



# הוראת פיזיקה בחט'ב ובחט'ע מודלים בהוראת נושא "מעגלי זרם ישר"

כתיבה ועריכה: איגור פבזנר

רימה קנלמן

זויה קורצ'נסקי

## מודלים בהוראת נושא מעגלי זרם יש ר בתיכון ובחט"ב

הוראת נושא מעגלי זרם ישר בבתי ספר היא אתגר לא פשוט למורי פיזיקה. הסיבה העיקרית לכך, שמטענים חשמליים וזרם חשמלי בלתי נראים. גישה טובה לשיפור הבנת המושגים וחוקים בנושא הנ"ל היא להציג לתלמידים מודל מוחשי המדמה את התנהגות של זרם חשמלי. בגישה זאת רוב מורי פיזיקה משווים זרם חשמלי עם זרימת מים, תנועה בכבישים או מודלים דומים אחרים. אך יש קושי רב להדגים את התופעות בצורה כמותית. כמו כן, יש קושי רב לחבר בין מושגים רלוונטיים במודל לבין מושגים מקבילים בחשמל.

בעבודה זאת:

✓ נחפש דרכים להצגת תופעות מתקיימות בזורמים המקבלות לתופעות בזרם החשמלי

✓ נגלה מושגים פיזיקליים בזורמים המציגים בצורה ברורה ומדויקת מושגים מקבילים בחשמל

✓ נבנה מערכות להצגת התופעות וביצוע ניסויים המדמים ניסויים מקבילים בחשמל

נעסוק בנושאים הבאים:

✓ עוצמת הזרם ומדידתו

✓ פוטנציאל ומדידתו

✓ חוק אוהם – ניסוי כמותי

✓ חיבור צרכנים בטור ובמקביל

✓ טעינה ופריקה של קבל

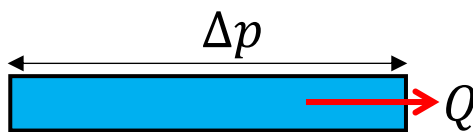
## חוקים רלוונטיים בנוזלים וגזים

משוואת Hagen–Poiseuille היא משוואה במכניקה זורמים, בעזרתה ניתן לחשב ספיקה נפחית של הזורם דרך צינור גלילי אופקי. המשוואה התקבלה בנפרד עבור פואזיי בשנת 1838 ועבור האגן בשנת 1839, אך התפרסמה על ידי פואזיי בשנת 1840. אפשר להתעניין בהוכחת המשוואה בכישור הבאה:

[https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%9E%D7%A9%D7%95%D7%95%D7%90%D7%AA\\_%D7%94%D7%90%D7%92%D7%9F-%D7%A4%D7%95%D7%90%D7%96%D7%99%D7%99](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%9E%D7%A9%D7%95%D7%95%D7%90%D7%AA_%D7%94%D7%90%D7%92%D7%9F-%D7%A4%D7%95%D7%90%D7%96%D7%99%D7%99)

המשוואה מתאימה לחישוב הספיקה בכלי דם, קש שתייה, מחטי מזרקים וכדומה. המשוואה כושלת בחישוב הספיקה כאשר זרימה היא טורבולנטית, עבור זורם בעל צמיגות נמוכה, צנרת קצרה או רחבה. במקרים אלא נדרש שימוש במודלים מורכבים יותר. צורה נפוצה של הנוסחה היא:

$$Q = \frac{\pi r^4}{8\mu L} \Delta p$$



- $Q$  – ספיקה נפחית
- $r$  – רדיוס הצינור
- $L$  – אורך הצינור
- $\mu$  – צמיגות דינמית
- $\Delta p$  – הפרש הלחצים בקצוות הצינור

אפשר להציג את הנוסחה גם בצורה הבא:

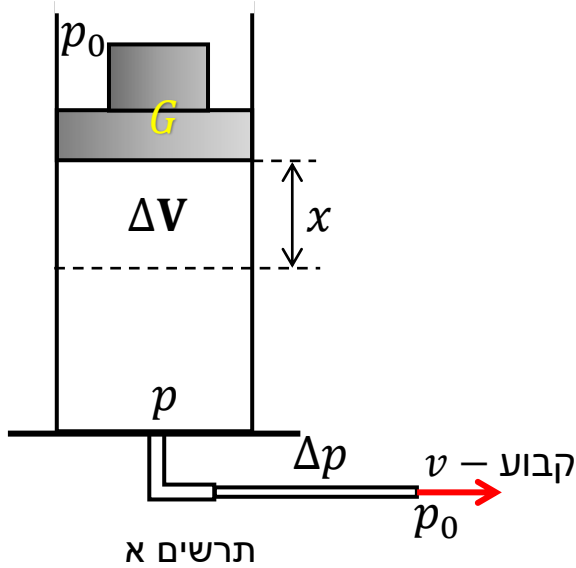
$$Q = \left[ \frac{\pi \pi r^4}{\pi 8 \mu L} \right] \Delta p \rightarrow Q = \left[ \frac{A^2}{8 \pi \mu L} \right] \Delta p$$

- $A$  – שטח חתך של הצינור

המשוואה תקינה בתנאים הבאים:

- הזורם לא דחיס
- הזרימה היא זרימה למינארית
- הצינור בעל שטח חתך קטן
- הצינור ארוך
- הזורם הוא זורם ניוטוני

## חומר תיאורטי להדמיית חוק אוהם בעזרת זרימת אוויר



נתכנן מערכת להדמיית חוק אוהם בעזרת אוויר.

$$Q = \frac{\pi r^4}{8\mu L} \Delta p, \text{ בנוסחת פואזי -}$$

נתייחס לקבוצת הקבועים -  $\frac{\pi r^4}{8\mu L}$  כמוליכות.

ולערך הפוך של הקבוצה, כהתנגדות -  $\frac{8\mu L}{\pi r^4}$ .

נענה על שאלה - מה משמעות פיזיקלית של הספיקה  $Q$  ושל שינוי לחצים  $\Delta p$ ?

הספיקה מוגדרת כנפח של חומר שעובר דרך חתך הצינור ביחידת זמן -  $Q = \frac{\Delta V}{t}$ .

בחשמל, דמיון מלא לספיקה הוא עוצמת הזרם, המוגדר ככמות מטען שעובר דרך חתך המוליך

$$\text{ביחידת זמן - } I = \frac{\Delta q}{t}.$$

נשאר רק להבין מה מייצג שינוי לחץ במשוואה של פואזי, ומהו המושג הפיזיקלי המקביל לו בחשמל.

