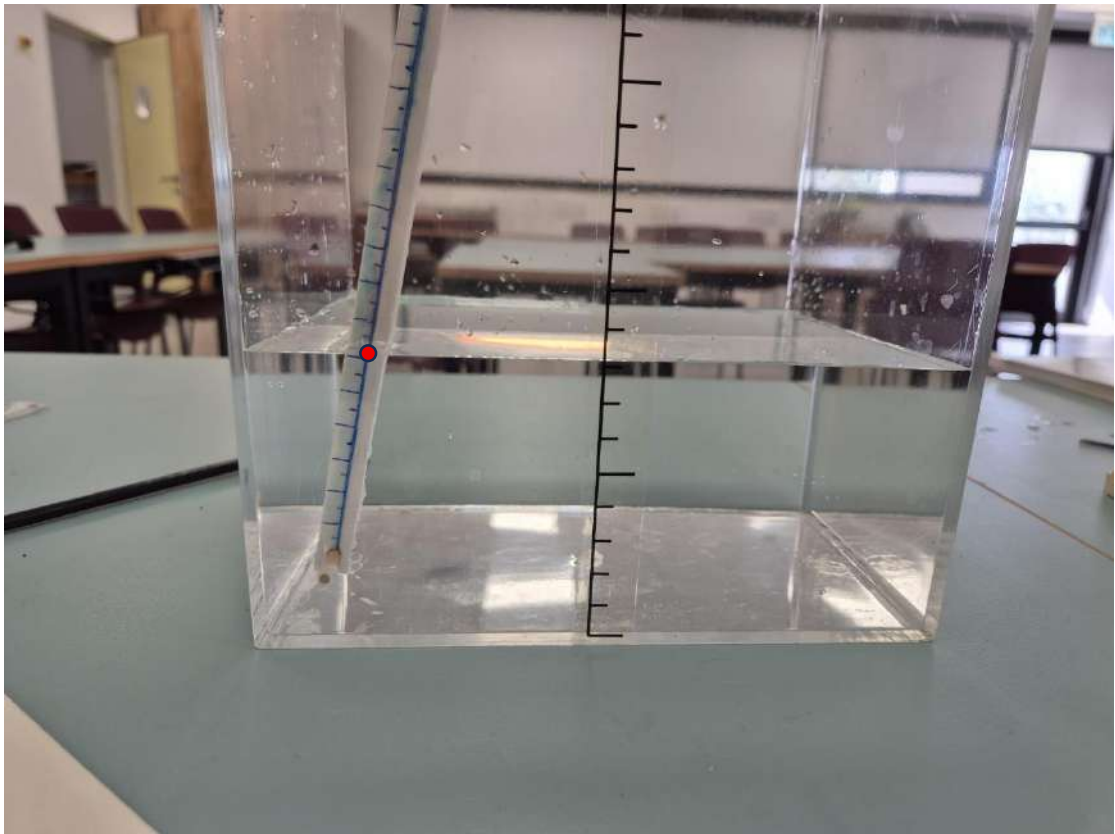
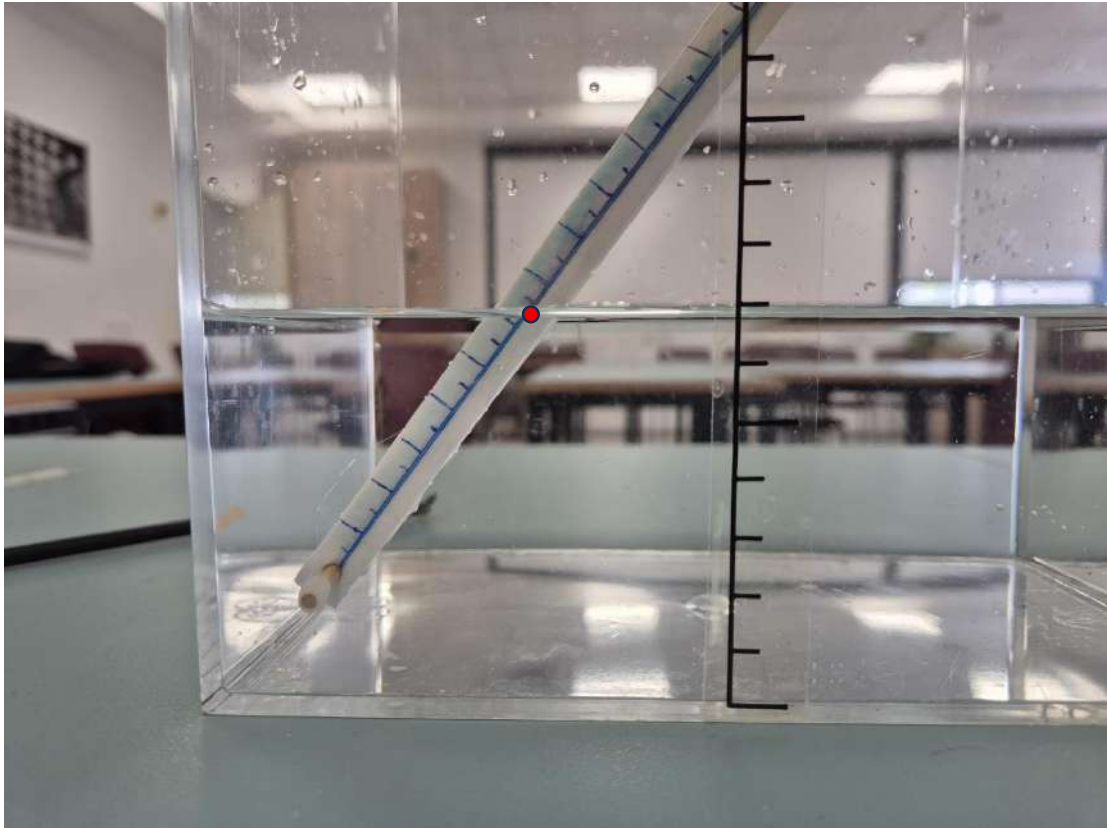
4. חיבור בין המשפט ההיסטורי המפורסם: "תנו לי נקודת משען, ואוכל להזיז את העולם" לבין הניסוי. בניסוי השני שלנו, אנו לוקחים את העיקרון המכני הזה של המנוף ומחברים אותו ישירות לחוק ארכימדס ולכוח העילוי.

