מדינת ישראל
משרד החינוך

סוג הבחינה: בגרות לבתי־ספר על־יסודיים
מועד הבחינה: קיץ תשפ"ו, 2026
סמל השאלון: 036382
נספח: נתונים ונוסחאות בפיזיקה ל־5 יח"ל

פיזיקה – שאלון חקר

הוראות לנבחנים

א. משך הבחינה: שעתיים ורבע.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה **עשר** שאלות. סך־הכול – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר בשימוש: מחשבון, סרגל ודפי נתונים ונוסחאות (מצורפים).

ד. הוראות מיוחדות:

1. כתבו את כל התשובות **במחברת הבחינה**.
2. כתבו **בעט בלבד**. מותר להשתמש בעיפרון לסרטוטים בלבד.
3. בחישובים יש להשתמש בערך $9.8\frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ לגודל **g**, תאוצת הנפילה החופשית (סמוך לפני כדור הארץ).

הוראות למשגיחים:
ודאו שנבחנים שהשתמשו בגיליון האלקטרוני הדביקו את מדבקת הנבחן שלהם על תדפיס המחשב, וצירפו אותו למחברת הבחינה.

כתבו **במחברת הבחינה בלבד**, בעמודים נפרדים, כל מה שברצונכם לכתוב **כטיוטה** (ראשי פרקים, חישובים וכדומה).
כתבו "טיוטה" בראש כל עמוד טיוטה. כתיבת טיוטות כלשהן על דפים שמחוץ למחברת הבחינה עלולה לגרום לפסילת הבחינה!

בשאלון זה *9* עמודים.

השאלות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים,
אף על פי כן על כל תלמידה וכל תלמיד להשיב עליהן באופן אישי.

בהצלחה!

המשך מעבר לדף ◀

השאלות

מציאת הערך של תאוצת הנפילה החופשית g באמצעות מטוטלת (100 נקודות)

ענו על השאלות 1–10.

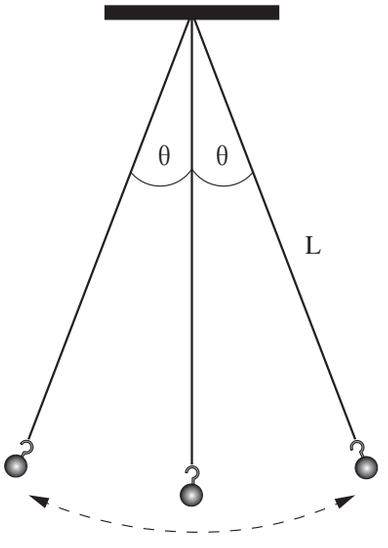
סך הנקודות שתצברו במבחן לא יעלה על 100 (מתוך 108 הנקודות לכל השאלות).

שלב ראשון – מטוטלת מתמטית

מטוטלת מתמטית מורכבת מ־

1. חוט דק שמסתו זניחה

2. מסה נקודתית m התלויה על החוט



תרשים 1

בהסטת המסה מנקודת שיווי המשקל בזוויות קטנות (עד 10°),
ניווכח כי המסה מתנדנדת במישור שיוצר החוט
כך שנוצרת קשת של מעגל שרדיוסו L (ראו תרשים 1).

כוח החיכוך זניח.

עבור מטוטלת מתמטית המוסטת בזווית תנודה קטנה, θ,
זמן המחזור נתון בנוסחה 1:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad \textbf{(נוסחה 1)}$$

T – זמן המחזור

g – תאוצת הנפילה החופשית

L – אורך המטוטלת

שימו לב: זמן המחזור אינו תלוי במסת הגוף המתנודד.

מטרת השלב הראשון

למצוא את הערך של תאוצת הנפילה החופשית, g, בעזרת מדידת זמן המחזור של המטוטלת והצבתו בנוסחה 1.