נדמיין מערכת מורכבת מבוכנה בעלת משקל  $G$  הנמצאת בצילינדר בו כלו אוויר. ראה תרשים א. בחלק תחתון של הצילינדר נמצא פתח. האוויר יוצא החוצה דרך צינור ארוך ודק (ראה תרשים

א). לחץ מחוץ לגליל שווה ללחץ אטמוספרי -  $p_0$ , ולחץ בתוך הגליל שווה ל  $p = p_0 + \frac{G}{A}$ . אז שינוי הלחץ בקצוות הצינור ניתן להציג בצורה הבאה:

$$\Delta p = p - p_0 = \left( \frac{G}{A} + p_0 \right) - p_0 = \frac{G}{A} = \frac{G \cdot x}{S \cdot x} = \frac{W}{\Delta V} = \frac{\Delta U}{\Delta V}$$

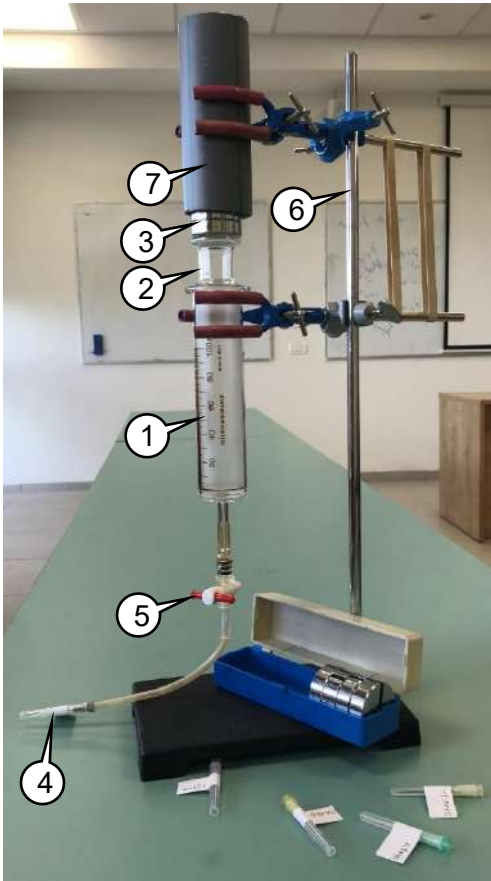
$$\Delta p = \frac{\Delta U}{\Delta V} \text{ לסיכום:}$$

לפי הביטוי אחרון ניתן להציג שינוי לחצים בקצוות הצינור כאנרגיה פוטנציאלית שמשתחררת בקצה הצינור עם כל יחידת נפח.

בחשמל, דמיון מלא לשינוי לחצים הוא שינוי פוטנציאלים בין שני קצוות המוליך, שמוגדר

כאנרגיה פוטנציאלית חשמלית שמאבד כל יחידת מטען בין קצוות המוליך:  $\Delta V = \frac{\Delta U}{\Delta q}$

## מערכת להדמיית חוק אוהם באמצעות אוויר זורם



תרשים ב

לצורך זה נשתמש במזרק עשוי זכוכית (1) בעל נפח  $V=100\text{cm}^3$  קוטר של הבוכנה  $3.35\text{cm}$  ושטח חתך של הבוכנה  $A=8.8\text{cm}^2$ . ראה תרשים ב. במזרקים מסוג זה חיכוך בין גוף המזרק לבוכנה (2) קטן מאוד. מסת הבוכנה היא  $100\text{גרם}$ . כדי לווסת לחץ במזרק נשתמש ממשקולות (3) בעלות מסה  $100\text{גרם}$  כל אחד. ניקח מחט המזרק (4) שאורכו  $40\text{מ"מ}$  וכותרו החיצוני  $0.7\text{מ"מ}$ . נרכיב את המערכת בצורה שמופיע בתרשים ב'. המזרק מוחזק בעזרת כן (6) ומעליו מוחזק צינור פלסטיק (7). קוטר הצינור גדול מקוטר המשקולות. הצינור מגן על נפילת המשקולות. בזמן ביצוע הניסוי צריך לבדוק שהמשקולות לא נוגעות בצינור (7). ברז (5) סוגר זרימת האוויר.

### ביצוע הניסוי:

- כאשר הברז פתוח, נרים את הבוכנה כך, שהקצה התחתון שלה תתייצב בגובה הקו המסמן  $100\text{סמ"ק}$  ולאחר מכן נסגור את הברז.
- פתח את הברז בו זמנית עם פתיחת הטיימר ונמדוד זמן שלוקח לבוכנה להגיע לתחתית המזרק (קו שמסמן  $0\text{סמ"ק}$ ).
- רשום מסת הבוכנה והזמן בתבלה.
- מקם משקולת אחד על הבוכנה ונחזור על פעילות א-ג.
- בצע סעיף ד' עוד שישה פעמים כאשר כל פעם מוסיפים עוד משקולת אחד על הבוכנה.
- בכל המדידה שבוצע חשב והוסיף לטבלה:

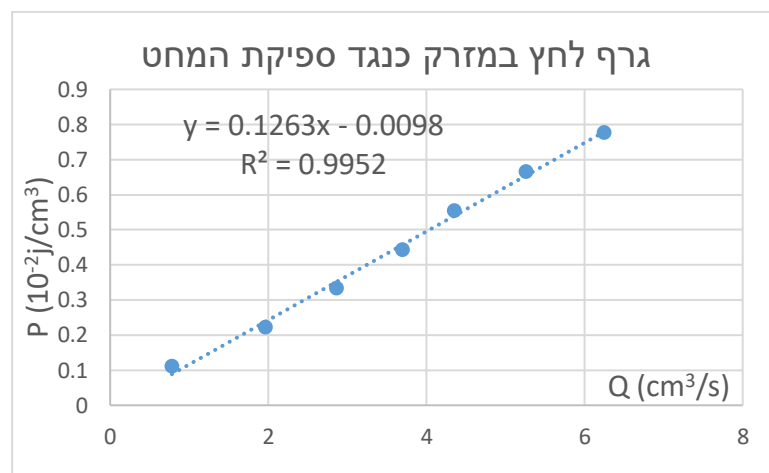
✓ לחץ שנוצר במזרק. יחידות לחץ במקרה שלנו:

$$\Delta p = \frac{mg}{A} = \frac{N}{\text{cm}^2} = \frac{N}{\text{cm}^2} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{cm}} = \frac{N \cdot \text{cm}}{\text{cm}^3} = \frac{10^{-2} N \cdot m}{\text{cm}^3} = \frac{10^{-2} j}{\text{cm}^3}$$

✓ ספיקה במחט

| $\Delta p = mg/A$<br>$10^{-2}(\text{J}/\text{cm}^3)$<br>$(\text{N}/\text{cm}^2)$ | m<br>(kg) | $Q = \Delta V/t$<br>( $\text{cm}^3/\text{s}$ ) | t<br>(s) |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------|----------|
| 0.111                                                                            | 0.1       | 0.78                                           | 128      |
| 0.222                                                                            | 0.2       | 1.96                                           | 51       |
| 0.333                                                                            | 0.3       | 2.86                                           | 35       |
| 0.444                                                                            | 0.4       | 3.70                                           | 27       |
| 0.555                                                                            | 0.5       | 4.35                                           | 23       |
| 0.666                                                                            | 0.6       | 5.26                                           | 19       |
| 0.777                                                                            | 0.7       | 6.25                                           | 16       |

ז. בנה גרף לחץ במזרק כנגד ספיקה במחט.



