

1 

סוג הבחינה: בגרות לבתי-ספר על-יסודיים  
מועד הבחינה: קיץ תשע"ח, 2018  
סמל השאלון: 98,917555,036382  
נספח: נתונים ונוסחאות בפיזיקה  
לחמש יח"ל

**מדינת ישראל**  
משרד החינוך

## פיזיקה – שאלון חקר

### הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: שתיים.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה אחת-עשרה שאלות. עליך לענות על כל השאלות 1-9, ועל שאלה אחת מבין השאלות 10-11. סה"כ – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון וסרגל.

ד. הוראות מיוחדות:

1. רשום את כל תשובותיך בגוף השאלון, במקומות המיועדים לכך.

2. כתוב בעט בלבד. מותר להשתמש בעיפרון לסרטוטים בלבד.

ה. עמודים 17-18 משמשים לטיטה.

כתוב במחברת הבחינה בלבד, בעמודים 17-18, כל מה שברצונך לכתוב כטיטה (ראשי פרקים, חישובים וכדומה).  
רישום טיטות כלשהן על דפים שמחוץ למחברת הבחינה עלול לגרום לפסילת הבחינה!

בשאלון זה 18 עמודים ונוסחאון.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר, אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

**בהצלחה!**

המשך מעבר לדף ◀

**חלק א': חקירת תופעת התהודה במעגל חשמלי טורי (90 נקודות)**

עליך לענות על כל השאלות 1-9.

**רקע עיוני**

**תהודה**

אחת התופעות הפיזיקליות היפות והמרתקות היא תופעת התהודה (רזוננס, resonance). תופעה זו מתאפיינת בכך שבמצב אידיאלי, בתדירות מסוימת, מתרחשת העברת אנרגיה מלאה ממצב אנרגטי אחד למשנהו.

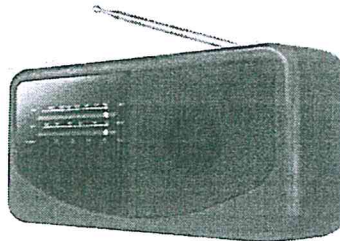
ניתן להדגים זאת במקרה של נדנדה. כאשר מנדנדים נדנדה מתרחשים מעברי אנרגיה בין אנרגיה פוטנציאלית לאנרגיה קינטית (בהזנחת החיכוך). בתדירות נדנוד מסוימת, שהיא **תדירות התהודה**, מתרחשת העברת אנרגיה מרבית, ומתקבלת המשרעת הגדולה ביותר.



יישום נוסף של תופעת התהודה קיים בכלי נגינה, כמו כלי מיתר, תופים או כלי נשיפה. בכלי מיתר, שינוי האורך או המתוחות של המיתרים גורם לשינוי בתדירות הצליל המופק. באורכים מסוימים של המיתרים מתקבלת **תדירות התהודה**, שעבורה הצליל המופק הוא החזק ביותר.



יישום חשוב מאוד של מצב תהודה הוא במקלטי הרדיו, הקולטים את השידורים המועברים באמצעות קרינה אלקטרו-מגנטית. השידור נקלט באופן מיטבי כאשר המקלט מכונן לתדירות הזוהי **לתדירות התהודה** של המשדר.



**תהודה במעגל חשמלי**

נתאר מקלט רדיו פשוט מאוד בעזרת מעגל RLC טורי, הפועל במתח ובזרם חילופין (Alternating Current, AC), בשונה ממעגלי מתח וזרם ישר (Direct Current, DC).

המעגל מורכב מארבעה רכיבים עיקריים:

נגד - בעל התנגדות R (אוהם, Ω).

קבל - בעל קיבול C (פראד, F). זהו רכיב האוגר מטען חשמלי. תפקידו לאגור אנרגיה פוטנציאלית חשמלית.

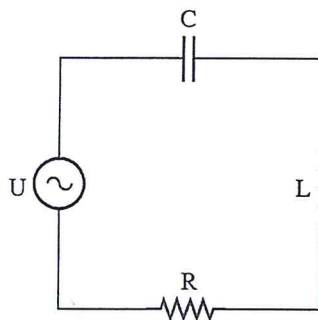
משרן (סליל) - בעל השראות L (הנרי, H), התלויה במבנה שלו, והתנגדות פנימית r.

מקור מתח חילופין - מתח חילופין הוא מתח המשנה את כיוונו ואת גודלו בתדירות מסוימת f (Hertz =  $\frac{1}{sec}$ ), וגורם לזרם חילופין.



מה קורה במעגל זרם חילופין? בעקבות השינוי במתח ישתנה גם הזרם במעגל (קצב השינוי = תדירות), ונוכל לצפות בתופעות שאינן מתרחשות במעגלי זרם ישר.