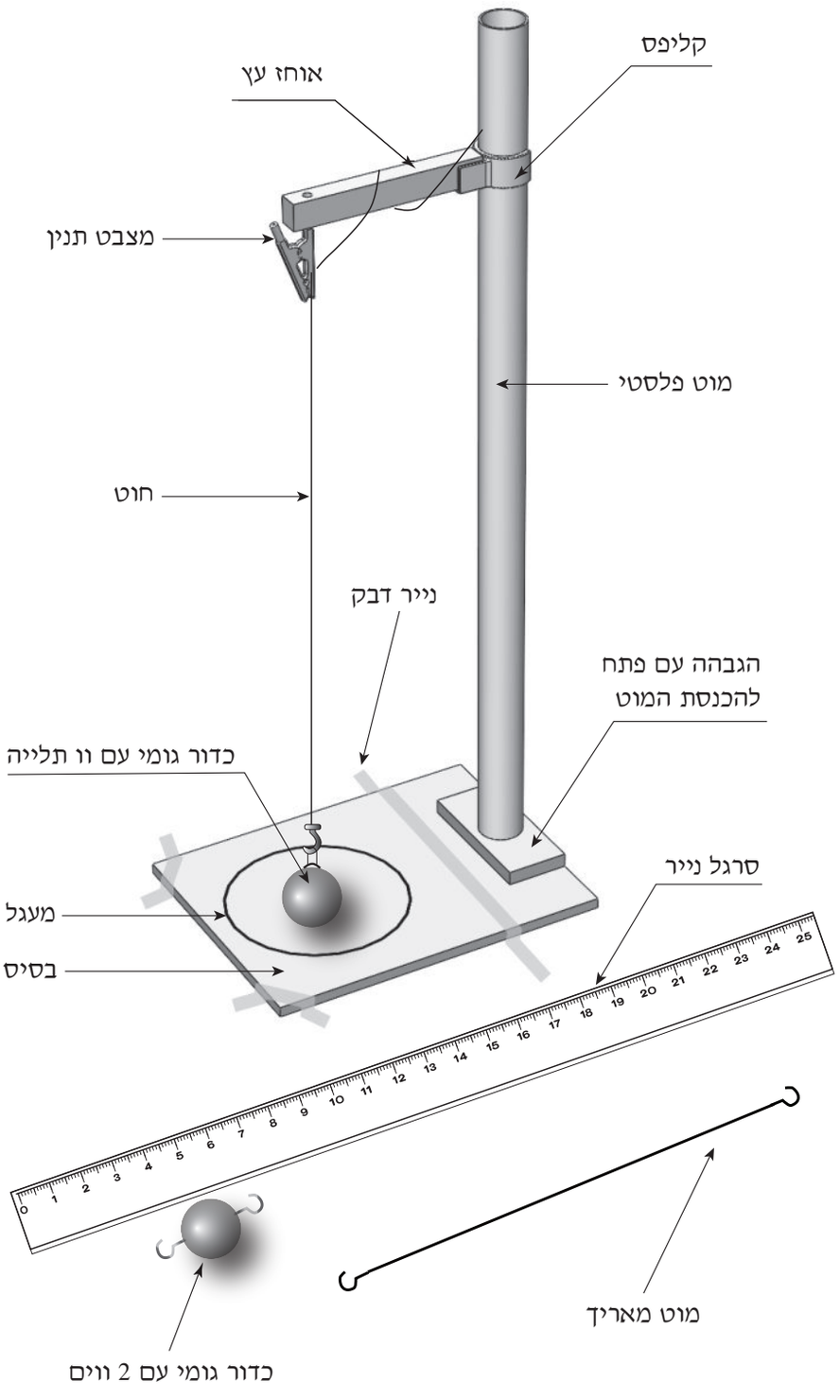
המשך בעמוד 3

ציוד הניסוי

ערכת הניסוי מכילה:

- לוח עץ המשמש כבסיס, שעליו מסורטט מעגל, ובקצהו הגבהה עם פתח להכנסת מוט
- מוט פלסטי
- סרגל נייר
- אוחז עץ עם קליפס
  ומצבט תנין לאחיזת החוט
- מוט מאריך ממתכת
- כדור גומי שמסתו 20 גרם
  עם וו תלייה אחד
- כדור גומי שמסתו 20 גרם
  עם 2 ווי תלייה
- נייר דבק

(ראו תרשים 2)



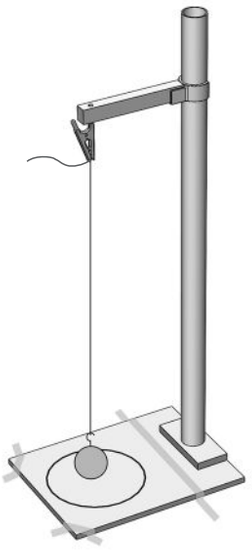
תרשים 2

המשך בעמוד 4

בניית מערכת הניסוי

מערכת הניסוי הורכבה על־גבי השולחן כמתואר בתרשים 3.