בגרף זה קשר בין הערכים הוא קשר ישר. מכן אפשר להבין שערכים אלא מתנהגים בהתאם לחוק אוהם. צריך לציין שבלחץ מרבי בניסוי זה האוויר מתכווץ ב-5%, לכן ניתן להתייחס עליו כלא דחיס. שיפוע של הגרף מיצג התנגדות של המחט:  $R^*$ , ששווה ל:

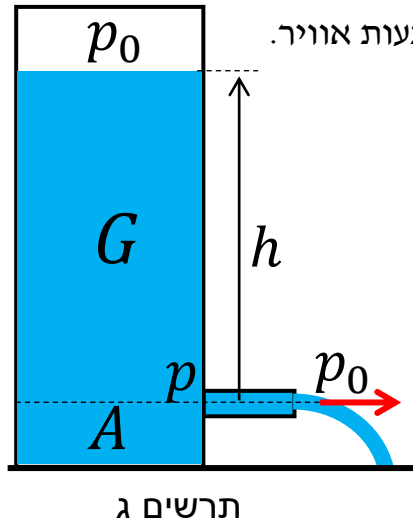
$$R^* = 0.13 \cdot 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{s} / (\text{cm}^3)^2 = 0.13 \cdot 10^{-2} \Omega^*$$

$$R = V/I = \frac{j}{c} \cdot \frac{s}{c} = \frac{j \cdot s}{(c)^2} = \Omega \quad \text{דמיון מלא לחשמל:}$$

ח. בהרחבה לניסוי זה אפשר לחקור תלות של ההתנגדות בגורמים שונים כגון – אורך של

$$\frac{8\mu L}{\pi r^4} : \text{המחט, שטח חתך של המחט... ולאשש התאמה לתאוריה:}$$

## חומר תיאורטי להדמיית חוק אוהם באמצעות מים זורמים



הדמיית חוק אוהם באמצעות מים זורמים דומה להדמיה באמצעות אוויר.

כל המוסגים שהצגנו בפרק הקודם מתאימים גם כן.

נסביר רק כיצד שינוי לחץ מתבטא במקרה זה .

נסמן ערכים חדשים על ידי סימנים הבאים :

$A$  - שטח חתך של המיכל

$G$  - משקל של המים מעל הפתח

נדמיין מערכת ( ראה תרשים ג ) מורכבת ממיכל שקוף מכיל מים. בחלק תחתון של המיכל נמצא פתח. משקל מים הנמצאים מעל הפתח הוא  $G$ . המים יוצאים החוצה דרך צינור ארוך ודק (ראה תרשים ג). לחץ מחוץ למים שווה ללחץ אטמוספרי  $p_0$ , ולחץ בתוך המים בגובה הפתח שווה ל:

$$p = p_0 + \frac{G}{A}$$

מבן שינוי הלחץ בקצוות הצינור ניתן להציג בצורה הבאה :

$$\Delta p = p - p_0 = \left( \frac{G}{A} + p_0 \right) - p_0 = \frac{G}{A} = \frac{\rho V g}{A} = \frac{\rho (Ah) g}{A} = \rho g h = \frac{W}{\Delta V} = \frac{\Delta U}{\Delta V}$$

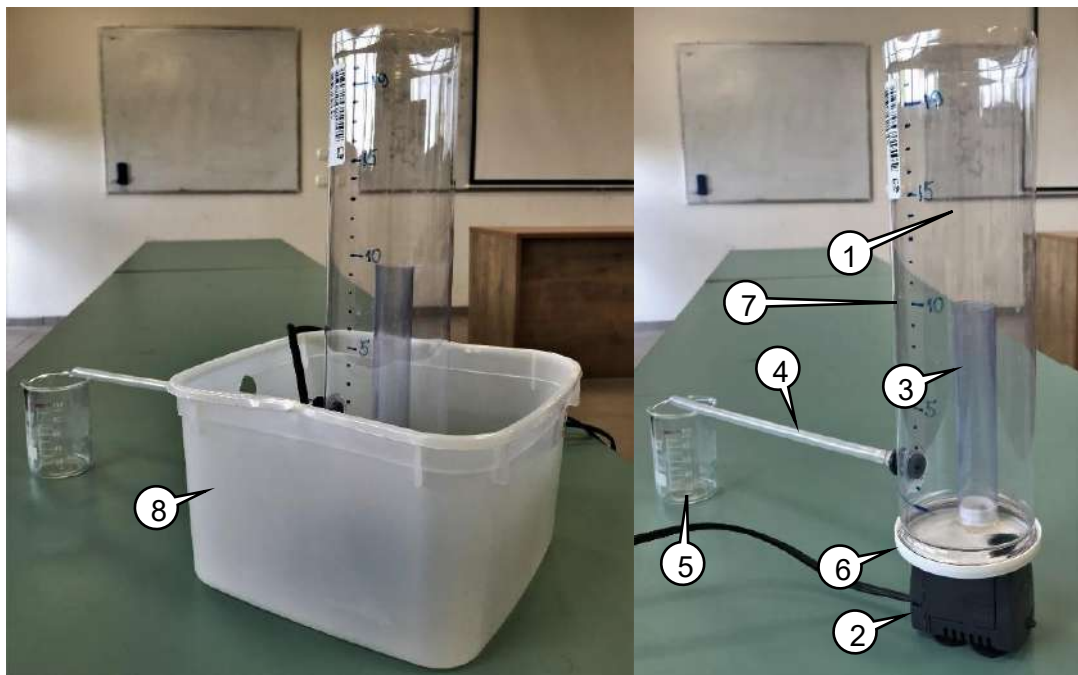
$$\Delta p = \frac{\Delta U}{\Delta V} \quad \text{לסיכום:}$$

לפי הביטוי אחרון ניתן להציג שינוי לחצים בקצוות הצינור כאנרגיה פוטנציאלית שמשתחררת בקצה הצינור עם כל יחידת נפח מים יוצאת ממנו והאנרגיה פרופורציונית ל  $h$  ( $\Delta p = \rho g h$ ). כנ"ל, בחשמל דמיון מלא לשינוי לחצים הוא שינוי פוטנציאלים בין שני קצוות המוליך

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{\Delta q}$$

## בניית מערכת להדמיית חוק אוהם בעזרת מים

לצורך זה נשתמש בצינור פלסטיק שקוף (1) (ראה תרשים ד) מיועד לשמירת כדורי טניס. בצינור זה קצה אחד סגור וקצה שני פתוח ניתן לסגירה במכסה מפלסטיק לבן (6). חותכים קצה סגור של צינור (1) ובמכסה (6) מייצרים שני חורים אחד לחיבור צינור טלסקופי (3) ושני למשאבת אקווריום (2). מדבקים את המכסה למשאבה בעזרת דבק חם כך, שאחד מהחורים התלכד עם פתח של המשאבה וחור של צינור טלסקופי יהיה חופשי ליציאת מים החוצה ליד המשאבה. צינור (1) סוגרים על המכסה. כדי לווסת לחץ בתחתית הצינור צריך לשנות גובה של צינור טלסקופי. בחלק התחתון של דופן הצינור (1) נייצר חור לחיבור צינור דק (4). על צינור (1) נצייר סקאלה גבהים (7). כל המערכת מכניסים לקופסה שקופה (8). כוס (5) מיועד למדידת עוצמת הזרימה מצינור דק. גובה מים בצינור (1) נשמר קבוע ותלוי רק בגובה של צינור טלסקופי (3).