המוט הוא כמו נדנדה: מוט הקלקר מחובר לציר בתחתית הכלי. הציר הזה מאפשר לו להסתובב ולנוע למעלה ולמטה, בדיוק כמו נדנדה בגן שעשועים. כוח הכובד מושך למטה: כשהמיכל ריק, המוט שוכב על הקרקעית. כוח הכובד מושך את כל המשקל שלו כלפי מטה. המים הם החבר הבלתי נראה שמציץ מלמטה: ברגע שאנחנו מתחילים למזוג מים למיכל, המים מפעילים כוח עילוי ודוחפים את הקלקר מלמטה כלפי מעלה. זה עובד בדיוק כמו חבר בלתי נראה שמרים את הנדנדה מלמטה ועוזר לה לעלות. סוד הראייה של ארכימדס (החלק המפתיע!): ככל שמוזגים יותר מים, המים דוחפים יותר חזק והמוט מתרומם ומזדקף. אבל הנה הקסם: המים תמיד יחתכו את המוט בדיוק באותו הסימון (למשל, ב-6.5 ס"מ)! ארכימדס הבין שכדי שה"נדנדה" (המוט) תישאר יציבה בכל זווית, כוח הסיבוב של המים מלמטה וכוח הסיבוב של המשקל מלמטה חייבים לאזן זה את זה בצורה מושלמת – והאיזון הזה קורה רק כשהיחס בין החלק הטבול במים לבין החלק שמחוץ למים נשאר קבוע!

## הוכחה ניסיונית:







### מסקנות מהניסוי :

מתצלומי הניסוי ניתן לראות כי למרות שעם הוספת המים זווית הנטייה של המוט הולכת וגדלה, הנקודה המפרידה בין החלק שמעל המים לחלק שמתחת למים (המסומנת בנקודה אדומה) נשארת בקירוב באותו המקום – סביב הסימון של 6.5 ס"מ. אי-הדיוק העיקרי הנראה בתמונות נובע מחוסר אחידות בזווית הצילום.

## תובנות דידקטיות

- **פירוק תפיסות מוטעות לגבי כוח הציפה:** המדריך עוזר לנטרל את הנטייה האוטומטית של תלמידים לחשוב שהערך שמשנתה בדינמומטר הוא כוח העילוי עצמו, ומכוון את המורה להסביר את מאזן הכוחות (המשקל המדומה).
  - **חיזוק קריטי של מושג המומנט:** המדריך נותן כלי מצוין להבהיר לתלמידים שמומנט הוא לא כוח, אלא השפעה סיבובית – הבחנה שחיונית למניעת בלבול בהמשך לימודי הפיזיקה.
  - **תרגול מיומנויות חקר מעשיות:** המדריך שם דגש על שגיאות מדידה פיזיקליות של תלמידים (כמו שגיאת פרלקסה – קריאה לא נכונה של נפח המים או נקודת המפגש של המוט בגלל זווית הראייה) ומנחה כיצד ללמד אותם להביט בקו ישר אופקי.
  - **דגש דידקטי לדיון בכיתה:** מומלץ להראות לתלמידים כיצד הגאונות של ארכימדס מתחברת בשני העולמות: בשניהם הוא השתמש במושג של איזון. במנוף – הוא איזן כוחות באמצעות מרחקים מנקודת משען; ובחוק ארכימדס – הוא הבין שגוף שמושקע בנוזל חווה כוח כלפי מעלה ששווה בדיוק למשקל הנוזל שהגוף "הזיז" ממקומו. הניסוי השני משלב את שתי התובנות הללו לכדי כלי מדעי אחד עוצמתי.
- מסקנות כלליות: למה טוב לך כמורה להשתמש במדריך?**
- **חיבור מנצח בין היסטוריה, ניסוי ומתמטיקה:** המדריך בנוי כסיפור חקר היסטורי-ניסויי. הוא לוקח נושא מופשט (חוק ארכימדס), מעורר סקרנות דרך הרקע ההיסטורי, וממחיש אותו מיד בניסויים ויזואליים.
  - **המחשה גרפית וליניארית:** הוא מאפשר לתלמידים לראות בעיניים כיצד קשר פיזיקלי (יחס ישר בין נפח לכוח עילוי) הופך לגרף ליניארי מתמטי, וממנו הם לומדים לחלץ ערכים אמיתיים כמו צפיפות הנוזל.
  - **אתגר חשיבה מחוץ לקופסה:** הניסוי השני (עם המוט והציר) מציג תוצאה מפתיעה ולא אינטואיטיבית – היחס בין החלק השקוע לחלק שמחוץ למים נשאר קבוע ולא תלוי בזווית. זהו כלי מדהים לעורר דיון בכיתה ולפתח חשיבה מדעית ברמה גבוהה.