במעגל זרם ישר, כאשר הקבל נטען הוא יוצר נתק. במעגל זרם חילופין, כשמחברים בטור קבל ומשרן - הקבל נטען ונפרק בהתאם לשינוי המתח במעגל, ובמשרן נוצר שינוי בהיגב ההשראי. נבנה מעגל חשמלי טורי הכולל את ארבעת הרכיבים האלה:



נגדיר לכל אחד מהרכיבים את היחס בין המתח (V) על הרכיב לזרם (I) דרכו. במעגלי זרם חילופין היחס בין המתח לזרם נקרא היגב. במעגלים אלו קיים היגב קיבולי  $X_C$ , היגב השראי  $X_L$  והיגב התנגדתי  $X_R = R$ .

$$X_R = \frac{V_R}{I} = R \quad \text{נגד}$$

$$X_C = \frac{V_C}{I} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \quad \text{קבל}$$

$$X_L = \frac{V_L}{I} = 2\pi \cdot f \cdot L \quad \text{משרן (סליל)}$$

המתח השקול במעגל מתקבל על-ידי חיבור וקטורי של שלושת המתחים. היחס בין גודל המתח לגודל הזרם העובר

$$Z = \sqrt{X_R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \text{במעגל הוא:}$$

גודל זה נקרא **עכבה** (impedance).

תדירות מקור המתח קובעת את  $X_L$ , את  $X_C$  ואת העכבה הכללית במעגל. בהתאם לכך נקבעת עוצמת הזרם במעגל. אם נשנה את תדירות מקור המתח, נוכל לקבל תדירות מסוימת  $f_0$ , הנקראת **תדירות התהודה**, שבה מתקיים:

$$X_L = X_C$$

$$2\pi \cdot f_0 \cdot L = \frac{1}{2\pi \cdot f_0 \cdot C} \quad \text{כלומר:}$$

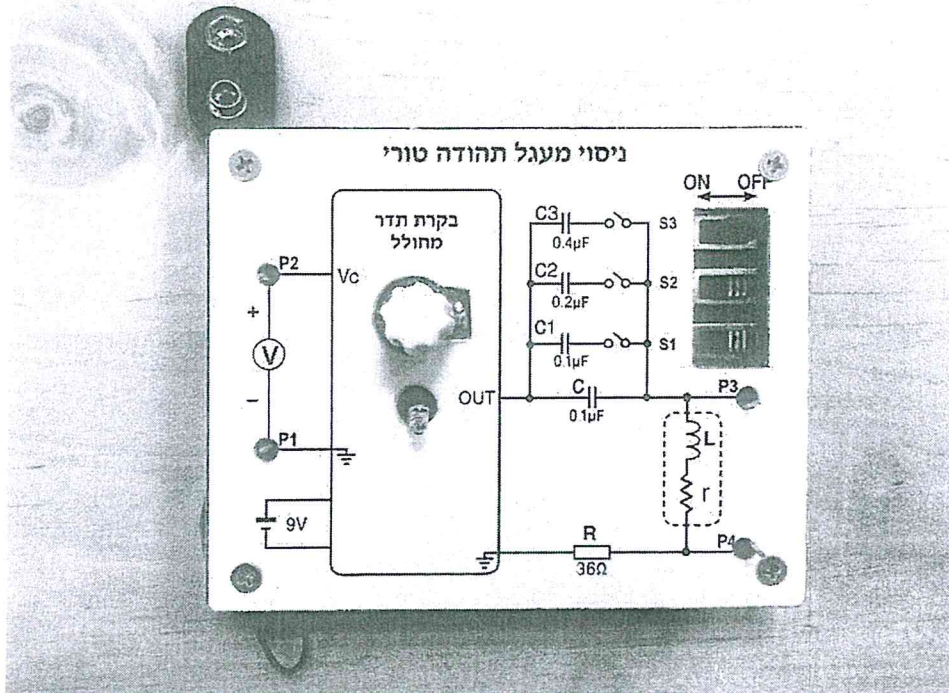
$$f_0^2 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot L \cdot C}$$