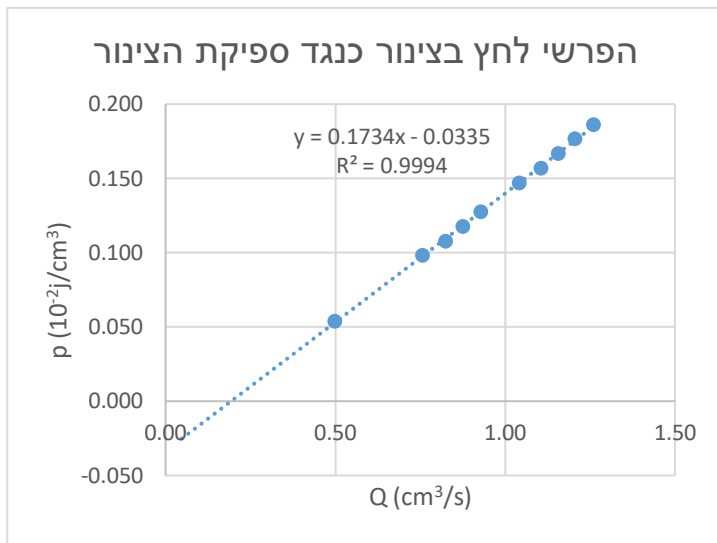


תרשים ד

### ביצוע הניסוי :

- א. סגור בעזרת אצבע קצה צינור דק (4).
- ב. תפעיל משאבות אקווריום וחכה עד שצינור (1) יתמלא במים עד גובה של הצינור הטלסקופי.
- ג. הוריד אצבע מצינור הדק בו זמנית עם פתיחת הטיימר ומדוד זמן שלוקח לכוס כימי (5) להתמלא עד 100 סמ"ק.
- ד. רשום גובה מים בצינור (1) והזמן בתבלה.
- ה. שנה גובה מים בצינור (1) מספר פעמים וכל פעם חזור על פעילות א-ד.

ו. בנה גרף הפרשי לחץ המים בקצבות הצינור כנגד ספיקת הצינור.



| $p = \rho gh$<br>(N/cm <sup>2</sup> )<br>(10 <sup>-2</sup> j/cm <sup>3</sup> ) | h<br>(cm) | $Q = V/t$<br>(cm <sup>3</sup> /s) | t(s)   |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------|--------|
| 0.186                                                                          | 19.0      | 1.26                              | 79.34  |
| 0.176                                                                          | 18.0      | 1.20                              | 83.04  |
| 0.167                                                                          | 17.0      | 1.16                              | 86.53  |
| 0.157                                                                          | 16.0      | 1.11                              | 90.43  |
| 0.147                                                                          | 15.0      | 1.04                              | 96.03  |
| 0.127                                                                          | 13.0      | 0.93                              | 107.8  |
| 0.118                                                                          | 12.0      | 0.88                              | 114.18 |
| 0.108                                                                          | 11.0      | 0.82                              | 121.42 |
| 0.098                                                                          | 10.0      | 0.76                              | 132.32 |
| 0.054                                                                          | 5.5       | 0.50                              | 201.06 |

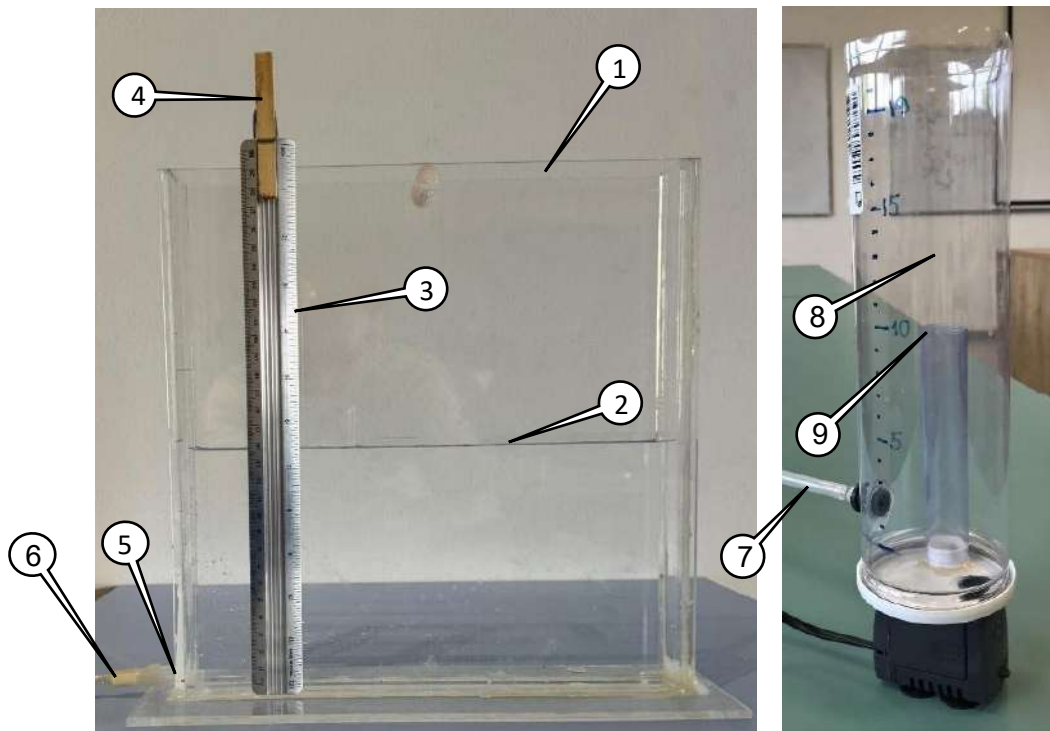
הגרף הוא לינארי תומך בחוק אוהם כאשר שיפוע של הגרף מיצג התנגדות הצינור

$$R^* = 0.17 \cdot 10^{-2} \Omega^*$$

הגרף לא עובר דרך ראשית הצירים, דבר שסותר את התאוריה. הסבר האפשרי הוא שקצוות של הצינור היו בגבהים שונים, אבל להבנת הסתירה נדרש דיון עמוק יותר. בניסוי זה, נוכל גם לדון בהשוואה בין יחידות מידה עבור התנגדות של צינור להתנגדות של חוט חשמלי ולחקור תלות של התנגדות בצינור בגורמים שונים. (ראה סעיף ז, ח בניסוי קודם)

