

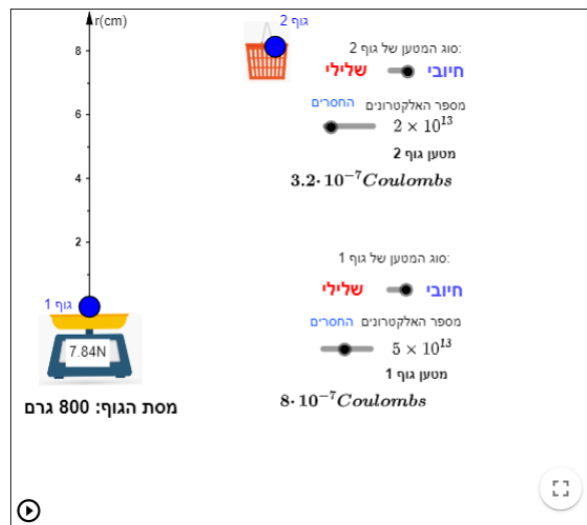
תדריך מעבדה - אישור חוק קולון

(כתב: דורון דגן, מבוסס על סימולציה שנוצרה ע"י גילית פורת, ערך: מוטי סלומון)

מטרת הניסוי: אישור חוק קולון.

ציוד: סימולציית חוק קולון.

עבודת הכנה:



- א. היכנסו לסימולציה: <https://www.geogebra.org/m/ehkufvzu>
- ב. השאירו את גוף 2 בסל. רשמו את הוריית המאזניים והסבירו את משמעות הערך המתקבל הוריית המאזניים הינה 7.84(N). משמעות הערך הינה כוח הנורמל הפועל על גוף 1
- ג. בחרו שני מטענים חיוביים שגודלם  $(1.6 \cdot 10^{-7} \text{ C})$
- ד. הציבו את גוף 2 מעל גוף 1 במרחק כלשהו ורשמו את הוריית המאזניים. הסבירו מדוע חל שינוי בהוריית המאזניים.
- חל שינוי בהוריית המאזניים משום שפועל כוח חשמלי אשר גוף 2 מפעיל על גוף 1 (אשר תלוי במרחק בין המטענים) משתנה. הגופים תמיד נשארים במנוחה (גם כאשר גוף 2 היה בסל) ולכן לאחר שהזזנו אותו כוח הנורמל שמפעיל גוף 1 על המאזנים גדל כדי ששקול הכוחות ישאר אפס.
- ה. כתבו ביטוי להוריית המאזניים כפונקציה מסת גוף 1 ( $m_1$ ), מטענו של גוף 1 ( $q_1$ ), מטענו של גוף 2 ( $q_2$ ) והמרחק בין המטענים ( $r$ ). בתשובתכם הסתמכו על כך שגודל הכוח החשמלי בין שני מטענים הוא:

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

ביטוי להוריית המאזניים הינו ביטוי לכוח הנורמלי הפועל על הגוף. נבטא את הכוח הנורמלי כפונקציה של מסת גוף 1, מטענו של גוף 1 ו2 והמרחק בין המטענים באופן הבא:

$$N = m_1 g + \frac{K q_1 q_2}{r^2}$$

**מהלך הניסוי**

א. ברצוננו לחקור את הקשר בין המרחק בין שני מטענים ובין הוריית המאזניים באמצעות הסימולציה. תארו כיצד תבצעו את המשימה וכן מהו המשתנה הבלתי תלוי, מהו המשתנה התלוי ואילו ערכים יישארו קבועים.

את הניסוי נבצע בעזרת מדידות וירטואליות. נטען את שני הגופים במטען שלילי זהה, ונמקם את גוף 1 על המאזניים ואת גוף 2 מעליו ונמדוד את הוריית המאזניים. המשתנה הבלתי תלוי בניסוי הוא המרחק בין הגופים ואילו המשתנה התלוי הוא הוריית המאזניים – הכוח הנורמלי הפועל על גוף 1.  
במהלך הניסוי מטען שני הגופים נשאר קבוע (בערך מוחלט), וכן גם מסתם (בקירוב).