תחתית הכדור נמצאת מעט מעל למרכז המעגל שבבסיס.



תרשים 3

שאלה 1 (4 נקודות)

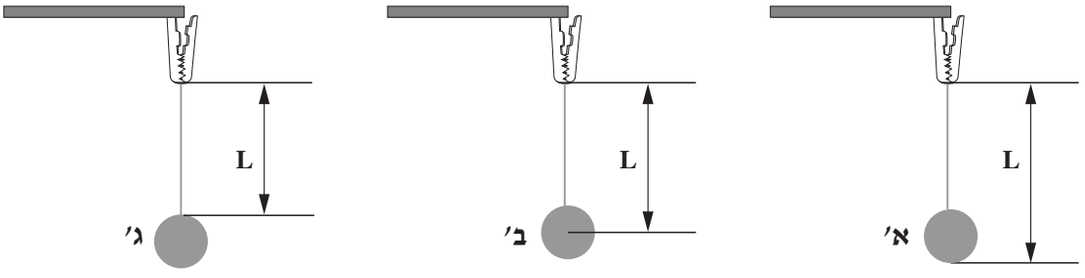
לפניכם שלוש אפשרויות למדידת אורך המטוטלת L. אפשרויות אלה מתוארות בתרשים 4.

אפשרות א' – מנקודת חיבור החוט אל מצבט התנין ועד לתחתית הכדור.

אפשרות ב' – מנקודת חיבור החוט אל מצבט התנין ועד למרכז הכדור.

אפשרות ג' – מנקודת חיבור החוט אל מצבט התנין ועד לחלקו העליון של הכדור.

בחרו באפשרות הנכונה ונמקו את בחירתכם.



תרשים 4

המשך בעמוד 5

אופן הביצוע

בניסוי ניתן לקבוע את גובה הכדור מעל למרכז המעגל שבבסיס על ידי **הרמה או הורדה של האוחז** לפי הצורך.

ניתן להביא את הכדור לתנודות בזווית קטנה על ידי הסטתו עד לקו המעגל שבבסיס, כמתואר בתרשים 5.



תרשים 5

ביצוע הניסוי

בניסוי בוצעו מדידות שבאמצעותן תוכלו לחשב את הערך של תאוצת הנפילה החופשית.

שאלה 2 (14 נקודות)

קָבעו $L = 0.3\ [m]$, ומָדְדוּ את זמן המחזור באופן הבא:

הֻסִיטוּ את הכדור עד לקו המעגל שבבסיס (כמתואר בתרשים 5) וְשֻחְררו.

מָדְדוּ את הזמן של 10 מחזורים.

בעמודה $10T_1$ שבטבלה 1 מוצגת תוצאת מדידת הזמן של עשרה מחזורים. חָזְרו על המדידה פעמיים נוספות, זמן של 10 מחזורים בכל פעם, וכָתבו את התוצאות שהתקבלו בטבלה, בעמודה $10T_2$ ובעמודה $10T_3$.

L[m]	$10T_1$[sec]	$10T_2$[sec]	$10T_3$[sec]	T[sec]
0.3	11.08	11.01	10.98	

טבלה 1

(4 נק') **א.** העתיקו את טבלה 1 למחברת.
חַשבו את זמן המחזור הממוצע, T, וכתבו את התוצאה בטבלה.

(10 נק') **ב.** באמצעות זמן המחזור הממוצע T (שחישבתם בסעיף א'), והצבתו בנוסחה 1, חַשבו את הערך של תאוצת הנפילה החופשית g.

המשך בעמוד 6

שאלה 3 (6 נקודות)

על מנת לחשב את הערך של תאוצת הנפילה החופשית g,
רונה הציעה למדוד את הזמן של 10 מחזורים של מטוטלת אחת חמש פעמים,
ונעמי הציעה למדוד זמן של 10 מחזורים פעם אחת עבור 5 אורכי מטוטלת (L) שונים.

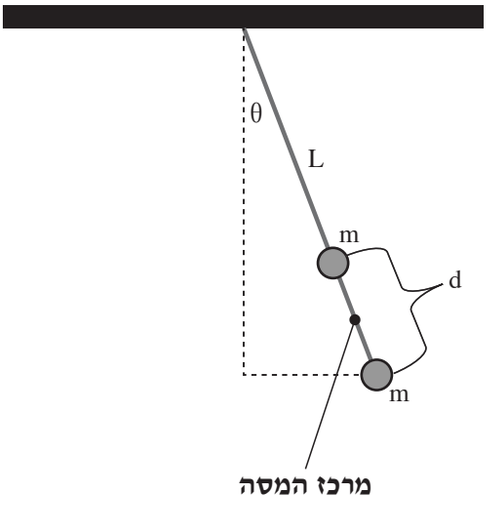
כתבו מה היתרון בהצעה של כל אחת מהן.

