הפיקוח על הוראת הפיזיקה

מדינת ישראל

משרד החינוך

המזכירות הפדגוגית

אגף א' למדעים

הפיקוח על הוראת הפיזיקה

הפיקוח על הוראת הפיזיקה

דגם תשובות בגרות בפיזיקה תשפ"ה

מכניקה, חשמל ושאלון חקר

כתיבה ועריכה:

ד"ר יהונתן וייט

ד"ר אריאל אברשקין

ליהי תלם – מרגלית

סייעו בכתיבה:

מוחמד ג'והר, לובה גרינפלד, לילא דפראוי אגבאריה, חנה ינטוב, אורית מרחבקה, תומר משה, איריס פולק, טטיאנה שולדינר.

מסמך זה מציג "פתרון מורה" לבחינות הבגרות בפיזיקה בשנת תשפ"ה: מכניקה (036361), חשמל ומגנטיות (036371) ושאלון חקר (036283), בתוספת דגשים דידקטיים להוראה בכיתה. התשובות לשאלות הינן בהיקף ורמת העמקה התואמים להוראה ודיון בכיתה ומהווים דגם של פתרון מלא על כל השלבים להם נדרשים התלמידים בבחינות הבגרות.

תוכן עניינים

מכניקה

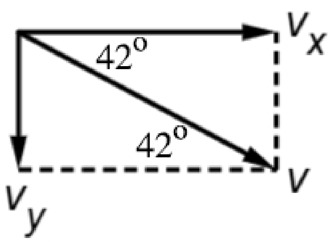
שאלה 1

<u>נתונים:</u> $\alpha = 42° \; ; \; v_x = 74\frac{km}{h} = 20.56\frac{m}{s}$.

<u>סעיף א</u>

בציר האופקי תנועת הכידון היא תנועה שוות מהירות. על הכידון לא פועלים כוחות בציר האופקי ולכן ימשיך לנוע במהירות קבועה ושווה ל-$v_x = 74\ km/h$ עד לפגיעתו בקרקע.
בציר האנכי תנועת הכידון היא תנועה שוות תאוצה. על הכידון פועל כוח הכובד (משקל) בציר האנכי ולכן הוא מאיץ ממנוחה ($v_{0_y} = 0$) בתאוצה g (תאוצת הנפילה החופשית) עד לפגיעתו בקרקע.

<u>סעיף ב</u>



כאמור, בציר האופקי מהירותו של הכידון קבועה $v_x = 74\ km/h$.
בציר האנכי מהירותו של הכידון הולכת וגדלה.
מהירות הכידון היא סכום ווקטורי של שני רכיבי המהירות.
נוכל להיעזר בזווית הפגיעה של הכידון בקרקע על מנת לחשב את גודל מהירותו הכוללת ברגע הפגיעה:

$$\cos 42° = \frac{v_x}{v} \quad \Rightarrow \quad v = \frac{v_x}{\cos 42°} = \frac{74}{\cos 42°} = 99.6\frac{km}{h} = 27.67\frac{m}{s}$$

<u>סעיף ג</u>

<u>דרך א (שיקולי קינמטיקה):</u> נמצא את הרכיב האנכי של המהירות ברגע הפגיעה:

$$\tan 42° = \frac{v_y}{v_x} \quad \Rightarrow \quad v_y = v_x \tan 42° = 74 \tan 42° = 66.6\frac{km}{h} = 18.5\frac{m}{s}$$

<u>דרך א1 (זמן התנועה)</u>: נמצא את זמן התנועה על ידי נוסחת מהירות-זמן בציר האנכי:

$$v_y = v_{0_y} + gt \quad \Rightarrow \quad t = \frac{v_y}{g} = \frac{18.5}{10} = 1.85s$$

כעת נוכל למצוא את שיא הגובה בעזרת נוסחת מקום-זמן בציר האנכי:

$$y = y_0 + v_{0_y} t + \frac{1}{2} g t^2 \quad \Rightarrow \quad H = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 1.85^2 = 17.11m$$

דרך א2 (מקום-מהירות): נמצא את שיא הגובה בעזרת נוסחת מקום-מהירות בציר האנכי:

$$v_y^2 = v_{0_y}^2 + 2gH \quad \Rightarrow \quad H = \frac{v_y^2}{2g} = \frac{18.5^2}{2 \cdot 10} = 17.11m$$

דרך ב (שיקולי אנרגיה): מהירות הכידון בשיא הגובה היא $v_x = 74 \frac{km}{h} = 20.56 \frac{m}{s}$, מהירות הכידון ברגע פגיעתו בקרקע היא $v = 99.6 \frac{km}{h} = 27.67 \frac{m}{s}$ ניעזר בחוק שימור האנרגיה כדי למצוא את שיא הגובה:

$$E_{\text{שיא הגובה}} = E_{\text{פגיעה בקרקע}}$$

$$\frac{1}{2} m v_x^2 + mgH = \frac{1}{2} m v^2$$

$$H = \frac{v^2 - v_x^2}{2g} = \frac{27.67^2 - 20.56^2}{2 \cdot 10} = 17.15\ m$$

הערה: התשובות יצאו שונות במעט בשתי הדרכים, עקב העגלה. מהגיאומטריה של רכיבי המהירויות ניתן להיווכח ש- $v^2 - v_x^2 = v_y^2$ ולכן ברור ששלושת הדרכים שקולות.

סעיף ד

נחשב את המרחק האופקי L שעבר הכידון בהטלה הראשונה:

$$L = v_x t = 20.56 \cdot 1.85 = 38.0\ m$$

נחשב את זמן התנועה של הכידון בהטלה השנייה:

$$y = y_0 + v_{0_y} t + \frac{1}{2} g t^2 \quad \Rightarrow \quad t' = \sqrt{\frac{2(H-1)}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 16.11}{10}} = 1.79s$$

כעת נוכל למצוא את המהירות האופקית החדשה, $v_x{}'$, שמקיימת:

$$v_x' = \frac{L'}{t'} = \frac{L}{t'} = \frac{38.0}{1.79} = 21.23 \frac{m}{s} = 76.4 \frac{km}{h}$$

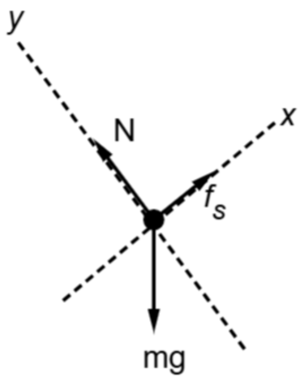
סעיף ה

תשובה: הזווית קטנה יותר.

נימוק: התאוצה בהטלה השנייה זהה לזו שבהטלה הראשונה, ושווה לתאוצת הנפילה החופשית. כיוון שבהטלה השנייה זמן התנועה קצר יותר, הרי שהרכיב האנכי של מהירות הכידון ברגע פגיעתו בקרקע יהיה קטן יותר בהטלה השנייה. הרכיב האופקי לעומת זאת, כפי שראינו בסעיף ד', גדול יותר.

מהגיאומטריה של רכיבי המהירויות, זווית הפגיעה בקרקע מקיימת $\tan\alpha = \frac{v_y}{v_x}$. אם v_y קטן יותר ו-v_x גדול יותר, הרי ש-$\tan\alpha$ קטן יותר. ולכן הזווית α קטנה יותר.

שאלה 2



<u>סעיף א</u>

N – נורמאל; מופעל ע"י המישור המשופע / המשטח.

f_s – חיכוך (סטטי); מופעל ע"י המישור המשופע / המשטח.

mg – משקל הגוף; מופעל ע"י כדור הארץ.

<u>דגש דידקטי:</u> בניתוח תשובות התלמידים בבחינת הבגרות עלה שתלמידים רבים לא משרטטים מערכת צירים בתרשים הכוחות. אנו ממליצים למורים להדגיש נקודה זו ולהדגיש את החשיבות בהגדרה ברורה של מערכת צירים לצורך כתיבת משוואות כוחות: הביטויים "ΣF_x" ו-"ΣF_y" (שיופיעו בהמשך) מאבדים ממשמעותם ללא מערכת צירים מוגדרת. במיוחד בשאלות שבהן ניתן לבחור יותר ממערכת צירים אחת (למשל: מערכת שמקבילה ומאונכת לרצפה, או מערכת שמקבילה ומאונכת למישור משופע).

<u>סעיף ב</u>

<u>תשובה:</u> כוח החיכוך יקטן.

נימוק: נתון שבזווית α_0 הגוף נמצא במנוחה (מתמשכת). לכן, לפי החוק הראשון של ניוטון, $\Sigma\vec{F} = 0$ ובפרט $\Sigma F_x = 0$, לכן:

$$f_s = mg \sin \alpha_0$$

כאשר מקטינים את הזווית, $\sin \alpha_1 < \sin \alpha_0$, ולכן הגוף עדיין יישאר במנוחה, וכוח החיכוך יהיה קטן יותר.

<u>דגש דידקטי:</u> טעות נפוצה הייתה הישענות על הקשר הכללי $f = \mu N$ ועל סכום הכוחות בציר y (בפרט: המסקנה ש- $N = mg \cos \alpha$) בכדי לטעון שככל שהזווית קטנה, החיכוך גדל. אנו ממליצים להדגיש לתלמידים שהקשר $f_{s_{max}} = \mu N$ תקף רק עבור החיכוך המקסימלי <u>האפשרי</u>. החיכוך <u>בפועל</u> הוא "כוח מסתגל" שמתאים את עצמו למצב (בהתחשב במגבלות הערכים שהוא יכול לקבל). דוגמה טובה לכך היא מקרה קצה בו $\alpha = 0$.

סעיף ג

(1) בסוף התנועה, גודלו של החיכוך הסטטי הוא המקסימלי האפשרי, $f_{s_{max}} = \mu N$. הגוף עדיין במנוחה, לכן לפי החוק הראשון של ניוטון:

$$(1)\ \ \Sigma F_x = 0 \quad \Rightarrow \quad f_{s_{max}} - mg\sin\alpha_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad f_{s_{max}} = mg\sin\alpha_2$$

$$(2)\ \ \Sigma F_y = 0 \quad \Rightarrow \quad N - mg\cos\alpha_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad N = mg\cos\alpha_2$$

(2) נציב $f_{s_{max}} = \mu N$, נחלק בין המשוואות, ונקבל:

$$\frac{\mu N}{N} = \frac{\sin\alpha_2}{\cos\alpha_2} \quad \Rightarrow \quad \mu = \tan\alpha_2 \quad \Rightarrow \quad \alpha_2 = \tan^{-1}\mu$$

סעיף ד

<u>נתונים:</u> $\mu_k = 0.24$; $\alpha_3 = 22°$, $h = 0.3m$.