$$(1) \quad f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$$

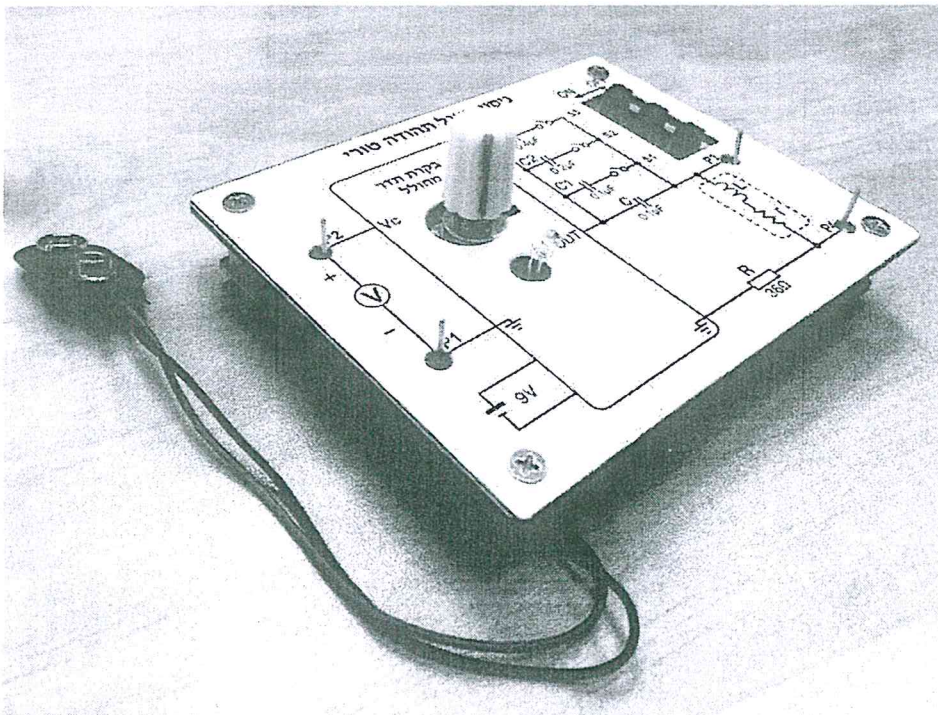
מכאן, ששינוי התדירות של מתח המקור משנה את הזרם במעגל, מבלי לשנות את רכיבי המעגל ( $L$ ,  $R$  או  $C$ ). בתדירות מסוימת, **תדירות התהודה**, העכבה היא מינימלית והזרם במעגל מרבי.

#### הציוד שהשתמשו בו בניסוי

- ערכת הניסוי
  - סוללה DC 9 V
  - רב-מודד
  - שני חוטי חיבור, שבקצה האחד שלהם חיבור מצבט (תנין) ובקצה השני שלהם – הדק "בננה"
- פירוט הרכיבים הנמצאים בערכת הניסוי, והמהווים את מעגל התהודה:
1. חיבור לסוללה DC 9 V.
  2. בקרת תדר מחולל (בת"מ). כוללת כפתור הניתן לסיבוב, הנאפשר לשנות את התדירות של המתח במעגל.
  3. לבקרת תדר המחולל יש שני הדקים (פינים),  $P_1$  ו- $P_2$ , שאליהם ניתן לחבר את הרב-מודד.
  4. ארבעה קבלים המחוברים במקביל:  $C = 0.1 \mu F$ ,  $C_1 = 0.1 \mu F$ ,  $C_2 = 0.2 \mu F$ ,  $C_3 = 0.4 \mu F$ . ליד כל אחד מהקבלים  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  ישנו מתג  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ , בהתאמה, הנאפשר לחבר אותו למעגל החשמלי או לנתק אותו ממנו.
- כאשר מחברים קבלים במקביל, הקיבול השקול שווה לסכום האלגברי של הקיבולים שלהם:**
- $$C_T = C_1 + C_2 + \dots$$
5. משרן (סליל) שהשראותו  $L$  והתנגדותו הפנימית  $r$ .
  6. גוד  $R$  שהתנגדותו  $36 \Omega$ .
  7. נורת LED – עוצמת האור שלה מעידה על עוצמת הזרם במעגל.
  8. הדקים (פינים)  $P_3$  ו- $P_4$  משני צידי המשרן, שאליהם ניתן לחבר את הרב-מודד.



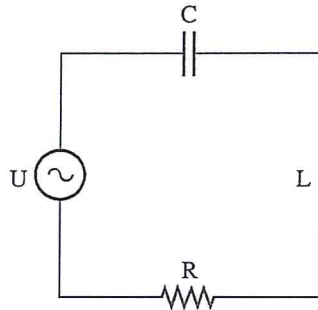
תצלום 1A של ערכת הניסוי - מבט-על



תצלום 1B של ערכת הניסוי - מבט-צד

**שאלה 1 (4 נקודות)**

במעגל RLC טורי, המתואר באיור לשאלה 1, משתמשים במקור מתח חילופין שתדירותו  $f = 50 \text{ Hz}$  ובקבל שקיבולו  $C = 100 \mu\text{F}$ . מהי ההשראות  $L$  של הסליל, הנדרשת על-מנת שהמעגל יימצא במצב תהודה?