שלב שני – מטוטלת פיזיקלית דו־גופית

רקע תיאורטי

נגדיר מטוטלת פיזיקלית דו־גופית כמטוטלת המורכבת משני גופים (זהים במסתם במקרה שלנו), המחוברים זה לזה באמצעות מוט מאריך דק כך שהמרחק בין מרכזי הגופים הוא d.

ניתן להתייחס אל מטוטלת זו כאל מטוטלת מתמטית פשוטה, אם נניח ששתי המסות הן מסה נקודתית אחת (2m), המרוכזת בנקודה דמיונית על המוט המאריך. נקודה זו נקראת מרכז המסה (ראו תרשים 6).



תרשים 6

כאשר שתי המסות מתנודדות יחד והמוט המאריך שביניהן נמצא בקו ישר בהמשך לחוט, ניתן להתייחס למטוטלת פיזיקלית זו כאל מטוטלת מתמטית שאורכה שווה לממוצע סכום המרחקים מנקודת הקצה העליונה. סימָנוֹ של אורך זה L_{eff}.

$$L_{eff} = \frac{L + (L + d)}{2} = \frac{2L + d}{2}$$

על ידי הצבה של L_{eff} בנוסחה 1 שבעמוד 2 מתקבל:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L_{eff}}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{\frac{2L + d}{2}}{g}}$$

(נוסחה 2) $$T = 2\pi\sqrt{\frac{2L + d}{2g}}$$

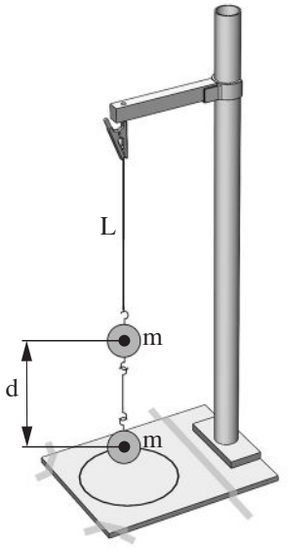
המשך בעמוד 7

מהלך הניסוי

שאלה 4 (11 נקודות)

בשלב זה מָדְדו את זמן המחזור הממוצע T עבור ערכים שונים של L, בין $L = 0.25\ [m]$ ל־$L = 0.05\ [m]$.

בתחילת הניסוי קָבְעו $L = 0.25\ [m]$, וחִיברו אליו את הכדור אשר עליו מורכבים שני ווים. אל הוו התחתון חיברו את המוט המאריך, ואליו חיברו את הכדור התחתון (ראו תרשים 7). המרחק בין מרכזי הכדורים הוא $d = 0.15\ [m]$.



תרשים 7

בניסוי מָדְדו את זמן המחזור באופן הבא:

הסיטו את הכדור התחתון עד לקו המעגל שבבסיס ושחררו. הקפידו שהחוט והמוט המאריך יהיו בקו ישר, כמתואר בתרשים 6. אחר כך חָזְרו על המדידות עבור ערכי L שונים.

עבור כל ערך L שבחרו, מָדְדו את הזמן של 10 מחזורים, וכָתבו את התוצאה בטבלה 2 בעמודה $10T_1$.

חָזְרו על המדידה פעמיים נוספות, וכָתבו את התוצאות שהתקבלו בטבלה, בעמודה $10T_2$ ובעמודה $10T_3$.

העתיקו את טבלה 2 למחברת הבחינה. שימו לב לעמודה הריקה שבצד שמאל.

מדידה מספר	L [m]	$10T_1$[sec]	$10T_2$[sec]	$10T_3$[sec]	T[sec]	
1	0.25	11.77	11.82	12.01		
2	0.2	10.85	11	10.99		
3	0.15	10.07	10.06	10.01		
4	0.1	9.32	9.16	9.25		
5	0.05	8.29	8.33	8.36		

טבלה 2

(5 נק') **א.** חשבו את זמן המחזור הממוצע עבור ערכי L שנבחרו והשלימו את העמודה T.