<u>דרך א (שיקולי כוחות)</u>: כעת הגוף מחליק במורד המישור המשופע, נמצא את תאוצתו בעזרת החוק השני של ניוטון (בציר האנכי עדיין יש התמדה, הגוף לא מתנתק מהמישור המשופע):

$$\Sigma F_y = 0 \quad \Rightarrow \quad N = mg\cos\alpha_3$$

$$\Sigma F_x = ma \quad \Rightarrow \quad mg\sin\alpha_3 - f_k = ma$$

$$mg\sin\alpha_3 - \mu_k N = ma$$

$$mg\sin\alpha_3 - \mu_k mg\cos\alpha_3 = ma$$

$$a = g(\sin\alpha_3 - \mu_k\cos\alpha_3) = 10\cdot(\sin 22° - 0.24\cdot\cos 22°) = 1.52\frac{m}{s^2}$$

נמצא כעת את המיקום ההתחלתי לאורך ציר x (שסומן בתרשים הכוחות):

$$\sin\alpha_3 = \frac{h}{x} \quad \Rightarrow \quad x = \frac{h}{\sin\alpha_3} = \frac{0.3}{\sin 22°} = 0.8m$$

נמצא את מהירות הגוף בהגיעו למורד המישור המשופע:

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \quad \Rightarrow v = \sqrt{2a\Delta x} = \sqrt{2\cdot 1.52\cdot 0.8} = 1.56\frac{m}{s}$$

<u>דרך ב (שיקולי אנרגיה)</u>, בתחילת התנועה הייתה לגוף אנרגיה פוטנציאלית בשיעור mgh. בתחתית המישור המשופע הייתה לגוף אנרגיה קינטית בשיעור של $\frac{1}{2}mv^2$. במהלך התנועה, החיכוך ביצע עבודה של כוח קבוע (הניתן לחישוב לפי $W = F\cdot\Delta x\cdot\cos\theta$):

$$W_{\text{לא משמרים}} = \Delta E$$

$$W_f = \frac{1}{2}mv^2 - mgh$$

$$f_k \cdot \Delta x \cdot \cos 180° = \frac{1}{2}mv^2 - mgh$$

$$\mu mg \cos\alpha_3 \cdot \frac{h}{\sin\alpha_3} \cdot (-1) = \frac{1}{2}mv^2 - mgh$$

$$v = \sqrt{2gh\left(1 - \frac{\mu}{\tan\alpha_3}\right)}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0.3 \cdot \left(1 - \frac{0.24}{\tan 22°}\right)} = 1.56\frac{m}{s}$$

<u>סעיף ה</u>

<u>תשובה:</u> תרשים 3.

<u>נימוק:</u> כאשר הגוף נע במעלה המישור המשופע, כיוון החיכוך הוא במורד המישור המשופע, לכן:

$$\Sigma F_x = ma_u \quad \Rightarrow \quad f_k + mg\sin\alpha = ma_u \quad \Rightarrow \quad a_u = g\sin\alpha + \frac{f_k}{m}$$

בירידה לעומת זאת, כיוון החיכוך הוא במעלה המישור המשופע, לכן:

$$\Sigma F_x = ma_d \quad \Rightarrow \quad -f_k + mg\sin\alpha = ma_d \quad \Rightarrow \quad a_d = g\sin\alpha - \frac{f_k}{m}$$

מכאן שגודל התאוצה בעלייה גדול מגודל התאוצה בירידה. תרשים 3 מתאר זאת בצורה הטובה ביותר.

<u>הערה:</u> בבחינה עצמה המשיבים לא נדרשו לספק נימוק לבחירתם, ולכן הנימוק אינו חלק מתשובה מלאה וניתן לקבל ניקוד מלא לסעיף זה גם ללא נימוק. עם זאת, אנו סבורים שלצורך דיון והוראה בכיתה, יש לדרוש מהתלמידים נימוק. לצורך העמקת ההבנה על אודות הקשר בין כיוון התנועה לכיוון התאוצה, כפי שמתואר בהמשך.

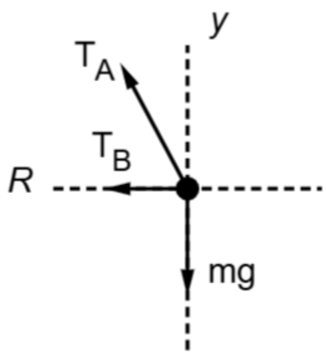
<u>דגש דידקטי:</u> תלמידים רבים בחרו במסיח "תרשים 2", על פיו אין הבדל בין התאוצה בעלייה ובירידה. (ייתכן שמדובר בהכללת יתר של העקרון לפיו כיוון התאוצה אינו תלוי בכיוון המהירות, או העקרון שלא ניתן להסיק על כיוון המהירות על ידי כיוון התאוצה). לדעתנו חשוב להדגיש לתלמידים שהתאוצה תלויה בכיווני וגדלי <u>הכוחות</u>, ובמקרה זה כיוון החיכוך כן תלוי בכיוון המהירות. על כן כיוון התנועה אכן משפיע על כיוון התאוצה במקרה זה, בכך שהוא משנה את כיוון הכוחות, ובכך משנה את גודל הכוח השקול.

ניתן להמחיש נקודה זו בתרחיש בו לגוף הוענקה מהירות התחלתית במעלה המישור המשופע במקרה בו הזווית היא α_1 ולא α_3: ניתן להבין גם ללא ניתוח מעמיק שבעלייה הגוף יאט עד לעצירה, ואז יישאר במנוחה מתמשכת, על פי הפתרון של הסעיפים הקודמים. כיצד אם כן התאוצה בעלייה שווה לתאוצה ב-"ירידה"?

שאלה 3

<u>נתונים:</u> $m = 0.2kg$; $T_B = 3N$; $\alpha = 37°$; $d = 30cm = 0.3m$.

<u>סעיף א</u>



T_A ,T_B – מתיחויות החוטים. מופעלים ע"י החוטים A ו-B.

mg – משקל הכדור. מופעל ע"י כדור הארץ.

<u>הערה:</u> בשאלה לא נדרש לציין מי מפעיל כל כוח.

<u>סעיף ב</u>

בציר האנכי (ציר y) הכדור מתמיד במצבו, לכן לפי החוק הראשון של ניוטון $\Sigma F_y = 0$:

$$T_A \cos 37° - mg = 0 \quad \Rightarrow \quad T_A = \frac{mg}{\cos 37°} = \frac{0.2 \cdot 10}{\cos 37°} = 2.5N$$

<u>סעיף ג</u>

בציר הרדיאלי, עקב התנועה מעגלית של הגוף, מתקיים: $\Sigma F_R = ma_R$:

$$T_B + T_A \sin 37° = ma_R$$

תאוצת הגוף תלויה בתדירות f וברדיוס r, לפי הקשר:

$$a_R = \omega^2 r = (2\pi f)^2 r = 4\pi^2 f^2 r$$

את רדיוס הסיבוב ניתן למצוא מהגיאומטריה של הבעיה: $r = d \tan 37° \quad \Rightarrow \quad \tan 37° = \frac{r}{d}$.

נציב למשוואת הכוחות ונקבל:

$$T_B + T_A \sin 37° = 4\pi^2 m f^2 d \tan 37°$$

$$f = \sqrt{\frac{T_B + T_A \sin 37°}{4\pi^2 m d \tan 37°}} = \sqrt{\frac{3 + 2.5 \sin 37°}{4\pi^2 \cdot 0.2 \cdot 0.3 \cdot \tan 37°}} = 1.59\ Hz$$

סעיף ד

תשובה: המתיחות T_A לא מבצעת עבודה.

נימוק: לאורך כל התנועה, המתיחות T_A מאונכת למהירות הכדור. כוח שמאונך לתנועה אינו מבצע עבודה.

סעיף ה

תשובה: יש להקטין את התדירות.

נימוק: המתיחות T_A בתרחיש החדש חייבת להישאר זהה למתיחות T_A בתרחיש הקודם, היות שהרכיב האנכי של המתיחות שווה למשקל הכדור. על פי הקשר שפיתחנו בסעיף ג':

$$f=\sqrt{\frac{T_B+T_A\sin 37°}{4\pi^2 md\tan 37°}}$$

מלבד T_B שקטן יותר, כל הנתונים האחרים נותרו ללא שינוי. על מנת שהשוויון יתקיים, התדירות f חייבת להיות קטנה יותר, ואף ניתן לחשבה:

$$f=\sqrt{\frac{0+2.5\sin 37°}{4\pi^2\cdot 0.2\cdot 0.3\cdot\tan 37°}}=0.92\ Hz$$

סעיף ו

תשובה: גודל המתיחות T_A לא השתנה.

נימוק: כפי שצוין בסעיף ה', הרכיב האנכי של המתיחות נשאר זהה, כי הוא שווה למשקל הכדור. במקרה הנוכחי, גם הרכיב האופקי של המתיחות נשאר זהה, היות שהזווית בין החוט לבין המוט חייבת להישאר $37°$ (שני החוטים מתוחים, ואינם אלסטיים). מכאן ששינוי התדירות יוביל לשינוי במתיחות T_B ולא במתיחות T_A, שאינה יכולה להשתנות עקב האילוצים שהוזכרו.

דגש דידקטי: סעיף חשיבה זה מזמין דיון מעמיק בתפקיד של מתיחות במשוואת הכוחות ובאילוצים השונים הנובעים מכוחות אחרים ומהגיאומטריה של הבעיה. אנו ממליצים למורים לדון בצורה מעמיקה עם תלמידיהם במטרה לחזק את ההבנה על אודות כוח מתיחות ותפקידיו השונים במערכות דינמיות.

שאלה 4

<u>נתונים:</u> $m_A = 0.1\ kg$; $m_B = 0.2\ kg$; $v_{AB} = 0.6\frac{m}{s}$.

<u>סעיף א</u>

מערכת סגורה היא מערכת בה סך כל הכוחות החיצוניים הוא אפס. על הגופים המרכיבים את המערכת פועלים, אם בכלל, רק כוחות פנימיים (כוחות שמפעילים חלקי המערכת זה על זה).
על המערכת "גוף A, גוף B והקפיץ" לא פועל חיכוך (המסילה חלקה) ומכאן שאין כוחות חיצוניים בציר האופקי. בציר האנכי פועל המשקל $(m_A + m_B)g$ ופועל כוח נורמאל מהמסילה N. היות שהמערכת מתמידה במצבה בציר האנכי, $\Sigma F = 0$ ולכן אין כוח חיצוני שקול גם בציר האנכי.
מכאן שהמערכת "גוף A, גוף B והקפיץ" היא מערכת סגורה.

<u>דגש דידקטי:</u> בניתוח תשובות התלמידים בבחינת הבגרות עלה שתלמידים רבים לא מצליחים להסביר את המושג "מערכת סגורה" ומייחסים לו תכונות שאינן רלוונטיות, שהנפוצות שבהן הן: (1) מערכת בה פועלים רק כוחות משמרים [בלבול בין התנאי לשימור תנע והתנאי לשימור אנרגיה]; (2) מערכת בה הגופים "מחוברים" זה לזה ונעים יחד.
אנו ממליצים למורים להדגיש בפני תלמידיהם את ההגדרה של מערכת סגורה, ולהראות שתנע <u>חייב</u> להישמר במערכת סגורה (כי <u>בכל</u> מערכת, גם לא סגורה, $\Sigma F_{\text{פנימיים}} = 0$ הודות לחוק השלישי של ניוטון). בנוסף אנו ממליצים להרבות בדוגמאות של מערכות בהן תנע ואנרגיה נשמרים ולא נשמרים, באופן בלתי תלוי זה מזה, במטרה לחזק את ההבנה שאלו חוקי שימור שונים עם תנאי קיום שונים (ובפרט: מערכות בהן תנע נשמר ואנרגיה לא נשמרת, מערכות בהן אנרגיה נשמרת ותנע לא נשמר, מערכות בהן תנע ואנרגיה נשמרים, מערכות בהן תנע ואנרגיה לא נשמרים).

<u>סעיף ב</u>

במערכת סגורה, התנע נשמר. ניעזר בחוק שימור התנע:

$$(m_A + m_B)v_{AB} = m_A u_A + m_B u_B$$

לאחר שחרור הקפיץ, גוף A נעצר, כלומר $u_A = 0$. לכן:

$$u_B = \frac{m_A + m_B}{m_B} v_{AB} = \frac{0.2 + 0.1}{0.2} \cdot 0.6 = 0.9\frac{m}{s}$$

כיוון המהירות הוא ימינה.

סעיף ג

ניעזר במשפט עבודה-אנרגיה:

$$W_{\Sigma F} = \Delta E_k = \frac{1}{2}m_A u_A^2 - \frac{1}{2}m_A v_A^2 = \frac{1}{2}m_A(u_A^2 - v_A^2)$$

$$W_{\Sigma F} = \frac{1}{2}\cdot 0.1 \cdot (0^2 - 0.6^2) = -0.018\,J$$

העבודה שלילית משום שגוף A איבד אנרגיה קינטית (האט עד לעצירה).