## טעינה ופריקה של קבל המים

תחילה נבנה קבל המים. נבחר צורה שמזכירה קבל לוחות חשמלי. לבניה נשתמש בלוחות פרספקס שקופות מודבקות בצורת התיבה (1). (ראה תרשים ה'). מידות של הקבל הם  $28 \times 28 \times 3$  ביחידות ס"מ. חלק עליון של הקבל פתוח. להדבקה אפשר להשתמש בדבק 3 שניות וכרבע שעה אחרי ההדבקה צריך לעטוס תפרים בעזרת דבק חם או סיליקון. באחד מדופנות הצדדיות לעשות בזהירות (לא לגרום לסדקים בלוחות פרספקס) חור עגול (5) בעל קוטר 0.8 ס"מ. לחור זה מכנסים צינור אלומיניום קצר (באורך 2 ס"מ בערך) ומדבקים אותו הרמטי עם דבק חם. תבדקו לפני הדבקה שהצינור חלק מבפנים ובקצוות, כדי לאפשר זרימת מים למינארית (אחידה) בצינור!



תרשים ה

בצדו של הקבל מצמידים בעזרת אטב (4) סרגל (3) כך שאפס של הסרגל נמצא בגובה המרכז של צינור (6). הסרגל מיועד למדידת גובה מים (2) בקבל המים. בנוסף מכינים צינור פלסטיק שאורכו 20 ס"מ וקוטרו הפנימי 0.5 ס"מ שיחבר בין הסוללה והקבל. בעזרת המערכת נבצע מספר ניסויים.

## ניסוי ראשון:

ניסוי הדגמה בנושא "טעינה של קבל המים".

לטעינת הקבל נשתמש בסוללת המים (8) שנוכרה בתרשים ד'.

בין הסוללה לקבל מחברים בעזרת צינור (7).

חומר תאורטי: נוסחה של מתח על קבל חשמלי בתהליך טעינה היא:

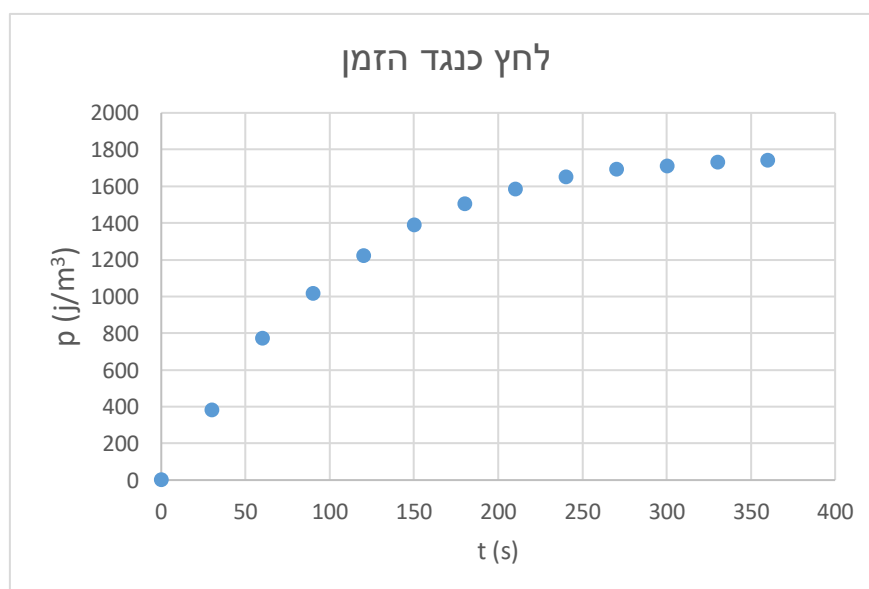
$$V = V_0 - V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

לקבל המים את הנוסחה ניתן לכתוב בצורה דומה:

$$p = p_0 - p_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

## ביצוע ניסוי:

1. בסוללה, כוון צינור טלסקופי (9) לגובה מים שווה 18 ס"מ.
2. כאשר צינור המחבר בין הסוללה לקבל סגור (אפשר להרכיב ברז זעיר סמוך לסוללה), הפעל סוללה וחכה עד שתתמלא במים.
3. תפתח מעבר מים בצינור בו זמני עם סטופר.
4. מדוד גובה המים כל 30 שניות במשך 6 דקות. (הזמנים יכולים להשתנות בהתאם למערכת שבנית)
5. מלא תוצאות המדידות בטבלה.
6. חשב לחץ המים  $p = \rho gh$  בעומק של מרכז הצינור והוסיף לטבלה. צפיפות מים שווה  $1000 \text{ kg/m}^3$  בערך.
7. בנה גרף לחץ  $p$  כנגד הזמן.



| $p = \rho gh$<br>(j/m <sup>3</sup> ) | h<br>(m) | t<br>(s) |
|--------------------------------------|----------|----------|
| 0                                    | 0        | 0        |
| 381.1                                | 0.039    | 30       |
| 771.9                                | 0.079    | 60       |
| 1016.1                               | 0.104    | 90       |
| 1221.3                               | 0.125    | 120      |
| 1387.4                               | 0.142    | 150      |
| 1504.7                               | 0.154    | 180      |
| 1582.8                               | 0.162    | 210      |
| 1651.2                               | 0.169    | 240      |
| 1690.3                               | 0.173    | 270      |
| 1709.9                               | 0.175    | 300      |
| 1729.4                               | 0.177    | 330      |
| 1739.2                               | 0.178    | 360      |

הגרף זהה במידה רבה לגרף מתח על קבל כנגד זמן בטעינה. במקרה שלנו הלחץ שואף אסימפטומטי ללחץ שמייצרת הסוללה.  
אם מורה לא מוגבל בשעות לימוד, ניתן להרחיב את הניסוי בחישוב קבוע הזמן של המערכת.

## הרחבה:

חישוב קבוע הזמן של המערכת בתהליך הטעינה.

1. ביטוי:  $p = p_0 - p_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$  נרשום בצורה הבא:  $p = -p_0(e^{-\frac{t}{\tau}}) + p_0$ .

אפשר לראות ש לפי הביטוי קשר בין  $p$  ל  $e^{-\frac{t}{\tau}}$  הוא קשר ליניארי ומקדם ראשון והשני שווים ללחץ בסוללה.