איור לשאלה 1

---



---

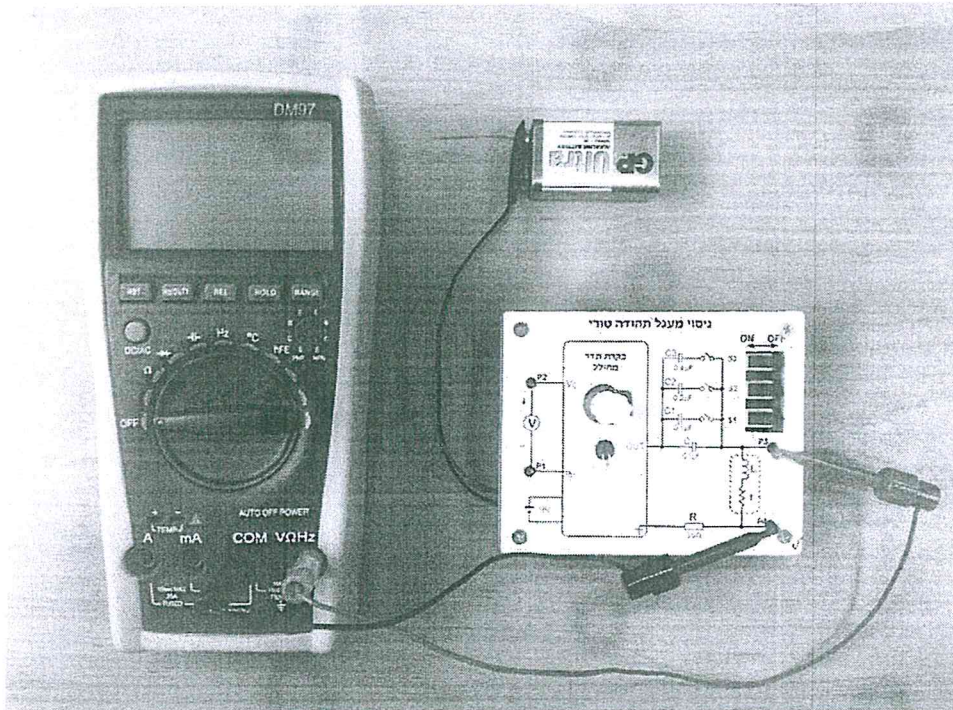


---

**שאלה 2 (10 נקודות)**

**פעולות שבוצעו בהתקנת המערכת:**

1. מחברים את הסוללה לערכת הניסוי בעזרת החיבור המתאים.
  2. מחברים את הרב-מודד לערכת הניסוי באופן הבא:  
את צידם האחד (הדקי ה"בננה") של חוטי החיבור מחברים ל- $COM$  ולמתח  $V$  ברב-מודד, ואת קצות המצבטים (התנינים) מחברים להדקי המשרן (פינים  $P_3$  ו- $P_4$ ) בערכת הניסוי - ראה תצלום לשאלה 2.
  3. הפעלת הרב-מודד: מכוונים את הרב-מודד, כך שיוכל למדוד מתח חילופין בין  $0 \text{ V}$  ל- $20 \text{ V AC}$ .
  4. מביאים את ערכת הניסוי למצב ההתחלתי שלה: שלושת המתגים שבערכה נמצאים במצב פתוח (OFF). מסובבים בעדינות את כפתור בקרת תדר המחולל (בת"ג) לצד שמאל (נגד כיוון השעון) עד הסוף. קיבול המעגל במצב הזה (שלושת המתגים במצב OFF והקבל  $C$  מחובר) הוא  $0.1 \mu\text{F}$ .
- הבהרה:** כאשר מתג נמצא במצב OFF - הקבל הסמוך לו לא מחובר למעגל. כשכפתור הבת"מ מסובב עד הסוף נגד כיוון השעון (שמאלה) - הזרם הזורם במעגל הוא הנמוך ביותר.



תצלום לשאלה 2

**תיאור ביצוע הניסוי:**

מסובבים את כפתור הבת"מ עם כיוון השעון (ימינה) באיטיות עד הסוף. עוצמת האור בנורית ה-LED והמתח על המשרן המוצג ברב-מודד גדלים עד לנקודה מסוימת, שבה הם מרביים (מקסימליים). כאשר ממשיכים לסובב את הכפתור באותו כיוון - עוצמת האור בנורית ה-LED והמתח על המשרן קטנים. שים לב: כאשר עוצמת האור בנורית ה-LED והמתח המוצג ברב-מודד מרביים - זהו מצב התהודה.

א. מדוע ניתן להניח שכאשר עוצמת האור ב-LED היא מרבית, המעגל נמצא בתדר התהודה שלו? בתשובתך, היעזר ברקע העיוני.