סעיף ד

בהתנגשות אלאסטית חד-ממדית מתקיים: $v_B - v_C = -(u_B - u_C)$.

נתון ש- $u_B = -\frac{1}{2}v_B$ והן $v_C = 0$. נמצא את u_C:

$$v_B = -\left(-\frac{1}{2}v_B - u_C\right)$$

$$v_B = \frac{1}{2}v_B + u_C$$

$$u_C = \frac{1}{2}v_B = \frac{1}{2}\cdot 0.9 = 0.45\frac{m}{s}$$

סעיף ה

בהתנגשות של גוף B בגוף C, התנע נשמר:

$$m_B v_B + m_C v_C = m_B u_B + m_C u_C$$

$$m_B v_B + 0 = m_B\left(-\frac{1}{2}v_B\right) + m_C\left(\frac{1}{2}v_B\right)$$

$$m_B = -\frac{1}{2}m_B + \frac{1}{2}m_C$$

$$\frac{3}{2}m_B = \frac{1}{2}m_C$$

$$m_C = 3m_B = 3\cdot 0.2 = 0.6\,kg$$

שאלה 5

סעיף א

תשובה: לא כל תנועה מחזורית היא תנועה הרמונית פשוטה.

להלן מספר דוגמאות לתנועות מחזוריות שאינן תנועות הרמוניות פשוטות:

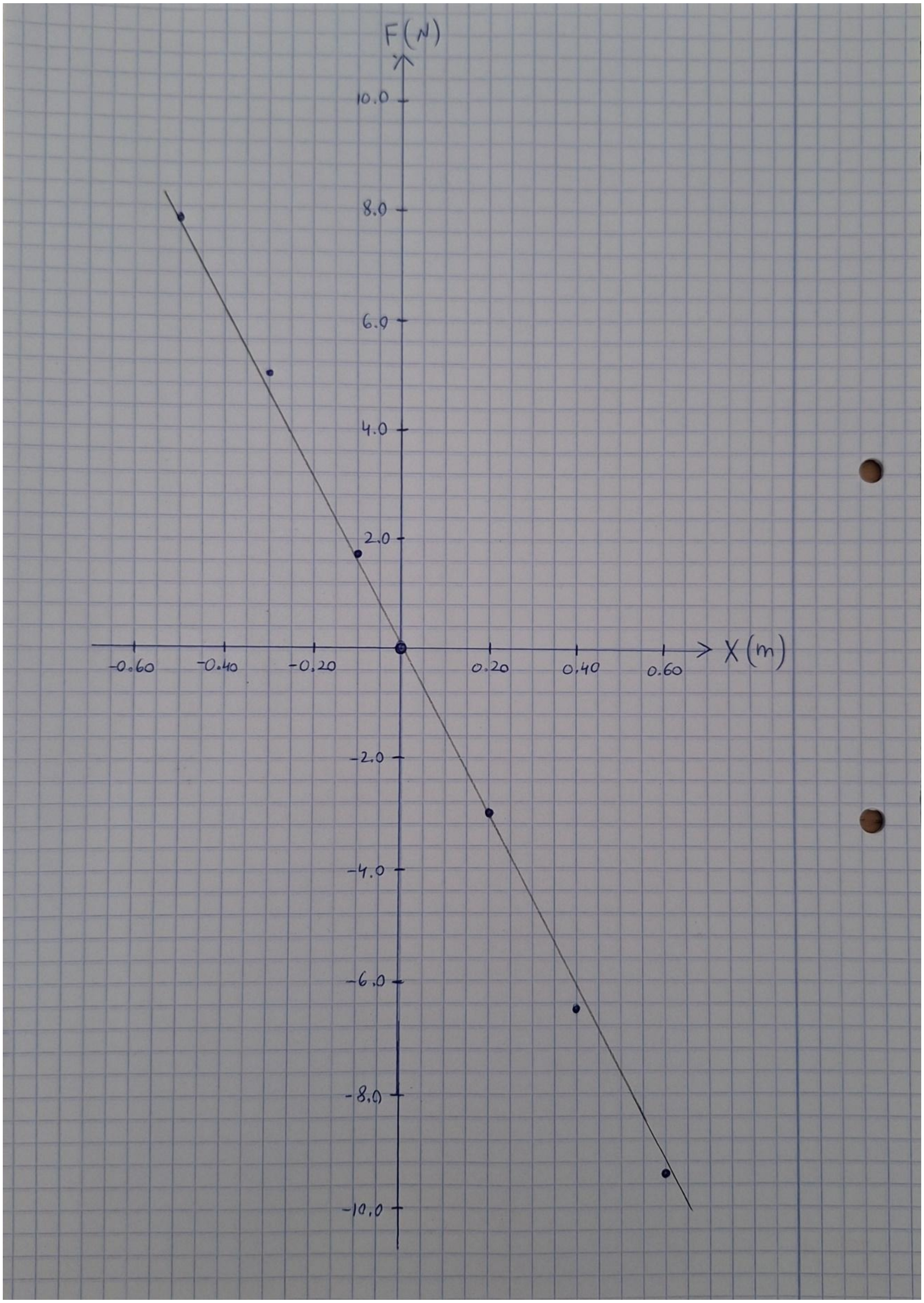
- תנועת גרמי השמיים סביב השמש.
- תנועת מחוגי השעון.
- תנועת הכדור בשאלה 3 במבחן זה.
- כדור מתגלגל בין שני קירות אנכיים (ללא איבוד אנרגיה).
- כדור "מקפץ" על הרצפה (ללא איבוד אנרגיה).

סעיף ב

נתונים: $A = 60cm = 0.6\ m\ ;\ m = 0.5\ kg$.

דיאגרמת הפיזור וקו המגמה מופיעים בתמונה בעמוד הבא.

דגש דידקטי: בניתוח תשובות התלמידים בבחינת הבגרות עלה שמספר גדול של תלמידים איבדו ניקוד רב על שרטוט הגרף עקב אי-הקפדה על הכללים וההנחיות בשרטוט גרפים, שפורסמו בחוזר מפמ"ר תשפ"ה/2 - בחינות בנספח 3. אנו ממליצים למורים לשים דגש רב על הכללים וההנחיות בשרטוט גרפים, תוך שימת דגש על החשיבות שבמיומנות שרטוט גרף. שרטוט גרף אינו רק עניין טכני אלא מיומנות מדעית חשובה ביותר. בכדי שלגרף יהיה ערך מדעי ולא רק "ייראה טוב" מבחינה ויזואלית, חשוב ביותר להקפיד על ההנחיות ולהפעיל שיקול דעת בתכנון ובשרטוט הגרף. בנספח א מוזכרים ההנחיות לשרטוט גרפים שפורסמו בחוזר, תוך הסבר על החשיבות שבכל הנחייה. בנוסף מוצגים דגשים דידקטיים, והן דוגמאות שכיחות לגרפים שאין בהם הקפדה על ההנחיות עם הסבר מפורט על הבעייתיות שבהם.


F(N)
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
-2.0
-4.0
-6.0
-8.0
-10.0
-0.60
-0.40
-0.20
0.20
0.40
0.60
X (m)

סעיף ג

נמצא את קבוע הכוח באמצעות שיפוע הגרף. המשמעות הפיזיקלית של שיפוע הגרף היא $A=-c$ שכן הגרף הוא מהצורה $\Sigma F=-cx$. נבחר שתי נקודות: $(-0.15\,,2.4)$ ו-$(0.45\,,-8.4)$:

$$A=\frac{-8.4-2.4}{0.45-(-0.15)}=-\frac{10.8}{0.6}=-18\frac{N}{m}$$

הערה: בהתאם לגרף ששרטטו העונים עשויות להתקבל תוצאות שונות מעט בחישוב השיפוע. כל תשובה בתחום $-18\frac{N}{m}\leq A\leq-14\frac{N}{m}$ תתקבל כנכונה, ובהתאם לכך כל החישובים בסעיף זה ובסעיפים הבאים העושים שימוש בתוצאה זו.

מכאן ש- $c=-A=18\frac{N}{m}$. המהירות הזוויתית ω המאפיינת את תנועת הגוף היא:

$$\omega=\sqrt{\frac{c}{m}}$$

$$\omega=\sqrt{\frac{18}{0.5}}=6\frac{rad}{s}$$

הערה: ניתן לכתוב מהירות זוויתית גם ביחידות $\frac{1}{s}$, היות שרדיאן הוא גודל חסר יחידות.

דגש דידקטי: מספר רב של תלמידים בחרו להציב נקודה אחת מתוך קו המגמה בקשר $\Sigma F=-cx$ בכדי למצוא את קבוע הכוח c. מדובר לא רק באי-הבנה של משמעות השיפוע של הגרף אלא גם באי-הבנה של הדרך הכללית למציאת c (למשל: מה אם קו המגמה, מסיבה כלשהי, לא עובר בראשית הצירים?). אנו ממליצים לחדד בפני תלמידים את ההבנה של הצורך בגרפים בפיזיקה. להרחבה ראו נספח א.

סעיף ד

תשובה: המהירות היא מירבית כאשר הגוף נמצא בנקודת שיווי המשקל, $x=0$.

נימוק א (שיקולי אנרגיה): לכל אורך התנועה, האנרגיה המכנית נשמרת. בכל נקודה לאורך המסלול יש לגוף אנרגיה קינטית $\frac{1}{2}mv^2$ ואנרגיה פוטנציאלית אלסטית $\frac{1}{2}cx^2$. המהירות תהייה

מירבית כאשר האנרגיה הפוטנציאלית האלסטית תהייה מינימלית, כלומר כאשר x^2 מינימלי.
כלומר בנקודת שיווי המשקל בה $x = 0$.

<u>נימוק ב (שיקולי קינמטיקה)</u>: בתנועה הרמונית פשוטה, המיקום של הגוף כתלות בזמן הוא $x = A\cos(\omega t + \varphi)$, המהירות של הגוף כתלות בזמן היא $v = -\omega A\sin(\omega t + \varphi)$.
הגודל המירבי של המהירות מתקבל ברגעים שבהם $|\sin(\omega t + \varphi)| = 1$. ברגעים אלה, $\cos(\omega t + \varphi) = 0$, ולכן המיקום של הגוף יהיה בדיוק בנקודת שיווי המשקל $x = 0$.

<u>חישוב גודל המהירות:</u> בכל נקודה מתקיים $v = \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2}$, כפי שציינו, המהירות מירבית כאשר $x = 0$, לכן גודל המהירות המירבי הוא:

$$v_{max} = \omega A = 6 \cdot 0.6 = 3.6\frac{m}{s}$$

<u>סעיף ה</u>

<u>תשובה:</u> תדירות התנודות בניסוי השני שווה לזו שבניסוי הראשון.

<u>נימוק:</u> תדירות התנודות מקיימת: $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{c}{m}}$. קבוע הכוח c לא השתנה והמסה m לא השתנתה, לכן התדירות לא תשתנה.
הקניית מהירות התחלתית כפולה מזו שחישבנו בסעיף ד' תגדיל את משרעת התנודות A אך לא את התדירות.

שאלה 6

<u>נתונים:</u> $m = 14\ kg$; $H_{ap} = 2.515 \cdot 10^6 m$(אפהליון) ; $H_{per} = 3.54 \cdot 10^5 m$ (פריהליון) .

<u>סעיף א</u>

<u>תשובה:</u> גודל המהירות בנקודה A קטן מגודל המהירות בנקודה B.

<u>נימוק א (חוקי קפלר):</u> לפי החוק השני של קפלר, הקו המחבר את הלוויין לכדור הארץ יכסה שטחים שווים בפרק זמן שווים. אם נתייחס לפרקי זמן קצרים מאוד (בהשוואה לזמן המחזור), השטח שיכסה הקו המחבר הוא בקירוב שטח משולש (התנועה בפרקי זמן קצרים מאוד היא לאורך קו ישר בקירוב) היות שהנקודה A רחוקה יותר מכדור הארץ מאשר נקודה B, ושטחי המשולשים שווים, הרי ש"בסיס" המשולש בסביבת נקודה A קטן יותר מאשר בסביבת נקודה B. כלומר: המרחק לאורך המסלול שהלוויין עובר בסביבת נקודה A קטן יותר מזה שיעבור בנקודה B, קרי, גודל מהירותו בנקודה A קטן יותר.