2. העתק את הטבלה הקודמת לתוכנת XL והוסיף לה שני עמודות לחישוב:  $e^{-t/\tau}$  ו  $t/\tau$ .

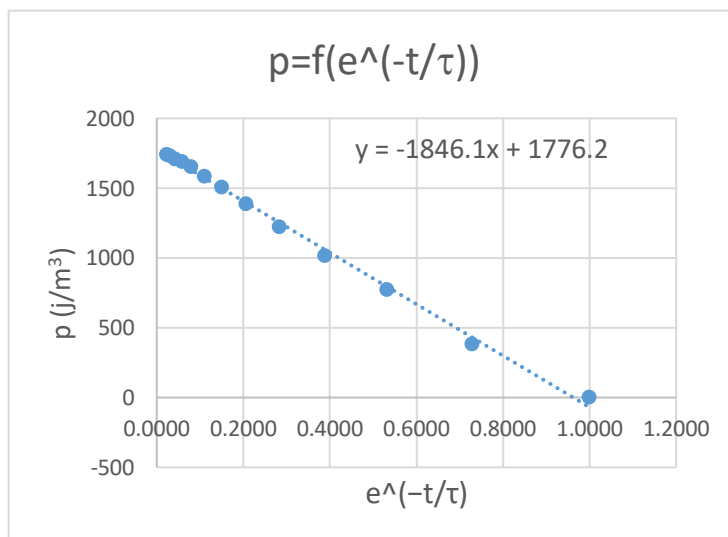
3. בתא הראשונה בעמודה  $t/\tau$  צור חישוב של היחס. ערך של קבוע הזמן בחר שרירותי (בערך 100 למערכת המומלצת). בצע חישוב זה לכל העמודה על ידי פעולה XL מתאימה.

4. ערוך חישוב  $e^{-t/\tau}$  בעמודה נוספת.

5. בנה גרף  $p = f(e^{-t/\tau})$ . אם פיזור נקודות בגרף לא נראה ליניארי שנה בצורה אקראית קבוע

הזמן-  $\tau$ , עד שתתקבל בגרף זה פיזור ליניארי. קבוע הזמן במקרה זה שווה ל 95.

6. הוסיף קו מגמה ליניארי ומשוואה לקו זה.



| $p=\rho gh$<br>(j/m <sup>3</sup> ) | $h$<br>(m) | $e^{-\frac{t}{\tau}}$ | $t/\tau$ | $t$<br>(s) |
|------------------------------------|------------|-----------------------|----------|------------|
| 0                                  | 0          | 1.0000                | 0        | 0          |
| 381.1                              | 0.039      | 0.6936                | 0.366    | 30         |
| 771.9                              | 0.079      | 0.4811                | 0.732    | 60         |
| 1016.1                             | 0.104      | 0.3337                | 1.098    | 90         |
| 1221.3                             | 0.125      | 0.2315                | 1.463    | 120        |
| 1387.4                             | 0.142      | 0.1606                | 1.829    | 150        |
| 1504.7                             | 0.154      | 0.1114                | 2.195    | 180        |
| 1582.8                             | 0.162      | 0.0772                | 2.561    | 210        |
| 1651.2                             | 0.169      | 0.0536                | 2.927    | 240        |
| 1690.3                             | 0.173      | 0.0372                | 3.293    | 270        |
| 1709.9                             | 0.175      | 0.0258                | 3.659    | 300        |
| 1729.4                             | 0.177      | 0.0179                | 4.024    | 330        |
| 1739.2                             | 0.178      | 0.0124                | 4.390    | 360        |

7. אפשר לראות שהמקדמים שהתקבלו בגרף שווים בערך ללחץ בסוללה.

## ניסוי שני:

ניסוי הדגמה בנושא "פריקה של קבל המים".

ניסוי זה יותר מתאים להדגמה בכיתה כי דורש פחות ציוד, קל לביצוע ולוקח זמן קצר יותר.

בניסוי זה נשתמש בקבל המים הנ"ל.

חומר תאורטי: נוסחה של מתח על קבל חשמלי בתהליך פריקה היא:

$$V = V_0 e^{\frac{-t}{\tau}}$$

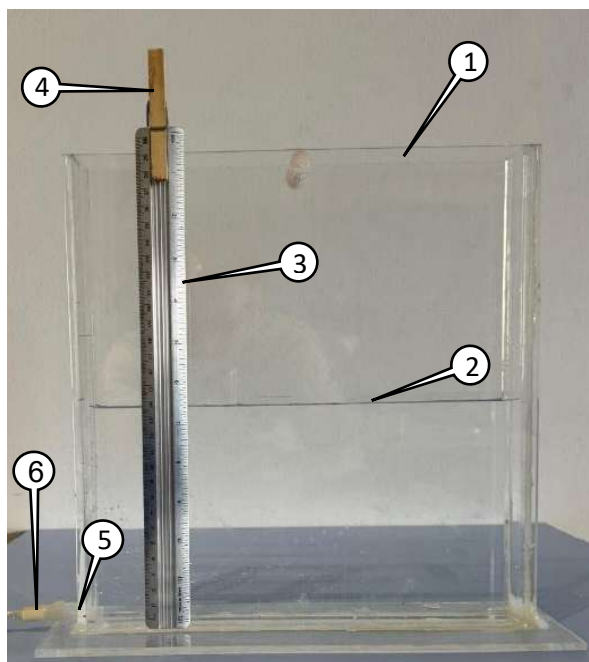
לקבל המים את הנוסחה ניתן לכתוב בצורה דומה:

$$p = p_0 e^{\frac{-t}{\tau}}$$

לוגריתם של הביטוי זה מיצג קשר ליניארי בין לוגריתם של לחץ לבין הזמן

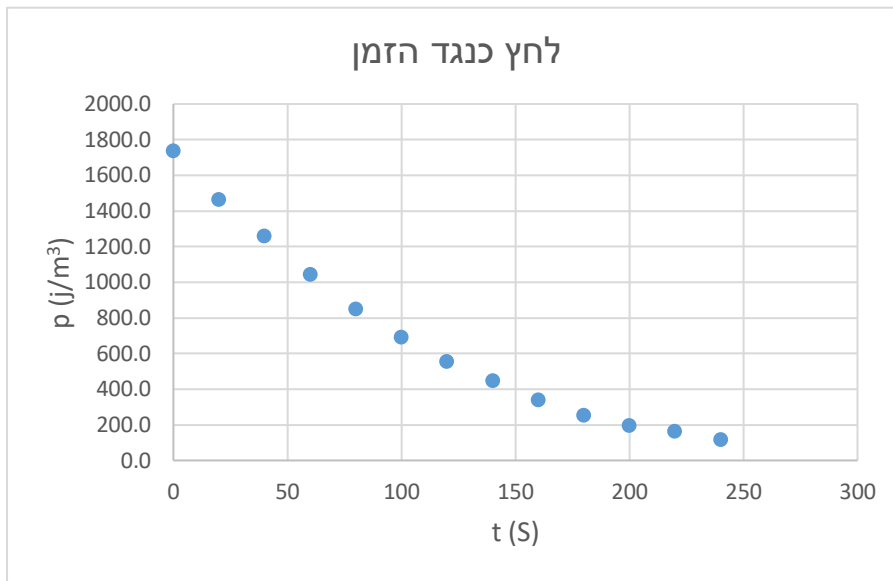
$$\ln(p) = \ln(p_0) - \frac{1}{\tau} t$$