---

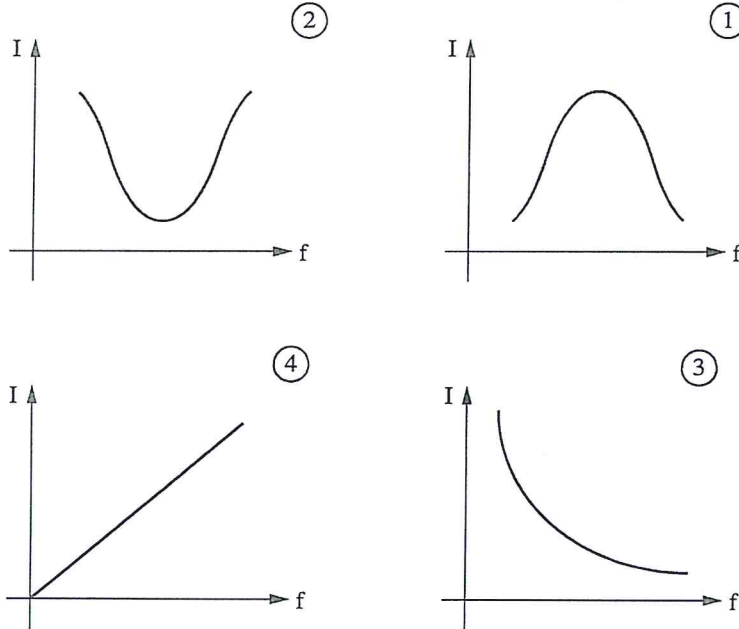


---



---

ב. באיור לשאלה 2 נתונים ארבעה גרפים, המסומנים בספרות ① - ④. רשום את מספרו של הגרף המתאר בצורה הנכונה את הקשר שבין עוצמת הזרם במעגל לבין תדירות המחולל. הסבר את בחירתך.



איור לשאלה 2

---



---



---



---

**מהלך הניסוי**

**הקדמה**

כפתור הבת"מ משנה את המתח של מחולל התדר. יתרונה של המערכת שלפניך הוא שניתן לחבר אליה סוללה של מתח ישר, ולבצע את המדידות של הניסוי כשהרב-מודד מכוון למצב DC.

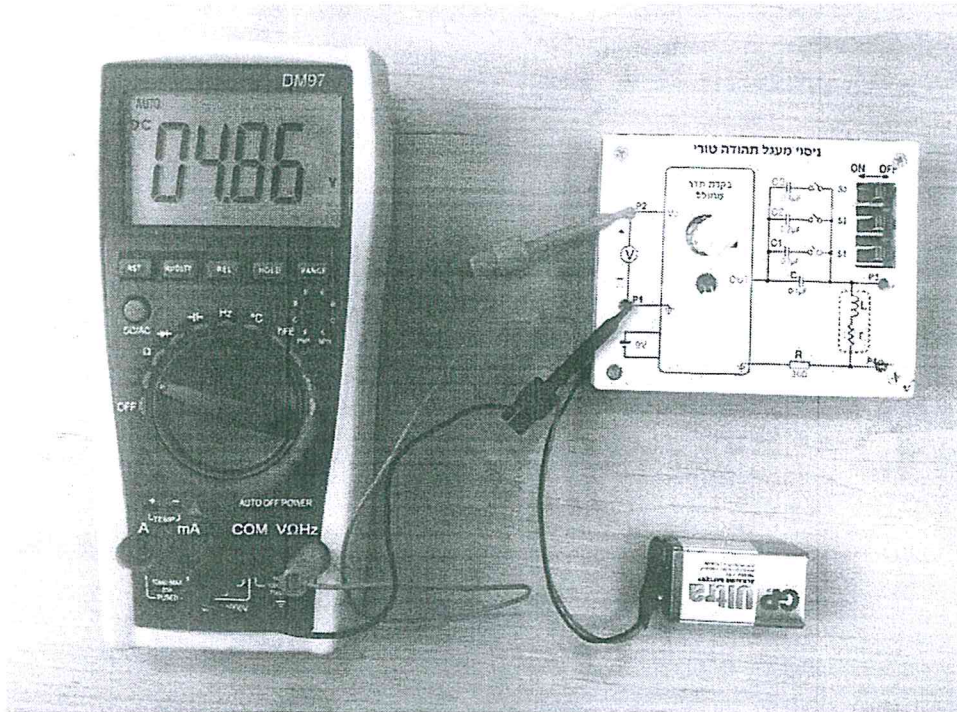
במערכת זו, כל שינוי של 1 V DC במתח הנמדד על-ידי הרב-מודד בין ההדקים  $P_1$  ו- $P_2$  גורם לשינוי של 1 kHz בתדירות המחולל.

◀ המשך בעמוד 9



שאלה 3 (6 נקודות)

מכוונים את הרב-מודד, כך שיוכל למדוד מתח ישר (המסומן DC) המתאים לסדר-הגודל של כא"מ הסוללה. מנתקים את קצות המצבטים מהפינים  $P_3$  ו- $P_4$ , ומחברים אותם לפינים  $P_1$  ו- $P_2$ .



תצלום לשאלה 3

מחזירים את כפתור הבת"מ למצבו ההתחלתי. מסובבים אותו באיטיות עם כיוון השעון, ומביטים בעוצמת האור המשתנה בנורית ה-LED. מכוונים את הכפתור לנקודה שבה עוצמת האור בנורית ה-LED היא מרבית. זהו מצב ה**תהודה**.

- א. רשום את הקיבול של המעגל במצב הזה: \_\_\_\_\_.
- ב. המתח המוצג ברב-מודד במצב הזה יהיה:  $4.86 \text{ V}$ . רשום את ערך התדירות המתאים למתח הזה: \_\_\_\_\_.
- ג. רשום את מצב המפסקים ואת התדירות מסעיף ב' בעמודות המתאימות בטבלה המוצגת בשאלה הבאה.