<u>נימוק ב (שיקולי אנרגיה):</u> הלוויין נע בהשפעת כוח הכבידה בלבד, שהוא כוח משמר. לכן האנרגיה המכנית בנקודות A ו-B שווה, $E_A = E_B$. ביטוי לאנרגיה הפוטנציאלית של הלוויין בכל נקודה הוא $U_G = -G\frac{Mm}{r}$. מכיוון שהאנרגיה שלילית, ככל ש-r גדל, האנרגיה הפוטנציאלית גדלה [ערך שלילי קטן יותר בערכו המוחלט]. מכאן שבנקודה A ללוויין יש יותר אנרגיה פוטנציאלית מאשר בנקודה B, כתוצאה מכך, יש ללוויין בנקודה A פחות אנרגיה קינטית מאשר בנקודה B. ולכן גדול מהירותו בנקודה A קטן יותר.

<u>דגש דידקטי:</u> בניתוח תשובות התלמידים בבחינת הבגרות עלה שתלמידים רבים מנמקים את קביעתם הנכונה באמצעות הקשר $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ שפותח על פי חוקי ניוטון בקירוב לתנועה מעגלית $\frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r^2}$ <u>מבלי לתת את הדעת</u> על כך שהתנועה אינה מעגלית אלא אליפטית, וקשר זה אינו תקף. לכן, נימוקים מסוג זה לקביעה הנכונה מהווים נימוקים <u>שגויים</u>. אנו ממליצים למורים לחדד לתלמידיהם את התוקף של הקשרים המפותחים בכיתה, במיוחד בנושא הכבידה שלעיתים עשוי להיתפס כחזרתי מבעיה לבעיה. בפרט, יש להדגיש לתלמידים שכל מסקנה המתקבלת מהתנאי $\Sigma F = ma_r$ תקפה אך ורק לתנועה מעגלית (או בקירוב מעגלית). כל מקרה אחר יש לבחון בספקנות ובזהירות. במקרה הנוכחי, הכוח <u>אינו</u> מהונך למהירות היות שהתנועה אליפטית.

סעיף ב

תשובה: כן. מתבצעת עבודה חיובית.

נימוק א (עבודה-אנרגיה): לפי משפט עבודה-אנרגיה, $W_{\Sigma F} = \Delta E_k$, הכוח היחיד שפעל על הלוויין הוא כוח המשיכה של כדור הארץ. המהירות של הלוויין גדלה במהלך התנועה מ-A ל-B כי גודל מהירותו גדל, לכן $\Delta E_k > 0$, מכאן שכוח המשיכה של כדור הארץ ביצע עבודה חיובית $W > 0$.

נימוק ב (הגדרת עבודה): אם נפרק את המסלול למקטעים קצרים שלאורכם כוח הכבידה בקירוב קבוע, העבודה שמבצע כוח הכבידה בכל מקטע נתונה לפי $W = F_G \cdot \Delta x \cdot \cos\alpha$, כאשר α הזווית בין כיוון הכוח לכיוון התנועה. היות שהמסלול אליפטי, הזווית בין הכוח לכיוון התנועה אינה בהכרח $90°$. מכאן שבין כל שתי נקודות לאורך המסלול מתבצעת עבודה על ידי כוח הכבידה, למעט מקרים מיוחדים של שתי נקודות הסימטריות זו לזו יחסית לציר הראשי של האליפסה (מרחקן מכדור הארץ שווה). הנקודות A ו-B אינן סימטריות זו לזו יחסית לציר הראשי, ולכן מתבצעת עבודה. (הערה: בדרך זו לא ניתן להסיק שהעבודה שהתבצעה חיובית, אך הדבר לא נדרש במסגרת השאלה)

סעיף ג

נתונים: $T = 100\ min$.

דרך א (חוק שלישי של קפלר): ניעזר בנתונים על אודות הירח (גוף 1 – לוויין אקספלורר 1; גוף 2 – הירח): $T_1 = 100\ min$; $r_2 = 3.84 \cdot 10^8 m$; $T_2 = 23.7\ days = 39{,}312\ min$. לפי החוק השלישי של קפלר:

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3 \quad \Rightarrow \quad r_1 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{2}{3}} r_2 = \sqrt[3]{\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2}\, r_2$$

$$r_1 = \left(\frac{100}{39312}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot 3.84 \cdot 10^8 = 7.16 \cdot 10^6 m$$

דרך ב (שיקולי כוחות): הכוח הפועל על הלוויין לפי חוק הכבידה העולמי של ניוטון הוא $F = G\frac{M_E m}{r^2}$, כוח זה מהווה כוח מרכזי (צנטריפטלי) בתנועה המעגלית, $\Sigma F = ma_R$. בתנועה מעגלית התאוצה היא $a_R = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ ומכאן ש:

$$G\frac{M_E m}{r^2} = \frac{4\pi^2 m r}{T^2}$$

$$GM_E T^2 = 4\pi^2 r^3$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{GM_E T^2}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 5.974 \cdot 10^{24} \cdot (100 \cdot 60)^2}{4\pi^2}} = 7.14 \cdot 10^6 m$$

<u>סעיף ד</u>

האנרגיה המכנית הכוללת של לוויין במסלול מעגלי נתונה לפי $E = -\frac{GMm}{2r}$.

העבודה הדרושה להביא את הלוויין ממסלול אחד לאחר שווה להפרשי האנרגיות בין שני המסלולים:

$$W = \Delta E = E_{r'} - E_r$$

$$W = -\frac{GMm}{2r'} - \left(-\frac{GMm}{2r}\right) = \frac{GMm}{2}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'}\right)$$

נציב את הנתונים:

$$W = \frac{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 5.974 \cdot 10^{24} \cdot 14}{2}\left(\frac{1}{7.14 \cdot 10^6} - \frac{1}{7.14 \cdot 10^6 + 1 \cdot 10^6}\right)$$
$$= 47.99 \cdot 10^6 J \approx 48\ MJ$$

<u>סעיף ה</u>

<u>תשובה:</u> זמן המחזור של לוויין זה ארוך יותר.

<u>נימוק א (חוק שלישי של קפלר)</u>: לפי החוק השלישי של קפלר, $\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3$, אם $r_1 > r_2$ אזי גם $T_1 > T_2$ [גוף 1 – הלוויין במסלול החדש; גוף 2 – הלוויין במסלול הקודם]

<u>נימוק ב (שיקולי כוחות):</u> ראינו בסעיף ג' ש-$GM_E T^2 = 4\pi^2 r^3$. לכן אם הרדיוס גדל, גם זמן המחזור גדל.

חשמל ומגנטיות

דגש פדגוגי: בניתוח של נושאי השאלות שהופיעו בבחינות הבגרות ב-30 השנים האחרונות (כפי שהופיע במיפוי שאלות הבגרות בהתאם למיקודים שפורסמו בשנים האחרונות) שמנו לב שבחלק מבחינות הבגרות האחרונות הופיעו שאלות העוסקות בנושאים מתוך תוכנית הלימודים שלא הופיעו זמן רב לפני כן. למעשה, במקרים מסוימים ישנם נושאים, יישומים או הקשרים מיוחדים, שהופיעו בסעיפים בשאלות בגרות לראשונה. להלן כמה דוגמאות:

- בשנת 2015 הופיעה לראשונה שאלה העוסקת ב-"מילי-אמפר שעה" (חלק מסעיף 3.1)
- בשנת 2018 הופיעה לראשונה שאלה העוסקת בחוקי קירכהוף (חלק מסעיף 3.7)
- בשנת 2022 הופיעה לראשונה שאלה בנושא ציקלוטרון (חלק מסעיף 4.6)

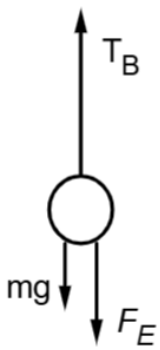
גם בבחינת הבגרות הנוכחית ישנם סעיפים העוסקים בנושאים מתוך תוכנית הלימודים שהופיעו לראשונה ב-30 השנים האחרונות. ובפרט: הגדרת האלקטרון-וולט (חלק מסעיף 2.1); יישומים של השראה אלקטרומגנטית שלא נראו בעבר (חלק מסעיף 5.1; עשוי להזכיר נושאים מתוך סעיף 5.2). כמובן שישנם נושאים או הקשרים מיוחדים שאומנם הופיעו בעבר אך פעמים בודדות בלבד, כמו למשל בבחינה הנוכחית: מכשירי מדידה לא-אידאליים (חלק מסעיף 3.8).

למרות שהופעות בבחינות הבגרות של נושאים שלא הופיעו זמן רב לפני כן היא שכיחה, שמנו לב כי בשיחות בין מורים בקבוצות המחוזיות והארצית ובפורומים השונים, ישנם דיונים רבים העוסקים בשאלת הכדאיות של התמקדות בנושאים שלא עלו זמן רב בבחינות הבגרות. על כן יש לציין את המובן מאליו באופן חד-משמעי: **כל נושא מתוך תוכנית הלימודים יכול להופיע בבחינות הבגרות, ללא קשר למועד הופעתו האחרונה (אם בכלל היה כזה), למעט נושאים שירדו במיקוד לבחינה באותה שנה.** תדירות הופעת הנושאים בבחינות הבגרות, והמועד האחרון בו הופיעו, אינם מהווים שום שיקול (לכאן או לכאן) בכתיבת הבחינה, ולו הקטן ביותר. לכן, דיונים על הופעה אחרונה של נושאים בבחינה והכדאיות בהוראתם בכיתה הם עקרים מתוכן ולא צריכה להיות להם כל השפעה על שיקול הדעת של מורים, מדובר ב"משחקי ניחושים" בלבד.

מבלי לגרוע מזכותם של מורים להפעיל שיקול דעת בהוראתם בכיתה, בהתחשב במצב התלמידים ובאילוצים השונים, אנו ממליצים ללמד את כל תוכנית הלימודים במלואה. מורים הבוחרים שלא ללמד חלק מהנושאים בתוכנית הלימודים, יהיו הסיבות אשר יהיו, עליהם לקחת בחשבון בשיקוליהם שקיים סיכוי שיופיעו בבחינת הבגרות נושאים שלא לימדו את תלמידיהם. הדבר נכון גם לבגרות במכניקה אך בולט במיוחד בבגרות בחשמל ומגנטיות.

כתמיד, בכל שאלה או בקשת עזרה בכל הנוגע לתוכנית הלימודים וסעיפיה, ניתן לפנות למדריכים המחוזיים. פרטי התקשורת עימם מפורסמים בחוזר מפמ"ר תשפ"ו/1.

שאלה 1



סעיף א

(1) תרשים הכוחות:

T_B – מתיחות החוט. מופעל ע"י החוט אליו קשור כדור B.

mg – משקל הכדור. מופעל ע"י כדור הארץ.

F_E – כוח חשמלי. מופעל ע"י כדור A.