(6 נק') **ב.** הסבירו מה לדעתכם היו השיקולים של מבצעי הניסוי בבחירת מספר ערכי ה־L שנבחרו.

המשך בעמוד 8

שאלה 5 (19 נקודות)

(6 נק') **א.** על סמך נוסחה 2 (עמוד 6), הוכיחו את הקשר $T^2 = \frac{4\pi^2}{g} \cdot L + \frac{2\pi^2}{g} \cdot d$

(6 נק') **ב.** על סמך הרקע התאורטי, קבעו באיזה מארבעת המשתנים שלהלן יתקבל גרף שצורתו קו ישר כפונקצייה של L.

1. T 2. T^2 3. $\sqrt{T}$ 4. $\frac{1}{T}$

הַעֲתיקו למחברת הבחינה את המשתנה שקבעתם והסבירו את קביעתכם.

(7 נק') **ג.** על סמך קביעתכם בסעיף ב', מלאו את העמודה הריקה שבטבלה 2. רשמו את המשתנה שקבעתם ואת יחידותיו בראש העמודה.

השלימו את כל הערכים החסרים בעמודה זו, עבור כל המדידות.

שאלה 6 (26 נקודות)

(20 נק') **א.** סרטטו במחברת הבחינה דיאגרמת פיזור של המשתנה שקבעתם בשאלה 5ב' כפונקצייה של האורך L, על פי התוצאות שכתבתם בטבלה.

<u>הערה</u>: בשאלה זו תוכלו להשתמש גם בגיליון האלקטרוני, על פי הוראות הבוחן.
אם השתמשתם בו, הדביקו את מדבקת הנבחן שלכם גם על תדפיס המחשב, והדקו אותו למחברת הבחינה. מומלץ לכתוב מספר תעודת זהות בכותרת הגרף.

(6 נק') **ב.** העבירו קו מגמה בדיאגרמת הפיזור שסרטטתם (הקו הישר המתאים לה ביותר).

שאלה 7 (10 נקודות)

מצאו את שיפוע הקו, וחשבו באמצעותו את הערך של תאוצת הנפילה החופשית g. הסבירו את החישובים.

שאלה 8 (12 נקודות)

בַּצְעו עיבוד תוצאות של שתי סדרות מדידת זמני המחזור:

(3 נק') **א.** מִצְאו את הערך של g על פי 3 התוצאות הראשונות שבטבלה 2.

(3 נק') **ב.** מִצְאו את הערך של g על פי 3 התוצאות האחרונות שבטבלה 2.

(6 נק') **ג.** בהתאם לתוצאות שקיבלתם, הַציעו דרך לשיפור הניסוי כדי לקבל תוצאה מדויקת יותר עבור g.

המשך בעמוד 9

שאלה 9 (3 נקודות)

בשאלות 2 ו־7 חישבתם את הערך של תאוצת הנפילה החופשית.

על סמך התוצאות שקיבלתם ועל סמך שאלה 8, האם הקביעה שמטוטלת דו־גופית מתנהגת כמטוטלת מתמטית היא נכונה? אם כן – הסבירו באילו תנאים, אם לא – נמקו מדוע.

שאלה 10 (3 נקודות)

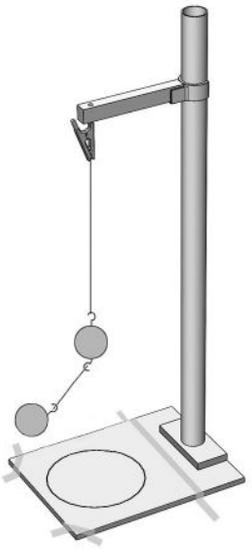
הסיטו את הכדור התחתון (כמתואר בתרשים 8), כך שהכדור העליון נותר מעל למרכז המעגל, והרפו מהכדור התחתון.

צָפוּ בתנועה המתקבלת בשני פרקי הזמן הבאים:

ב־15 השניות הראשונות של התנועה – התקבלה תנועה לא מחזורית חסרת סדר, ללא קצב אחיד או מסלול קבוע.

שתי דקות לאחר תחילת התנועה – התקבלה תנועה מחזורית, שבה שני הכדורים התנודדו יחד באותו הקצב.

מה תוכלו להסיק מכך לגבי הקביעה שמטוטלת דו־גופית מתנהגת כמטוטלת מתמטית?



תרשים 8

בהצלחה!

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