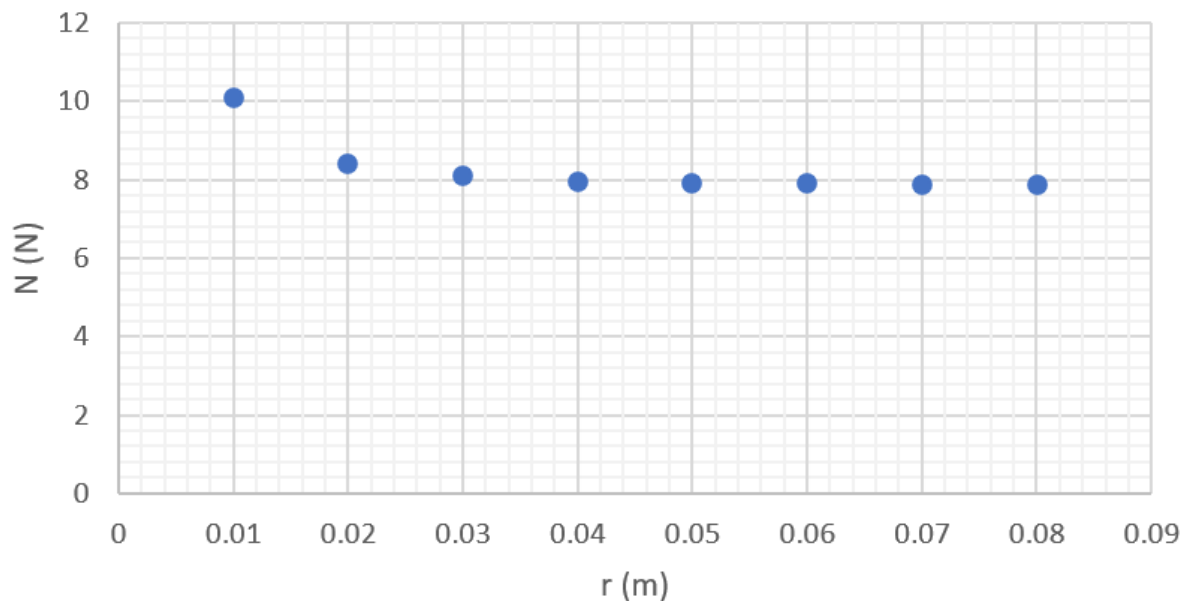
ב. מלאו את הטבלה הבאה בהתאם (ניתן למלא ישירות בגיליון אקסל, הקפידו לעבוד ביחידות מתאימות).

**תוצאות הניסוי**

מספר מדידה	r (m)	N (n)	$1/r^2$ (1/m <sup>2</sup> )
1	0.01	10.144	10000
2	0.02	8.416	2500
3	0.03	8.096	1111
4	0.04	7.984	625
5	0.05	7.932	400
6	0.06	7.904	277
7	0.07	7.887	204
8	0.08	7.876	156

**עיבוד התוצאות**

1. צרו באקסל גרף פיזור (נקודות בלבד) של הוריית המאזניים כתלות במרחק בין המטענים  $x$ . הקפידו על: שמות לצירים, יחידות של הצירים וכותרת מילולית לגרף. לבסוף, הוסיפו לגרף מקסימום קווי רשת אופקיים ואנכיים.

**הוראת המשקל כתלות במרחק בין המטענים**

1. מהתבוננות בגרף, האם מתקיים קשר לינארי בין הוריית המאזניים לבין המרחק בין המטענים  $x$ ? נמקו את תשובתכם.
- הגרף אינו לינארי, הקשר המתקיים בין הוריית המאזניים למרחק בין המטען הוא קשר של  $1/r^2$ .
2. כעת ברצוננו לבחור משתנה חלופי שהקשר בינו ובין הוריית המאזניים יהיה קשר לינארי:
- א. בחרו משנה כזה (משתנה זה לא כולל את קבועי המערכת), ורשמו אותו:  $X = \frac{1}{r^2}$
- ב. זהו את מרכיבי הביטוי הלינארי מהצורה  $Y=aX+b$  כלומר כתבו את ערכי  $a$  ו- $b$ .