## ביצוע הניסוי:



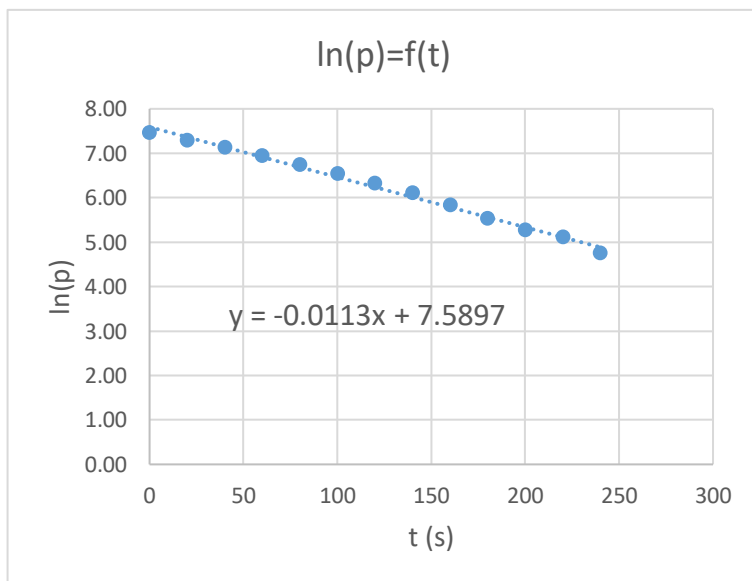
1. צינור (6) סגור בפקק.
2. תמלא את הקבל במים עד גובה 10 ס"מ.
3. פתח פקק בו זמני עם פתיחת הסטופר.
4. מדוד גובה המים בקבל כל 20 שניות במשך 4 דקות.
5. תוצאות של המדידות רשום בטבלה.
6. הוסיף לטבלה עמודה של לחץ הנמדד בגובה של מרכז הצינור.

7. בנה גרף של לחץ מים בעומק של צינור (6) כנגד הזמן.



| t (s) | h (m) | p=ρgh (j/m³) |
|-------|-------|--------------|
| 0     | 0.178 | 1739.2       |
| 20    | 0.15  | 1465.6       |
| 40    | 0.129 | 1260.4       |
| 60    | 0.107 | 1045.5       |
| 80    | 0.087 | 850.0        |
| 100   | 0.071 | 693.7        |
| 120   | 0.057 | 556.9        |
| 140   | 0.046 | 449.4        |
| 160   | 0.035 | 342.0        |
| 180   | 0.026 | 254.0        |
| 200   | 0.020 | 195.4        |
| 220   | 0.017 | 166.1        |
| 240   | 0.012 | 117.2        |

גם בניסוי זה הגרף זהה במידה רבה לגרף מתח על קבל כנגד זמן בתהליך פריקה. במקרה זה הלחץ שואף אסימפטוטית לאפס. נגלה קבוע הזמן שהתקבל בניסוי זה. לכך נוסיף עמודה לוגריתם של הלחץ לטבלה ונמלא אותה.



| t (s) | h (m) | p=ρgh (j/m³) | ln(p) |
|-------|-------|--------------|-------|
| 0     | 0.178 | 1739.2       | 7.46  |
| 20    | 0.15  | 1465.6       | 7.29  |
| 40    | 0.129 | 1260.4       | 7.14  |
| 60    | 0.107 | 1045.5       | 6.95  |
| 80    | 0.087 | 850.0        | 6.75  |
| 100   | 0.071 | 693.7        | 6.54  |
| 120   | 0.057 | 556.9        | 6.32  |
| 140   | 0.046 | 449.4        | 6.11  |
| 160   | 0.035 | 342.0        | 5.83  |
| 180   | 0.026 | 254.0        | 5.54  |
| 200   | 0.020 | 195.4        | 5.28  |
| 220   | 0.017 | 166.1        | 5.11  |
| 240   | 0.012 | 117.2        | 4.76  |

התקבל גרף לינארי מצדיק את קשר תיאורטי הנ"ל:  $\ln(p) = \ln(p_0) - \frac{1}{\tau} t$

לפי הביטוי שיפוע של הגרף שווה ל  $-\frac{1}{\tau}$  ומכך קבוע הזמן שווה  $\tau = 82s$ .

בשני הניסויים ערכי קבוע הזמן קרובים אחד לשני, כי  $\tau = RC$ , בשני הניסויים השתמשנו באותו קבל המים, אבל התנגדות של הצינור הייתה בניסוי שני קטנה יותר.

## ניסוי שלישי:

ניסוי חקר בנושא "גילוי קשר בין התנגדות הצינור לבין אורכו".

חומר תאורטי: לפי נוסחת פואזי -  $Q = \frac{\pi r^4}{8\mu L} \Delta p$ ,

קבוצת הקבועים -  $\frac{\pi r^4}{8\mu L}$  מייצגת מוליכות של צינור

ולערך הפוך של הקבוצה, מייצג התנגדות של הצינור -  $R^* = \frac{8\mu L}{\pi r^4}$ .

מכן התנגדות הצינור פרופורציונית לאורכו.

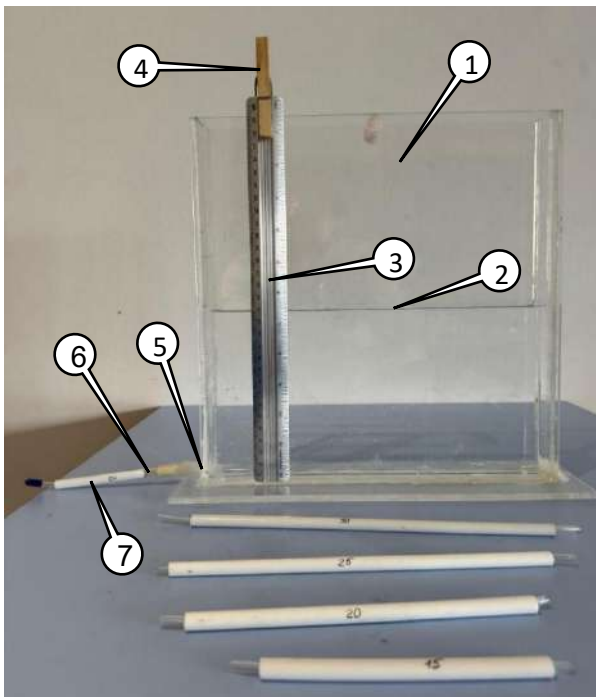
בניסוי זה נשתמש בציוד של ניסוי שני, אבל נוסיף בו צינורות בעלי אותו קוטר באורך שונה.