(2) מכיוון שהכדור מתמיד במצבו (מנוחה), לפי החוק הראשון של ניוטון: $\Sigma F = 0$:

$$T_B - mg - F_E = 0$$

$$T_B = mg + F_E$$

ביטוי לגודל הכוח החשמלי לפי חוק קולון הוא $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$, כיוון שגדלי המטענים זהים:

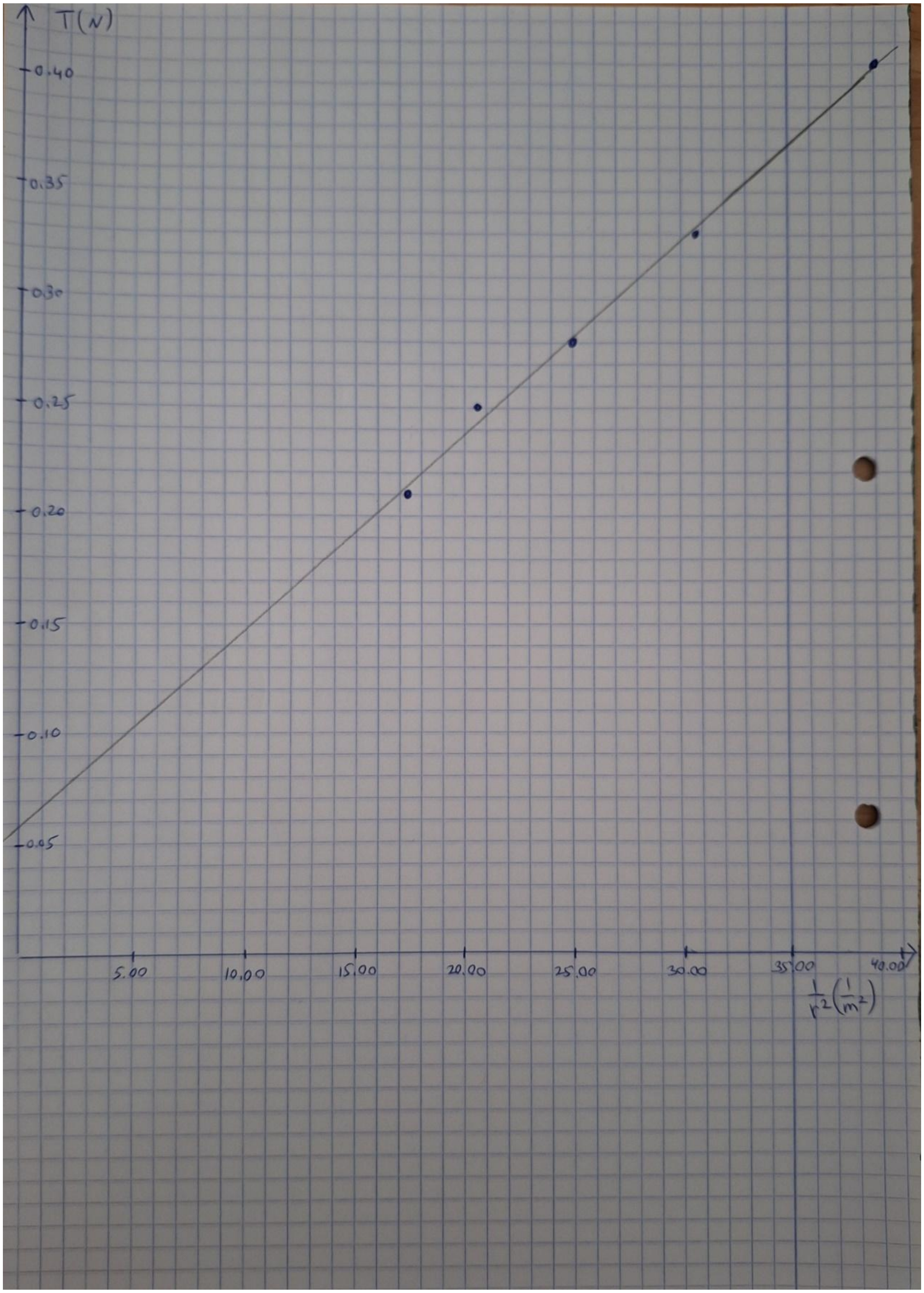
$$T_B = mg + kq^2 \cdot \frac{1}{r^2}$$

סעיף ב

על פי הקשר מסעיף א', המשתנה החדש המקיים קשר לינארי עם המתיחות T_B הוא $\frac{1}{r^2}$, יחידותיו הן $\frac{1}{m^2}$. נחשב את ערכיו ונציב בטבלה:

$r\ (m)$	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24
$T_B\ (N)$	0.41	0.33	0.28	0.25	0.21
$\frac{1}{r^2}\left(\frac{1}{m^2}\right)$	39.06	30.86	25.00	20.66	17.36

סעיף ג


T(N)
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
5.00
10.00
15.00
20.00
25.00
30.00
35.00
40.00
$\frac{1}{r^2}\left(\frac{1}{m^2}\right)$

סעיף ד

על פי הקשר שפיתחנו בסעיף א', המשמעות הפיזיקלית של שיפוע הגרף היא kq^2. נמצא את שיפוע הגרף בעזרת שתי נקודות מקו המגמה: $(27.00\,,0.30)$ ו- $(8.00\,,0.13)$:

$$A=\frac{0.30-0.13}{27.00-8.00}=\frac{0.17}{19}=8.95\cdot10^{-3}\;Nm^2$$

הערה: בהתאם לגרף ששרטטו העונים עשויות להתקבל תוצאות שונות מעט בחישוב השיפוע. כל תשובה בתחום $8.30\cdot10^{-3}Nm^2\le A\le10.1\cdot10^{-3}Nm^2$ תתקבל כנכונה, ובהתאם לכך כל החישובים בסעיף זה ובסעיפים הבאים העושים שימוש בתוצאה זו.

כעת נוכל למצוא את מטען הכדורים:

$$q=\sqrt{\frac{A}{k}}=\sqrt{\frac{8.95\cdot10^{-3}}{9\cdot10^{9}}}=9.97\cdot10^{-7}C\approx1\mu C$$

את מסת הכדורים נמצא לפי נקודת החיתוך עם הציר האנכי, שמשמעותה הפיזיקלית היא mg לפי הקשר מסעיף א'. נמצא את נקודת החיתוך עם הציר האנכי:

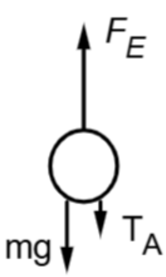
$$y=mx+b\quad\Rightarrow\quad b=y-mx=0.30-\frac{0.17}{19}\cdot27.00=0.058N$$

ולכן:

$$m=\frac{0.058}{g}=0.0058\;kg=5.8\;gram$$

הערה: ניתן להעריך את נקודת החיתוך עם הציר האנכי באמצעות קריאת ערך נקודת החיתוך של קו המגמה.

סעיף ה



תשובה: החוט הקשור לכדור B נקרע ראשון.

נימוק: על פי תרשים הכוחות על כדור A מתקיים:

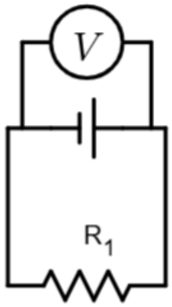
$$T_A=F_E-mg$$

לפי סעיף א':

$$T_B=F_E+mg$$

מכיוון שמשקלי הכדורים זהים, וגדלי הכוחות החשמליים שהם מפעילים זה על זה זהים (לפי הביטוי לכוח החשמלי ולפי החוק השלישי של ניוטון), הרי שבכל רגע נתון, מתיחות החוט B גדולה ממתיחות החוט A. כאשר מקרבים באיטיות בין הכדורים, גדל בהדרגה הכוח החשמלי ביניהם, ולכן המתיחויות גדלות בהדרגה. חוט B יגיע לסף הקריעה ראשון ולכן ייקרע ראשון.

שאלה 2



<u>נתונים:</u> $\varepsilon = 20V$; $r = 2\Omega$.

<u>סעיף א</u>

(1) תרשים המעגל:

(2) מתח ההדקים מקיים $V = \varepsilon - Ir$.

לפי חוק אוהם, $V = IR_1$ ומכאן ש- $I = \frac{V}{R_1}$, נציב ונפתור עבור R_1:

$$V = \varepsilon - \frac{r}{R_1}V$$

$$R_1 V = R_1 \varepsilon - rV$$

$$R_1 = \frac{rV}{\varepsilon - V}$$

$$R_1 = \frac{2 \cdot 16}{20 - 16} = 8\Omega$$

<u>סעיף ב</u>

<u>תשובה:</u> V_1 קטן מ-$\frac{V_2}{2}$.

<u>נימוק:</u> כאשר המגע הנייד P ממוקם באמצע הנגד המשתנה, $R_{MP} = R_{PN}$, היות שהנגד R_1 מחובר במקביל לנגד R_{MP}, ההתנגדות השקולה שלהן קטנה יותר. לכן, $R_{1,MP} < R_{PN}$, ומכאן שהמתח על כל נגד (או מערכת נגדים) מקיים $V_{1,MP} < V_{PN}$. סכום המתחים על מערכת הנגדים חייב להיות שווה ל-V_2, לכן: $V_{1,MP} + V_{PN} = V_2$. מכאן ש- $V_{1,MP} < \frac{V_2}{2}$ בעוד $V_{PN} > \frac{V_2}{2}$.

<u>סעיף ג</u>

המתח על הנגד R_1 הוא V_1 ומכאן שהזרם הזורם דרך הנגד R_1 הוא: $I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{12}{8} = 1.5A$.

מתח ההדקים מקיים $V_2 = \varepsilon - I_0 r$ לכן הזרם הכללי במעגל הוא: $I_0 = \frac{\varepsilon - V_2}{r} = \frac{20-15}{2} = 2.5A$.

מכאן שהזרם הזורם בקטע MP בנגד המשתנה הוא $I_0 - I_1 = 1A$. על נגד זה נופל מתח של V_1 ולכן התנגדות הקטע MP היא: 12Ω $R_{MP} = \frac{V_1}{I_0 - I_1} = \frac{12}{1} =$

סעיף ד

הזרם הזורם דרך הקטע PN בנגד המשתנה הוא I_0, ומפל המתח על קטע זה הוא $V_2 - V_1$, לכן:

$$R_{PN} = \frac{V_2 - V_1}{I_0} = \frac{15 - 12}{2.5} = 1.2\Omega$$

לכן, ההתנגדות של הנגד המשתנה MN היא: $R_{MN} = R_{MP} + R_{PN} = 12 + 1.2 = 13.2\Omega$

סעיף ה

(1) כאשר המפסק S פתוח:

תשובה: ערך V_1 גדל ; ערך V_2 לא משתנה.

נימוק: מפסק פתוח מהווה נתק. הנגד MN מחובר בטור למקור המתח בשלמותו, ללא תלות במיקום הגררה הניידת P. לכן ערך V_2 לא ישתנה, כי ההתנגדות במעגל לא משתנה, ולכן מתח ההדקים, שנמדד ע"י V_2, לא משתנה.
הוולטמטר V_1 מורה על מפל המתח על הקטע MP בנגד המשתנה. לפי חוק אוהם $V_1 = I_0 R_{MP}$.
הזרם הכללי במעגל לא משתנה כתוצאה מהזזת הגררה הניידת לעבר הנקודה N, אך התנגדות הקטע MP גדלה, לכן ערך V_1 גדל.

(2) כאשר המפסק S סגור:

תשובה: ערך V_1 לא משתנה ; ערך V_2 קטן.

נימוק: מפסק סגור מהווה קצר. הקטע MP מקוצר והן הוולטמטר V_1. לכן הוולטמטר V_1 מורה על ערך של 0 ללא תלות במיקום הגררה הניידת P, קרי הוא לא משתנה.
הוולטמטר V_2 מורה על מתח ההדקים במעגל. הזזת הגררה הניידת P לעבר הנקודה N מקטינה את ההתנגדות הכללית במעגל, היות שהקטע MP מקוצר. הקטנת ההתנגדות במעגל מגדילה את הזרם הכללי במעגל, דבר הגורם להקטנת מתח ההדקים לפי $V_2 = \varepsilon - Ir$. לכן ערך V_2 קטן.

שאלה 3

סעיף א

V מייצג את מתח ההדקים ו-I מייצג את הזרם הכללי במעגל. הקשר ביניהם הוא $V = \varepsilon - Ir$. מכאן שניתן למצוא את ההתנגדות הפנימית בעזרת שיפוע הגרף ואת כא"מ הסוללה בעזרת נקודת החיתוך עם הציר האנכי.