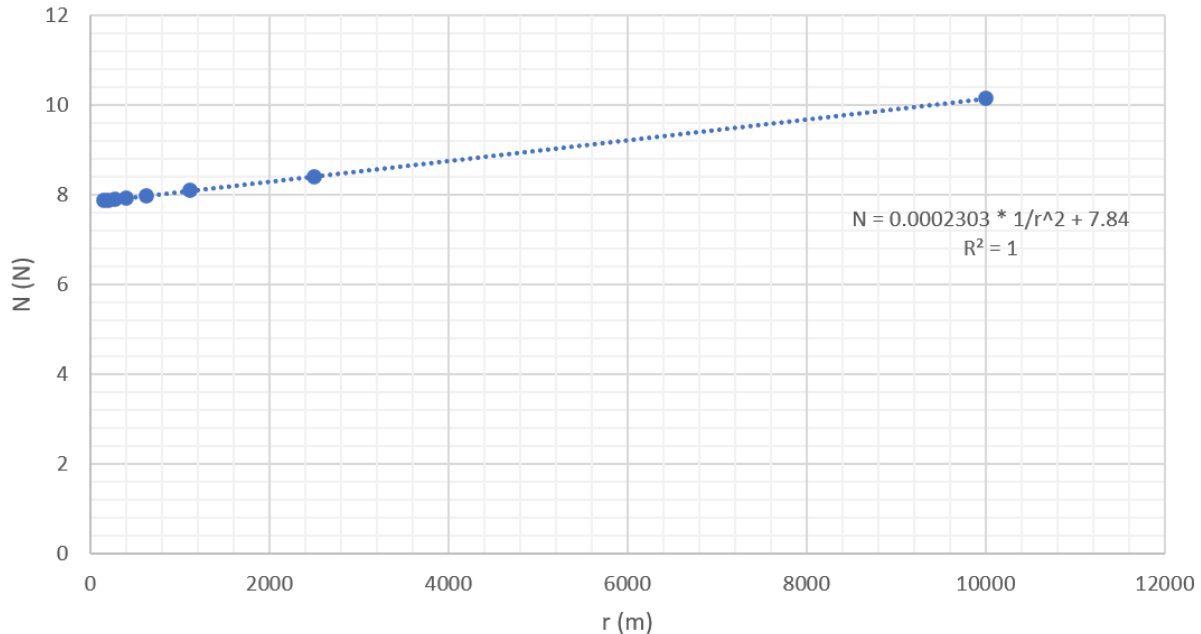
$$a = Kq_1q_2, b = m_1g$$

$$N = Kq_1q_2X + m_1g$$

3. הוסיפו בטבלה עמודה עבור המשתנה החדש שבחרתם, שרטטו גרף באקסל של הוריית מאזניים כתלות במשתנה החדש.

4. הוסיפו קו מגמה לינארי, הציגו את משוואת קו המגמה, הציגו את ערכו של  $R^2$ , שנו את המשתנים X ו-Y במשוואת קו המגמה למשתנים המתאימים בניסוי.

### הוראת המשקל כתלות במרחק בין המטענים



5. מה מייצג שיפוע הגרף ומהן יחידות המידה שלו? רשמו את ערכו של שיפוע הגרף (כולל יחידות). שיפוע

הגרף מייצג את הערך  $K q_1 q_2$ . בניסוי זה השיפוע שווה ל- $0.0002303 (N \cdot m^2)$ .