## שאלה 4 (24 נקודות)

- א. משנים את הקיבול השקול במעגל בעזרת המתגים  $S_1$ ,  $S_2$  ו- $S_3$ .  
 למשל: עבור קיבול שקול של  $0.2 \mu F$  – על המתג  $S_1$  להיות במצב ON, ועל המתגים  $S_2$  ו- $S_3$  להיות במצב OFF.  
 עבור כל ערך של הקיבול השקול המופיע בטבלה – הביאו את המעגל החשמלי מחדש למצב תהודה (עוצמת אור מרבית בנורית ה-LED), ומְדְדו את המתח בין הפינים  $P_1$  ו- $P_2$  במצב הזה.  
 רשום בטבלה את מצב המפסקים ואת תדירות התהודה המתאימה לכל אחד מן המתחים שהתקבלו במדידות 6 ÷ 2.

מספר מדידה	הקיבול השקול ( $\mu F$ )	מצב המפסקים (ON / OFF)			המתח (V) בין הפינים $P_2$ ו- $P_1$	תדירות התהודה (kHz)
		$S_1$	$S_2$	$S_3$		
1	0.1			4.86		
2	0.2	ON	OFF	3.35		
3	0.3			2.83		
4	0.4			2.43		
5	0.6			2.03		
6	0.8			1.67		

הערה: את העמודות הריקות שבטבלה תידרש למלא בהמשך השאלון.

- ב. בהתאם למדידות שבוצעו בסעיף א', מהו המשתנה הבלתי-תלוי ומהו המשתנה התלוי בניסוי?

**שאלה 5 (16 נקודות)**

א. היעזר בנוסחת תדירות התהודה  $f_0$  שברקע העיוני (נוסחה (1) בעמוד 4), והגדר משתנה בלתי-תלוי ומשתנה תלוי חדשים, כך שיתקבל קשר קווי ישר ביניהם (גרף ליניארי).

---

---

---

---

ב. הוסף בראש העמודות הריקות בטבלה שבשאלה 4 את המשתנים החדשים שהגדרת בסעיף א' ואת יחידות-המידה שלהם, ומלא את הטבלה.

הצג את הערכים בטבלה בכתובה מדעית, למשל: את הערך 3,333,333 הצג בטבלה כ-  $3.33 \cdot 10^6$ .  
בסרטוט הדיאגרמה בשאלה הבאה, רשום את חזקת ה-10 המשותפת לכל הערכים בכל אחד מן הצירים ליד יחידות-המידה. עשה זאת גם אם עיבוד הנתונים מתבצע בעזרת מחשב.