נבחר שתי נקודות מקו המגמה בכדי למצוא את משוואת הישר: $(2\,,12)$ ו- $(4\,,6)$. שיפוע הגרף הוא: $A = \frac{6-12}{4-2} = -3\frac{V}{A}$, לכן ההתנגדות הפנימית היא $r = -A = 3\Omega$.

נמצא את נקודת החיתוך עם הציר האנכי:

$$y = mx + b \quad \Rightarrow \quad b = y - mx = 12 + 3 \cdot 2 = 18V$$

ולכן כא"מ הסוללה הוא $\varepsilon = 18V$.

סעיף ב

לפי $V = \varepsilon - Ir$ הביטוי לזרם הכללי במעגל הוא $I = \frac{\varepsilon - V}{r}$.

ההספק המנוצל הוא $P = VI$. נציב את הביטוי לזרם:

$$P = V \cdot \frac{\varepsilon - V}{r}$$

$$P = -\frac{V^2}{r} + \frac{\varepsilon V}{r}$$

סעיף ג

בכדי שהמים יתחממו בזמן הקצר ביותר, ההספק צריך להיות הגדול ביותר. מהגרף בתרשים 3 ניתן לראות שההספק מקסימלי כאשר $V = 9V$. הזרם במעגל הוא: $I = \frac{\varepsilon - V}{r} = \frac{18-9}{3} = 3A$.

לכן, לפי חוק אוהם, ההתנגדות R_{QN} היא: $R_{QN} = \frac{V}{I} = \frac{9}{3} = 3\Omega$

סעיף ד

(1) תשובה: היגד 1 אינו נכון.

נימוק: הנצילות היא $\eta = \frac{P_{eff}}{P_{in}} = \frac{VI}{\varepsilon I} = \frac{V}{\varepsilon}$. המים מתחממים בזמן הקצר ביותר כאשר $V = 9V$, במצב זה הנצילות היא 50%. הגדלת מתח ההדקים (דבר המתבצע בפועל באמצעות הקטנת הזרם על ידי הגדלת ההתנגדות) יגדיל את הנצילות. לכן הנצילות אינה מקסימלית כאשר המים מתחממים בזמן הקצר ביותר.

(2) תשובה: היגד 2 נכון.

נימוק: המשמעות הפיזיקלית של הספק היא קצב צריכת אנרגיה, $P = \frac{W}{\Delta t}$. אנרגיה ניתן למדוד ביחידות eV (אלקטרון-וולט) וזמן ניתן למדוד ביחידות s (שנייה), ולכן ניתן למדוד הספק ביחידות $\frac{eV}{s}$ (אלקטרון-וולט לשנייה).

סעיף ה

תשובה: תרשים 2.

נימוק: הקשר בין מתח ההדקים והזרם הוא $V = \varepsilon - Ir$. החלפת האמפרמטר במד-זרם שהתנגדותו לא זניחה תקטין את ערכי הזרם שנמדדו במעגל (כי ההתנגדות במעגל גדלה) וכתוצאה מכך תגדיל את ערכי המתח שנמדדו, אך הקשר בין שני המשתנים יישאר ללא שינוי, כי אין שינוי בערכי r ו- ε. התרשים שמתאר זאת בצורה הטובה ביותר הוא תרשים 2.

דגש דידקטי: אנו ממליצים למורים לעודד את תלמידיהם להסתכל על כל המאפיינים של קווי המגמה שהוצגו במסיחים (משמעות השיפוע, משמעות נקודת החיתוך עם הציר האנכי, ומשמעות נקודת החיתוך עם הציר האופקי), והן על המדידות עצמם, ולדון בהשפעת אמפרמטר שאינו אידיאלי על תוצאות המדידה. הדבר חשוב גם להבנה מעמיקה של הנושא אך גם למעבדה, בה לרוב משתמשים באמפרמטר שאינו אידיאלי.

שאלה 4

<u>נתונים:</u> $R_1 = 0.15m$; $N_1 = 10$; $R_2 = 0.10m$; $N_2 = 10$

<u>סעיף א</u>

(1) <u>תשובה:</u> תרשים a.

<u>נימוק:</u> לפי כלל הבורג, השדה המגנטי הנוצר על ידי מערכת כריכות 2, בה זורם זרם עם כיוון השעון (כיוון אצבעות), הוא לתוך הדף (כיוון אגודל), כלומר מערבה. המצפן מצביע בכיוון השדה המגנטי השקול, שמורכב משדה זה ומהרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי. תרשים a מתאר זאת בצורה הטובה ביותר.

<u>הערה:</u> בבחינה עצמה המשיבים לא נדרשו לספק נימוק לבחירתם, ולכן הנימוק אינו חלק מתשובה מלאה וניתן לקבל ניקוד מלא לתת-סעיף זה גם ללא נימוק. עם זאת, אנו סבורים שלצורך דיון והוראה בכיתה, יש לדרוש מהתלמידים נימוק.

(2) <u>תשובה:</u> תרשים c.

<u>נימוק:</u> עוצמת השדה המגנטי הנוצרת על ידי כל אחת מהכריכות נתונה לפי $B = \frac{\mu_0 N i}{2R}$. לכן, השדה הנוצר על ידי מערכת כריכות 1 קטן יותר בגודלו, $B_1 < B_2$. כיוון השדה המגנטי הנוצר על ידי מערכת כריכות 1 לפי כלל הבורג הוא החוצה מהדף (מזרחה), לכן השדה המגנטי השקול הנוצר על ישי שתי מערכות הכריכות יהיה מכוון מזרחה, וגודלו יהיה קטן יותר מ-B_2. תרשים c מתאר בצורה הטובה ביותר את סטיית מחט המצפן במצב זה.

<u>סעיף ב</u>

(1) בנקודת החיתוך של קו המגמה עם הציר האופקי, $\tan\theta = 0$, כלומר המצפן מצביע בדיוק לכיוון צפון. במצב זה, שני השדות הנוצרים על ידי הכריכות בדיוק מבטלים זה את זה. כלומר: הם בגדלים שווים ובכיוונים מנוגדים. לכן הזרם i_1 במגמה הפוכה מזו של i_2 (סימנו שלילי) וניתן למצוא את יחס גדלי הזרמים באמצעות הביטוי לשדות המגנטיים $B_1 = B_2$, ולכן:

$$\frac{\mu_0 N_1 |i_1|}{2R_1} = \frac{\mu_0 N_2 i_2}{2R_2}$$

נזכור ש-$N_1 = N_2 = 10$ ונצמצם:

$$\frac{|i_1|}{R_1} = \frac{i_2}{R_2}$$

$$\frac{|i_1|}{i_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

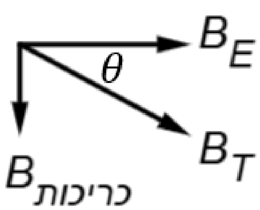
(2) על פי הקשר שפיתחנו בתת-סעיף ב(1): $i_2 = \frac{R_2}{R_1}|i_1|$.

הזרם הדרוש לכך שמחט המצפן לא תסטה (נקודת החיתוך עם הציר האופקי) על פי הגרף הוא $i_1 = -0.75A$. נציב את הנתונים:

$$i_2 = \frac{0.10}{0.15} \cdot 0.75 = 0.5A$$

<u>סעיף ג</u>

השדה המגנטי השקול הנוצר על ידי שתי מערכות הכריכות הוא $B_2 + B_1$ (נזכור ש-i_1 שלילי כאשר הוא במגמה הפוכה מזו של i_2), שדות אלה מכוונים על ציר מזרח-מערב. מחט המצפן מצביעה בכיוון צפון. לכן, ביטוי עבור $\tan\theta$ הוא:



$$\tan\theta = \frac{(B_2 + B_1)}{B_E} = \frac{\mu_0 N_1}{2R_1 B_E} i_1 + \frac{\mu_0 N_2 i_2}{2R_2 B_E}$$

<u>דרך א (שיפוע הגרף):</u> המשמעות הפיזיקלית של שיפוע הגרף היא $\frac{\mu_0 N_1}{2R_1 B_E}$, נמצא את שיפוע הגרף בעזרת שתי נקודות: $(-0.75\,, 0.0)$ ו-$(-0.25, 0.7)$:

$$A = \frac{0.7 - 0.0}{-0.25 - (-0.75)} = \frac{0.7}{0.5} = 1.4\frac{1}{A}$$

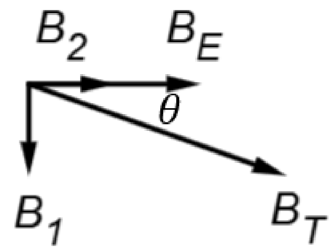
לכן, גודל הרכיב האופקי של השדה המגנטי הארצי הוא:

$$A = \frac{\mu_0 N_1}{2R_1 B_E} \quad \Rightarrow \quad B_E = \frac{\mu_0 N_1}{2R_1 A} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{2 \cdot 0.15 \cdot 1.4} = 2.99 \cdot 10^{-5}T = 29.9\ \mu T$$

<u>דרך ב (נקודת חיתוך עם הציר האנכי):</u> המשמעות הפיזיקלית של נקודת החיתוך עם הציר האנכי היא $\frac{\mu_0 N_2 i_2}{2R_2 B_E}$, ניתן לראות בתרשים 3 שהגרף חותך את הציר האנכי ב- $b = 1.05$ [גודל חסר יחידות], ולכן:

$$B_E = \frac{\mu_0 N_2 i_2}{2R_2 b} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10 \cdot 0.5}{2 \cdot 0.10 \cdot 1.05} = 2.99 \cdot 10^{-5}T = 29.9\ \mu T$$

סעיף ד



סעיף ה

במצב החדש:

$$\tan\theta = \frac{B_1}{B_2 + B_E}$$

לכן:

$$B_1 = \tan\theta\,(B_2 + B_E)$$

$$\frac{\mu_0 N_1 i_1}{2R_1} = \tan\theta\left(\frac{\mu_0 N_2 i_2}{2R_2} + B_E\right)$$

נזכור ש- $N_1 = N_2 = 10$ כשנבודד את i_1:

$$i_1 = \tan\theta\left(\frac{R_1}{R_2} i_2 + \frac{2R_1 B_E}{\mu_0 N_1}\right)$$

נציב את הנתונים:

$$i_1 = 1.4 \cdot \left(\frac{0.15}{0.1} \cdot 0.5 + \frac{2 \cdot 0.15 \cdot 2.99 \cdot 10^{-5}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}\right) = 2.05A$$

שאלה 5

<u>נתונים:</u> $|V_{MN}| = 88V$; $\Delta x_{MN} = 0.006m$; $|Q| = 1.3nC$; $d = 0.015m$.

<u>סעיף א</u>

(1) השדה החשמלי בין לוחות הקבל הוא אחיד, ועוצמתו נתונה לפי $|E| = \frac{\Delta V}{\Delta x}$, מכאן ש:

$$\frac{V_{MN}}{\Delta x_{MN}} = \frac{V_C}{d} \;\Rightarrow\; V_C = \frac{d}{\Delta x_{MN}} V_{MN} = \frac{0.015}{0.006} \cdot 88 = 220V$$

קיבול הקבל נתון לפי $Q = CV$ ולכן:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{1.3 \cdot 10^{-9}}{220} = 5.91 \cdot 10^{-12}\, F = 5.91\, pF$$

(2) הקיבול של קבל לוחות הוא $C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$ (נזכור ש-$\varepsilon_r = 1$ בתנאי ריק). לכן:

$$A = \frac{dC}{\varepsilon_0} = \frac{0.015 \cdot 5.91 \cdot 10^{-12}}{8.85 \cdot 10^{-12}} = 0.01\, m^2$$

<u>סעיף ב</u>

<u>נתונים:</u> $m = 6.64 \cdot 10^{-27} kg$; $q = 3.2 \cdot 10^{-19} C$

העבודה שמבצע השדה החשמלי היא $W = -q\Delta V$, עבודה זו גורמת לשינוי (השלילי) באנרגיה הקינטית:

$$W = \Delta E_k$$

$$-q\Delta V = 0 - \frac{1}{2} m v_0^2$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2q\Delta V}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3.2 \cdot 10^{-19} \cdot 220}{6.64 \cdot 10^{-27}}} = 1.46 \cdot 10^5 \frac{m}{s}$$

<u>סעיף ג</u>

(1) <u>תשובה:</u> המהירות v_0 לא תשתנה.