6. מה מייצגת נקודת החיתוך עם הציר האנכי ומהן יחידות המידה שלה? רשמו את ערכה של נקודת החיתוך עם הציר האנכי (כולל יחידות). נקודת החיתוך עם הציר האנכי מייצג את הוראת המשקל (כוח הנורמל שפועל על המטען) כאשר המרחק בין המטענים הוא "אינסופי", והוא שווה ל- $m_1 g$

$7.84(N)$ . זה גם כוח הכובד שפועל על הגוף.

7. מצאו מתוך הניסוי שערכתם את ערכו של קבוע חוק קולון K כולל יחידותיו.

יחידות K: ראינו שהיחידות של  $K q_1 q_2$  הם  $N \cdot m^2$  ולכן היחידות של  $K$   $N \cdot m^2 \cdot C^{-2}$ .

השיפוע: לפי אקסל, שיפוע הגרף הוא  $K = 0.0002303 (N \cdot m^2)$ .

ערך K: נציב את ערכי המטענים בניסוי שלנו,  $q_1, q_2 = 1.6 \cdot 10^{-7}$  ונקבל:

$$K = \frac{0.0002303}{1.6 \cdot 10^{-7} \cdot 1.6 \cdot 10^{-7}} = 8999916110.269222 \approx 9 \cdot 10^9 (N \cdot m^2 \cdot C^{-2})$$

**מסקנות**

1. מה ניתן להסיק מערך  $R^2$  שקיבלתם? ניתן להסיק שהקשר בין  $1/r^2$  לנורמל הוא ליניארי בדיוק.
2. האם ערכו של קבוע קולון תואם לגודלו הידוע? חשבו את אחוז הסטייה בין ערכו של קבוע קולון כפי שהתקבל בניסוי לבין גודלו הידוע. (יש להראות את אופן החישוב ולא לרשום רק תשובה סופית).

קיבלנו בניסוי ערך שמאוד קרוב לערך הידוע (שהוא  $8.987 \cdot 10^9 \text{ (N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2})$ ). אחוז הסטייה:

$$\% = \frac{|8.987 \cdot 10^9 - 9 \cdot 10^9|}{8.987 \cdot 10^9} \times 100 = 0.144\%$$

3. האם אושר החוק חוק קולון? נמקו! בתשובתכם לסעיף זה התייחסו לתשובותיכם לסעיפים 1-4.

אכן אושר חוק קולון! מכיוון ש  $R^2 = 1$  אזי הקשר בין הכוח (הנורמל) לבין אחד-חלקי המרחק בין המטענים בריבוע הינו **בדיוק** ליניארי (ללא שגיאה בכלל). דבר זה מאשר את חוק קולון, שאומר שהכוח בין שני מטענים שווה לקבוע (שהוא בעצם  $Kq_1q_2$ , בניסוי שלנו המטענים קבועים) כפול אחד-חלקי המרחק בין המטענים בריבוע, ובניסוי קיבלנו שאכן הקשר הזה מתקיים בדיוק וללא שגיאות. בדיקה נוספת היא שקיבלנו בדיוק את ערכו של  $K$  עם סטייה מזערית.

המעבדה נותנת קשר מדויק בין ערכי הגרף ל- $K$  אשר שווה לערך האמיתי שלו.

**דיון בשגיאות**

ניסוי זה מבוסס על סימולציה ולכן הדיון בשגיאות הינו היפותטי בלבד. עם זאת, האם לדעתכם על אף השימוש בסימולציה, יכולות להופיע שגיאות בניסוי זה?

למרות שהניסוי בוצע בסימולציה, עדיין קיימים מספר גורמים לשגיאות:

1. אין מספר ספרות במשקל ולכן הדיוק שלו אינו מושלם
2. החישוב של המטען של הגופים יכול להיות לא מדויק
3. המרחק בין המטענים יכול להיות לא מדויק

**יש להגיש: בזוגות קובץ word המכיל:**

- תשובות לכל השאלות בפרק ההכנה לניסוי.
- דו"ח מעבדה (על פי כל הכללים שלמדנו), כך שבכל פרק מופיעות התשובות לשאלות הרלבנטיות לפרק זה בתדריך.