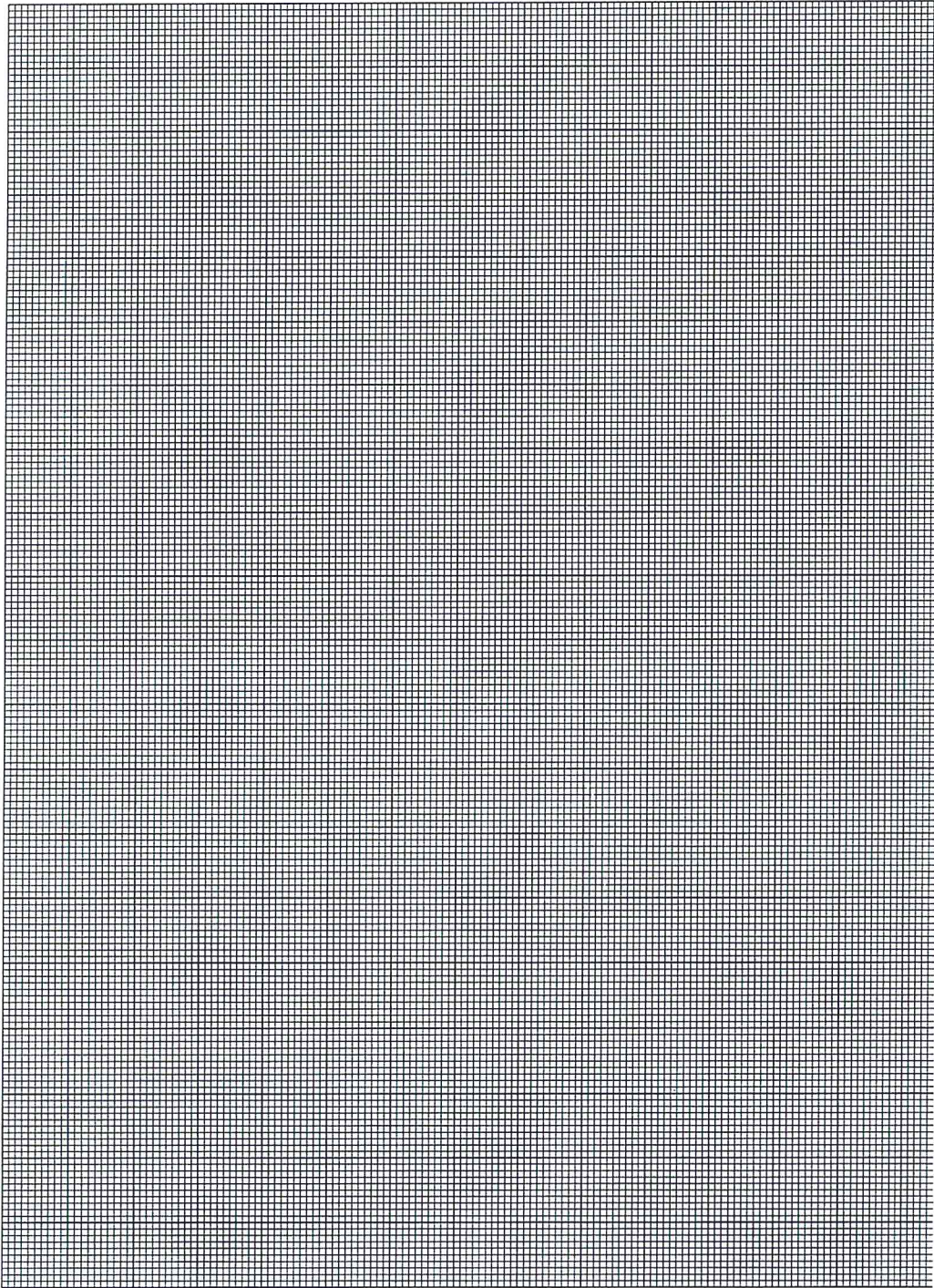
**שאלה 6 (12 נקודות)**

א. סרטט על הנייר המילימטרי (שבעמוד הבא) דיאגרמת פיזור של המשתנה התלוי החדש כפונקציה של המשתנה הבלתי-תלוי החדש, על-פי התוצאות שרשמת בטבלה שבשאלה 4.

בסרטוטך, רשום את החזקה המתאימה של 10 ביחידות-המידה של המשתנים בשני הצירים, כך שהערכים שתשרשום לאורך הצירים יהיו המקדמים המספריים בלבד. עשה זאת גם אם עיבוד הנתונים מתבצע בעזרת מחשב.

הערה: תוכל להשתמש גם בגיליון האלקטרוני. אם השתמשת בו, הדבק את מדבקת הנבחן שלך גם על תדפיס המחשב, וצרף אותו לשאלון.

ב. העבר קו מגמה בדיאגרמת הפיזור שסרטטת.



לרשותך נייר מילימטרי נוסף בעמוד 16, למקרה הצורך.

◀ המשך בעמוד 13



## שאלה 7 (10 נקודות)

א. חשב את השיפוע של קו המגמה שסרטטת, וציין את יחידות המידה שלו.

---



---



---

ב. בעזרת השיפוע שמצאת בסעיף א', חשב את ההשראות  $L$  של המשרן.

---



---



---

## שאלה 8 (4 נקודות)

מהם היתרונות של סרטוט הגרף הליניארי בשאלה 6 על-פני סרטוט גרף של התדירות  $f_0$  כפונקצייה של הקיבול  $C_T$ ?

---



---

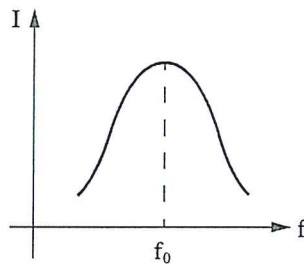


---

## שאלה 9 (4 נקודות)

התבונן בתצלום של ערכת הניסוי, וענה על השאלה שלהלן:

באיור לשאלה 9 נתון גרף המתאר את עוצמת הזרם  $I$  במעגל החשמלי שבניסוי כפונקציה של תדירות המחולל  $f$ .



איור לשאלה 9

אילו הנגד  $R = 36 \Omega$  (המחובר בטור לסליל) היה מקוצר (לא היה קיים) בערכת הניסוי, האם גובהו של ה"פעמון" המתואר בגרף היה גדל, קטן או לא היה משתנה? נמק את תשובתך.

---



---



---



**חלק ב': שאלות מניסויי החובה (10 נקודות)**

ענה על אחת מבין השאלות 10-11 (לכל שאלה - 10 נקודות).

**שאלה 10 (10 נקודות)**

**החוק השני של ניוטון**

א. בשלב הראשון של הניסוי, שבו המסה הכוללת של המערכת (העגלה והסל) נשארת קבועה - מהו המשתנה הבלתי־תלוי ומהו המשתנה התלוי?

---

---

---

ב. האם הסל ינוע בתאוצת הנפילה החופשית כאשר החיכוך בין העגלה למשטח זניח? הסבר את תשובתך.

---

---

---

ג. בניסוי מסרטטים גרף של התאוצה כפונקצייה של הכוח השקול הפועל על המערכת. כאשר החיכוך בין העגלה למשטח אינו זניח:

1. כיצד ישתנה שיפוע הגרף לעומת שיפועו במקרה שבו החיכוך זניח?