<u>נימוק:</u> כאשר מקרבים את לוחות הקבל בעודו מחובר למקור המתח, המתח על הקבל לא משתנה (מטען הקבל יקטן). בביטוי שקיבלנו בסעיף ב', המתח בין לוחות הקבל הוא שמשפיע על המהירות v_0 ועל כן המהירות לא תשתנה.

(2) תשובה: המהירות v_0 תקטן.

נימוק: כאשר מקרבים את לוחות הקבל בעודו מנותק ממקור המתח, קיבול הקבל גדל בעוד המטען על לוחות הקבל לא משתנה, לכן, לפי $Q = CV$, המתח בין לוחות הקבל קטן. המתח הוא שמשפיע על המהירות ולכן המהירות תקטן.

סעיף ד

מכיוון ש- $A_2 = \frac{1}{2}A_1$, מתקבל ש- $C_2 = \frac{1}{2}C_1$, לפי $C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$.

בחיבור בטור (תרשים 2א): הקיבול השקול של מערכת הקבלים הוא:

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\frac{1}{2}C_1^2}{C_1 + \frac{1}{2}C_1} = \frac{0.5}{1.5}C_1 = \frac{1}{3}C_1$$

המטען על כל קבל שווה למטען על הקבל השקול:

$$Q_1 = Q_T = C_T V = \frac{1}{3}C_1 V = \frac{1}{3}Q = \frac{1}{3}\cdot 1.3\cdot 10^{-9} = 4.33\cdot 10^{-10}C = 0.433nC$$

בחיבור במקביל (תרשים 2ב): כל קבל מחובר ישירות למקור המתח, ולכן המטען על קבל 1 הוא:

$$Q_1 = C_1 V = Q = 1.3\ nC$$

סעיף ה

תשובה: גודל המטען לא ישתנה.

נימוק: בעודם מחוברים למקור המתח, שני הקבלים מחוברים לאותו מקור מתח, לכן הפוטנציאל החשמלי על כל אחד מלוחות הקבל שווה בהתאמה. לאחר ניתוק מקור המתח, אין הפרש פוטנציאלים בין הקבלים, לכן לא יזרום זרם בין הקבלים, כלומר אין מעבר מטען בין הקבלים.

שאלה 6

<u>דגש דידקטי:</u> בהתאם לאמור בתחילת השאלון, גם בנושא השראה אלקטרומגנטית היינו עדים לדיונים בין מורים בקבוצות ובפורומים השונים העוסקים בשאלת הופעתן של פונקציות שונות לצורך גזירה ומציאת הכא"מ. על כן חשוב לנו להדגיש – <u>כל פונקציה</u> בעלת תבנית גזירה מוכרת יכולה להופיע בשאלה בהשראה אלקטרומגנטית. בפרט: פונקציות פולינום <u>מכל סדר</u>; פונקציות שורש <u>מכל סדר</u>; פונקציות טריגונומטריות; פונקציות מעריכיות; פונקציות לוגריתמיות. מעבר לכך, פונקציות אלה יכולות להופיע בכל תצורה שכללי הגזירה בה מוכרים: מכפלה של פונקציות, מנה של פונקציות, או הרכבה של פונקציות.
מעבר לכך, תיתכן הופעה של פונקציה בהצגה גרפית, ללא תבנית אלגברית מפורשת, אותה הנבחנים יידרשו לנתח. אנו ממליצים למורים לחשוף את תלמידיהם למגוון רחב של שאלות המכסה מגוון רחב של מקרים.

<u>סעיף א</u>

<u>תשובה:</u> הטענה שגויה.

<u>נימוק:</u> למרות שהטבעת אינה נמצאת בתוך השדה המגנטי הנוצר בסילונית, כן נוצר שטף מגנטי דרך הטבעת כתוצאה מהשדה המגנטי הנוצר בסילונית. השטף המגנטי משתנה עם הזמן היות והשדה המגנטי משתנה עם הזמן (כתוצאה משינוי הזרם בסילונית עם הזמן), ולכן כן נוצר זרם מושרה בטבעת, כתוצאה מהיווצרות כא"מ מושרה בטבעת (לפי חוק פאראדיי), ולכן הנורה דולקת.

<u>סעיף ב</u>

<u>תשובה:</u> גרף 4.

<u>נימוק א (חוק פאראדיי-לנץ)</u>: הביטוי לשטף המגנטי דרך הטבעת כפונקציה של הזמן הוא:

$$\phi_B(t) = A \cdot B(t) = \pi r^2 \cdot \mu_0 \frac{N}{L} I(t) = \frac{\mu_0 N \pi r^2 I_0}{L} \sin(\omega t)$$

לכן, לפי חוק פאראדיי-לנץ, הביטוי לכא"מ המושרה הנוצר בטבעת המוליכה הוא:

$$\varepsilon_2(t) = -\frac{d\phi_B(t)}{dt} = -\frac{\mu_0 N \pi r^2 I_0 \omega}{L} \cos(\omega t)$$

לפי חוק אוהם, הזרם בטבעת המוליכה כפונקציה של הזמן הוא:

$$I_2(t)=\frac{\varepsilon_2(t)}{R_K}=-\frac{\mu_0 N\pi r^2 I_0\omega}{LR_K}\cos(\omega t)$$

כלומר: התלות של I_2 בזמן היא מהצורה $-\cos(\omega t)$, גרף 4 מתאר זאת בצורה הטובה ביותר.

<u>נימוק ב (חוק לנץ)</u>: ברבע המחזור הראשון של I_1 $(0\le t\le \frac{T}{4})$, כאשר הזרם גדל בהדרגה מ-0 ל-I_0, הזרם בסילונית הוא בכיוון השעון והוא הולך וגדל, כתוצאה מכך השטף המגנטי הוא החוצה מהדף והוא <u>הולך וגדל</u>. לפי חוק לנץ, ייווצר בטבעת זרם מושרה שייצור שדה מגנטי שכיוונו <u>לתוך הדף</u>, כנגד מגמת השינוי של השטף המגנטי. כלומר: ייווצר בטבעת זרם שכיוונו <u>נגד כיוון מחוגי השעון</u>, כלומר שלילי. גרפים 1 ו-3 אינם מתאימים לתיאור זה, רק גרפים 2 ו-4 מתאימים.
ברבע המחזור השני של I_1 $(\frac{T}{4}\le t\le \frac{T}{2})$, כאשר הזרם קטן בהדרגה מ-I_0 ל-0, הזרם בסילונית הוא בכיוון השעון והוא <u>הולך וקטן</u>, כתוצאה מכך השטף המגנטי הוא החוצה מהדף והוא הולך וקטן. לפי חוק לנץ, ייווצר בטבעת זרם מושרה שייצור שדה מגנטי שכיוונו <u>החוצה הדף</u>, כנגד מגמת השינוי של השטף המגנטי. כלומר: ייווצר בטבעת זרם שכיוונו <u>עם כיוון מחוגי השעון</u>, כלומר חיובי. גרף 2 אינו מתאים לתיאור זה. גרף 4 מתאים לתיאור זה בצורה בטובה ביותר.

<u>**דגש דידקטי:**</u> נימוק ב' ממחיש מיומנות של ניתוח גרף שאינו לינארי בכדי להסיק את המסקנה המתבקשת. אנו מאמינים שמיומנות זו בעלת חשיבות רבה בפיזיקה וממליצים למורים לעודד את תלמידיהם לנתח גרפים אלה בצורה זו, תוך התבוננות על כל מאפייני הגרף שעשויים לסייע בהסקת המסקנה: נקודות החיתוך של הגרף עם הצירים; תחומי החיוביות והשליליות של הגרף; נקודות הקיצון של הגרף; תחומי העלייה והירידה של הגרף; וכו'. מורים המעבירים בחינה זו בכיתתם וקיבלו את נימוק א' כתשובת התלמידים, אנו ממליצים לעודד את התלמידים לפתור בדרך נוספת ולכוון למיומנות של קריאת גרף.

<u>סעיף ג</u>

ראינו בסעיף ב' שהכא"מ הנוצר בטבעת המוליכה הוא:

$$\varepsilon_2(t)=-\frac{\mu_0 N\pi r^2 I_0\omega}{L}\cos(\omega t)$$

הערך המירבי של $\cos(\omega t)$ הוא ±1, ולכן:

$$\varepsilon_{2.max}=\frac{\mu_0 N I_0\pi r^2\omega}{L}$$

סעיף ד

כאשר מגדילים את מספר הליפופים בטבעת המוליכה, בכל ליפוף נוצר כא"מ מושרה של $\varepsilon_{2,max}$, נמצא אם כן את מספר הליפופים הדרוש בכדי שהמתח על הנורה יתאים לערך הרשום עליה:

$$N_{\text{טבעת}} = \frac{\varepsilon_K}{\varepsilon_{2,max}} = \frac{\varepsilon_K}{\mu_0 \frac{N}{L} I_0 \pi r^2 \omega}$$

$$N_{\text{טבעת}} = \frac{3}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4000 \cdot 2.42 \cdot \pi \cdot 0.1^2 \cdot 314} = 25$$

סעיף ה

כאשר מגדילים את רדיוס הסילונית (מבלי לשנות את צפיפות הליפופים ואת הזרם דרך הסילונית), גדל השטף המגנטי הנוצר בטבעת, לפי $\phi_B = A \cdot B(t) = \pi r^2 B(t)$. אולם, כאשר רדיוס הסילונית שווה לרדיוס הטבעת, השטף דרך הטבעת יהיה $\phi_B = A \cdot B(t) = \pi R^2 B(t)$, הגדלת הרדיוס מעבר לכך לא תגדיל את השטף המגנטי דרך הטבעת המוליכה. לכן, בהצעה השנייה של התלמידים, ניתן להגדיל את הכא"מ המושרה הנוצר בסילונית לכל היותר פי $\frac{R^2}{r^2} = \left(\frac{12}{10}\right)^2 = 1.44$, בעוד יש להגדיל את הכא"מ המושרה פי 25 בכדי שהמתח על הנורה יתאים לערך הרשום עליה. לכן, בלתי אפשרי שהמתח על הנורה יהיה $3V$ בהצעה זו.

שאלון חקר

להרחבה על הרקע העיוני לבחינה זו ניתן לעיין בנספח ב.

מורים המעוניינים להעביר בחינה זו בכיתתם במתכונת של מעבדת חקר במקום שאלון חקר (קרי, התלמידים יבצעו את הניסוי בעצמם), יכולים ליצור קשר עם הכותב הראשון של מסמך זה. פרטי התקשורת מופיעים בחוזר מפמ"ר תשפ"ו/1. ניתן לקבל הנחיות לרכישת הציוד הדרוש לערכות הניסוי, הנחיות להדפסת דף העזר, הצעה לבחינה המותאמת למעבדת חקר (כולל פתרון) או לעיבוד בחינה זו, והצעות להערכת הבחינה.

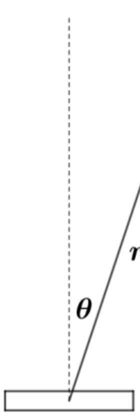
שאלה 1

ככל שמקרבים את המגנט לעבר המצפן, זווית הסטייה של מחט המצפן הולכת וגדלה.