אלה אורכי הצינורות:

10, 15, 20, 25, ו 30 ס"מ והם בעלי קוטר פנימי 2.5 מ"מ.

נבצע ניסוי שני עם כל צינור ונחשב בכול ניסוי קבוע הזמן של המערכת בדיוק כמו שעשינו בניסוי שני.

תוצאות שהתקבלו בניסוי שבצענו מופיעות בטבלה הבא.



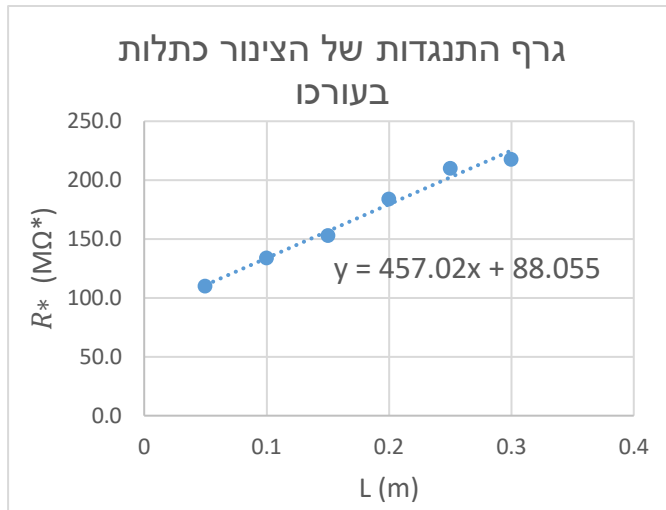
| $\tau$ | $1/\tau$ | L (m) |
|--------|----------|-------|
| 093.5  | 0.0107   | 0.05  |
| 113.6  | 0.0088   | 0.10  |
| 129.9  | 0.0077   | 0.15  |
| 156.3  | 0.0064   | 0.20  |
| 178.6  | 0.0056   | 0.25  |
| 185.2  | 0.0054   | 0.30  |

נחשב התנגדות הצינורות בעזרת קבוע הזמן  $\tau$  בצורה הבא. בחשמל  $\tau = RC$ . יש להניח שגם במקרה שלנו  $\tau = R^*C^*$ . בכל הניסויים  $C^*$  - קיבול של קבל המים נשאר קבוע. אם נחשב ערך שלו נצליח גם לחשב התנגדות של הצינורות. בחשמל  $C = q/V$  כאשר  $V$  - הוא מתח על הקבל. במקרה שלנו הנוסחה מקבלת צורה באה  $C^* = V/p$  כן  $V$  - מייצג נפח מים הנמצאים בקבל המים. נשתמש בביטוי אחרון לחישוב קיבול של קבל המים:

$$C^* = V/p = \frac{V}{G/A} = \frac{V \cdot A}{\rho \cdot V \cdot g} = \frac{A}{\rho \cdot g} = \frac{0.28 \cdot 0.03}{1000 \cdot 9.8} = 0.85 \mu c^*$$

חשב ערכים של התנגדות הצינורות ונוסיף לטבלה.

בנה גרף התנגדות של הצינור כתלות בעורכו.



| $R^* (M\Omega^*)$ | $\tau$ | $1/\tau$ | $L (m)$ |
|-------------------|--------|----------|---------|
| 110.0             | 093.5  | 0.0107   | 0.05    |
| 133.7             | 113.6  | 0.0088   | 0.10    |
| 152.8             | 129.9  | 0.0077   | 0.15    |
| 183.8             | 156.3  | 0.0064   | 0.20    |
| 210.1             | 178.6  | 0.0056   | 0.25    |
| 217.9             | 185.2  | 0.0054   | 0.30    |

לפי הגרף קשר בין התנגדות של צינור לאורכו הוא קשר ליניארי ומאשש את המשוואה:

$$R^* = \frac{8\mu L}{\pi r^4}$$

**כהרחבה** לניסוי זה

1. ניתן לחקור קשר בין ההתנגדות לשטח חתך של צינור. למטרה זאת ניתן לכתוב ביטוי אחרון בצורה הבא:

$$R^* = \frac{8\mu L}{\pi r^4} = \frac{\pi 8\mu L}{\pi \pi r^4} = \frac{8\pi\mu L}{A^2} = 8\pi\mu \frac{L}{A^2}$$

2. בנוסף אפשר לחקור חיבור טורי וחיבור מקביל של צינורות.

**את המשימות תכנן ובצע בעצמי!**

## הוראות דידקטיות לביצוע הניסויים בטעינה ופריקה של קבל המים

### סוגי שאלות לתלמידים לפני ביצוע הניסויים :

1. האם קצב מילוי(ריקון) קבל המים יהיה קבוע? הסבר.
2. במערכת לטעינת קבל המים הנתונה, מה תואם- לסוללה, להתנגדות נגד ולקבל, כאשר מדובר על מעגל חשמלי?
3. כיצד היית מגדיר עוצמת הזרם במערכת מים הנתונה?
4. כיצד משתנה לחץ המים בנקודת חיבור הצינור לקבל ככל שקבל המים מתמלא?
5. איזה משמעות פיזיקלית יש ללחץ מים במערכת הנתונה, אם נשווה אותה עם מעגל החשמלי?
6. האם אפשר לומר שלקבל המים יש גבול של "מטען"? מה מגביל את המילוי שלו?
7. אם נחליף את הצינור בצינור צר יותר בעל אותו אורך, כיצד זה ישפיע על תהליך המילוי (ריקון)?
8. כיצד, לפי דעתך, גובה המים בקבל המים תלוי בזמן המילוי (ריקון)? בנה גרף איכותי לקשר זה?

### סוגי שאלות לתלמידים אחרי ביצוע הניסויים :

1. כיצד משתנה קצב מילוי (ריקון) הקבל עם הזמן? מדוע זה קורה?
2. למה קבל המים מפסיק להתמלא כעבור זמן מסוים? איך זה מתקשר לטעינת קבל חשמלי?
3. האם ניתן לקבוע תוך כמה זמן הקבל מתמלא (מתרוקן) ב-63%? מה משמעות פיזיקלית של המספר?
4. מה יקרה אם נגדיל שטח בסיס של קבל המים? איך זה ישפיע על זמן המילוי(ריקון)?
5. בגרפים שהתקבל בהם קשר ליניארי, גלה האם יש משמעות פיזיקלית לשיפוע של הגרף?
6. בגרפים שהתקבל בהם קשר ליניארי, גלה האם יש משמעות פיזיקלית לחיתוך עם צירים?