---

---

2. כיצד ישתנה מיקום נקודת החיתוך של הגרף עם הציר האופקי לעומת מיקומה במקרה שבו החיכוך זניח?

---

---

---



## שאלה 11 (10 נקודות)

גליונומטר טנגנטי

א. הסבר כיצד ניתן למדוד בגליונומטר טנגנטי את הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור-הארץ ( $B_E$ ).

---



---



---



---



---



---



---

ב. מדוע הגליונומטר הטנגנטי מודד בניסוי אך ורק את הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור-הארץ?

---



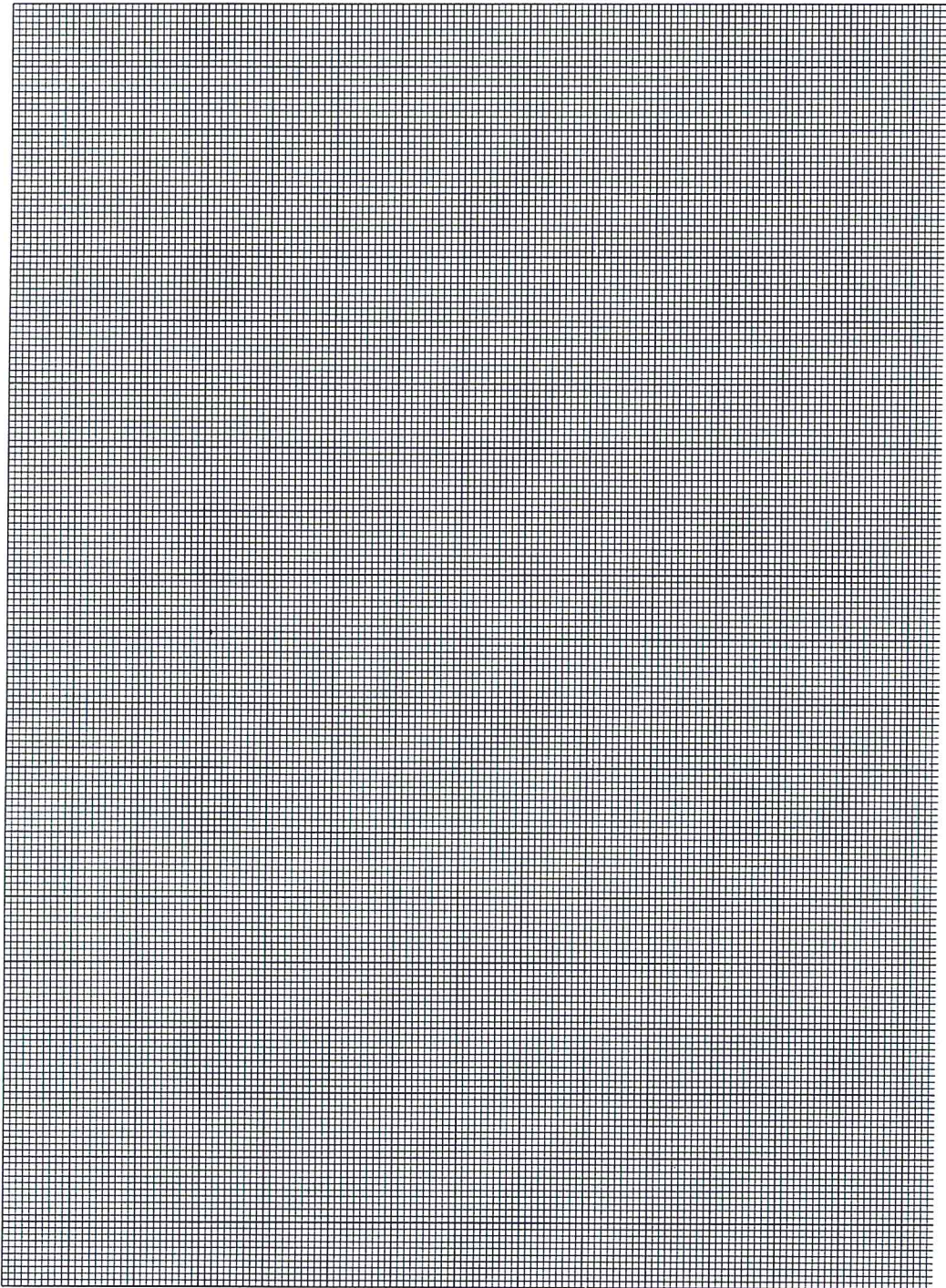
---

ג. הסבר מדוע לא ניתן לקבל בניסוי הזה זווית-סטייה של  $90^\circ$  במחט-המצפן.

---



---



◀ המשך בעמוד 17





טיוטה





### טיוטה

### **בהצלחה!**

זכות היוצרים שמורה למדינת ישראל.  
אין להעתיק או לפרסם אלא ברשות משרד החינוך.