דגש דידקטי: ישנם תלמידים שמתייחסים בתשובתם לעוצמת השדה המגנטי של המגנט שגדלה ככל שמקרבים את המגנט. מבחינה פיזיקלית זה אומנם נכון (טענות אמת) אך מבחינת המעבדה תשובה זו אינה תשובה הולמת. זווית סטיית מחט המצפן היא המדד לעוצמת השדה המגנטי של המגנט בניסוי הנוכחי, באמצעות מודל תיאורטי שיפותח בהמשך ותחת ההנחות של המודל. שאלה זו עוסקת בתצפית, וניתן לצפות בזווית המצפן שהולכת וגדלה. השלכה על עוצמת השדה המגנטי של המגנט היא פרשנות של התצפיות, ולכן אינה מתאימה כתשובה לשאלה.

שאלה 2

יתרונות אפשריים למערכת שני קווים: (1) ניתן לדייק בהצבת מחזיק הפלסטיק במקביל לקווים, וכך ניתן להיות בטוחים יותר שהמגנט הוצב כך שציר המגנט מקביל לכיוון מזרח-מערב (בניצב לכיוון צפון); (2) בהנחה שמרכז המגנט נמצא באמצע המנסרה, קל יותר למקם את מרכז המגנט באמצע המרחק בין הקווים המקבילים (בקו העובר בדיוק דרך מרכז המצפן), שכן המרחק בין הקווים המקבילים שווה בקירוב לעובי המנסרה.



הערה: אם המגנט לא מוצב בסביבת המצפן כך שמרכז המצפן נמצא על ציר המגנט, הרי שקיימת זווית בין מיקום המצפן לציר המגנט, יחסית למרכז המגנט (ראו תרשים).
ההשפעה של זווית זו מאוד זניחה אך אינה ידועה לנבחנים בבחינה היות שאינה מובאת ברקע העיוני. להרחבה ניתן לעיין בנספח ב.

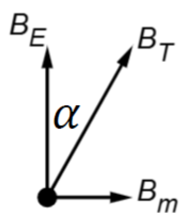
יתרונות אפשריים למערכת קו אחד: (1) ניתן לדייק בהצבת המצפן כך ששנת ה-$90°$ יתלכד עם כיוון מזרח; (2) ניתן לדייק בהצבת המגנט, בהתעלם ממחזיק הפלסטיק, כך שציר המגנט

יעבור דרך מרכז המצפן. **<u>הערה:</u>** בשיטה זו יש סיכוי סביר למיקום המגנט כך שתיווצר זווית בין ציר המגנט למצפן. אך כאמור זווית זו אינה משמעותית. להרחבה ניתן לעיין [בנספח ב](#).

<u>דגש דידקטי:</u> שאלה זו עוסקת במיומנות מהותית למעבדה, של התאמת כלי המדידה לביצוע הניסוי. אנו ממליצים למורים ללמד את התלמידים ולהקפיד על כך שתשובות לשאלות מעין זו יעוגנו וינומקו בשיקול דעת <u>מדעי</u> ולא בשיקול דעת נאיבי המנוסח בצורה לא מדעית כמו "יותר נוח לעבודה". גם תשובות כלליות כמו "מקטין את אי-הודאות" אינן הולמות ואינן מעידות על הבנה.

שאלה 3

<u>סעיף א</u>



מחט המצפן מצביעה בכיוון השדה המגנטי השקול B_T, שהוא סכום ווקטורי של השדה המגנטי הארצי B_E המכוון צפונה, והשדה של המגנט B_m המכוון מזרחה (אל המגנט).

<u>סעיף ב</u>

על פי תרשים השדות, הקשר בין זווית הסטייה לבין השדות הוא: $\tan\alpha = \frac{B_m}{B_E}$.

נציב את הביטוי לשדה המגנטי של המגנט מנוסחה 1 ברקע העיוני ונקבל את הקשר המבוקש:

$$\tan\alpha = \frac{\mu_0 m}{2\pi B_E r^3}$$

<u>סעיף ג</u>

השדה המגנטי הארצי, B_E מכוון צפונה ללא קשר למיקום הדף, המצפן והמגנט.
השדה המגנטי של המגנט, B_m, מכוון לעבר המגנט. ללא קשר לכיוון צפון. יחסית לדף העזר, כיוון זה הוא הכיוון המאונך לכיוון המסומן כ-"צפון" בדף העזר.
הקשר שפותח בסעיף ב' מתבסס על ההנחה שהשדה המגנטי של המגנט והשדה המגנטי של כדור הארץ מאונכים זה לזה. לכן, היה חשוב לסובב את דף העזר עד שהמצפן הצביע בכיוון צפון, כשהוא ממוקם בסביבה נקייה מאביזרים שעשויים מחומרים פרומגנטיים. באופן הזה, הקפדנו שהשדה המגנטי שיוצר המגנט יהיה מאונך לשדה המגנטי הארצי, והקשר שפיתחנו בסעיף ב' תקף.

שאלה 4

<u>טענה אפשרית עבור מצפן גדול בעל מחט מתכתית ארוכה:</u> במצפן שכזה כושר ההפרדה בין הזוויות גדול יותר, קוטר המצפן גדול יותר ולכן רגישות המצפן גדולה יותר. ניתן לסמן יותר שנתות בהפרשים קטנים מ-$5°$ ובכך למדוד את הזווית באופן מדויק יותר, אי-הודאות (המוחלטת והיחסית) בכל מדידה קטנה.

<u>טענה אפשרית עבור מצפן קטן בעל מחט מתכתית קצרה:</u> במצפן קטן השדה הוא בקירוב אחיד לכל נקודה על המצפן, ובפרט קירוב זה טוב יותר מאשר במצפן גדול. מחט מתכתית ארוכה במצפן גדול עשויה להיות מושפעת משדה מגנטי שאינו בהכרח במרכז המצפן, ועל כן <u>מהימנות</u> קריאת מחט המצפן נפגמת (דהיינו: במחט ארוכה קשה לדעת אם הערך שנקרא ממחט המצפן אכן מייצג את השדה המגנטי <u>במרכז</u> המצפן).

<u>**דגש דידקטי:**</u> גם שאלה זו עוסקת בהתאמת כלי המדידה לביצוע הניסוי. אנו שבים וממליצים למורים ללמד את התלמידים ולהקפיד על כך שתשובות לשאלות מעין זו יעוגנו וינומקו בשיקול דעת <u>מדעי</u> ולא בשיקול דעת נאיבי המנוסח בצורה לא מדעית כמו "יותר נוח לעבודה". גם תשובות כלליות כמו "מקטין את אי-הודאות" אינן הולמות ואינן מעידות על הבנה. בשאלה הנוכחית תשובות שכאלה נפוצות במיוחד שכן השאלה עוסקת במכשיר המדידה עצמו, ולכן "מפתה" ללכת למקומות של נוחות המשתמש במכשיר במקום להפעיל שיקול דעת מדעי במענה.

שאלה 5

משתנה בלתי תלוי – זווית סטיית מחט המצפן α.

משתנה תלוי – מרחק המגנט מהמצפן r.

שאלה 6

בטבלה.

שאלה 7

<u>סעיף א</u>

בשאלה 3 הובא הקשר $\tan\alpha = \frac{\mu_0 m}{2\pi B_E r^3}$, נבודד את r^3 ונקבל:

$$r^3 = \frac{\mu_0 m}{2\pi B_E} \cdot \frac{1}{\tan\alpha}$$

סעיף ב

אפשרות 2. $\frac{1}{\tan\alpha}$ נכונה. על פי הקשר שפיתחנו בסעיף א', ניתן לראות שהיחס בין r^3 לבין משתנה זה, $\frac{1}{\tan\alpha}$, הוא לינארי (קשר מהצורה $r^3 = A\cdot\frac{1}{\tan\alpha}$, כאשר A קבוע).

סעיפים ג+ד

בטבלה.

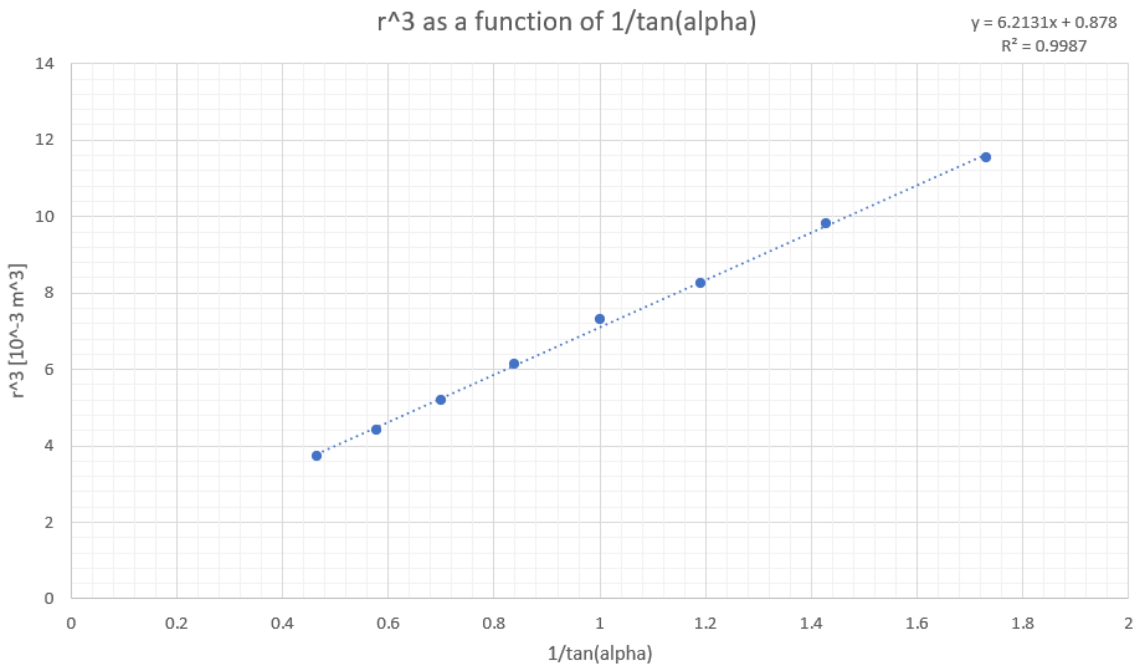
תוצאות של חקירת הקשר בין זווית הסטייה של מחט המצפן ובין מרחק המגנט מהמצפן

משתנה בלתי תלוי	**משתנה תלוי**	**משתנה חדש לציר האופקי**	**משתנה חדש לציר האנכי**	**משתנה חדש לציר האנכי** $(\times 10^{-3})$
α	r	${}^{1}\!/_{\tan\alpha}$	r^3	r^3
$[°]$	$[m]$	$[1]$	$[m^3]$	$[10^{-3}m^3]$
30	0.226	1.732	0.01154	11.54
35	0.214	1.428	0.009800	9.800
40	0.202	1.192	0.008242	8.242
45	0.194	1.000	0.007301	7.301
50	0.183	0.8391	0.006128	6.128
55	0.173	0.7002	0.005178	5.178
60	0.164	0.5773	0.004411	4.411
65	0.155	0.4663	0.003724	3.724

דגש דידקטי: יש להקפיד על רישום תקין של ספרות משמעותיות. הדבר נכון לכל ניסוי, שכן זו הדרך התקינה לדווח על הממצאים, אך במיוחד לשאלה זו בה נדרש בצורה מפורשת להקפיד על רישום של 4 ספרות משמעותיות. באופן כללי, קביעת מספר הספרות המשמעותיות צריכה להתבסס על אי-הוודאות במדידה. אולם, בבחינה זו, עקב אופי הבחינה (שאלון חקר ולא מעבדת חקר), נקבע עבור הנבחנים כמה ספרות משמעותיות יש לרשום.

שאלה 8

סעיפים א+ב



שאלה 9

סעיף א

אפשרות 1 נכונה. היחידות הן Am^2.

נימוק א: ננתח את יחידות המידה של הביטוי המובא בשאלה 3 (נשמיט גדלים חסרי יחידות):

$$[\tan\alpha] = \frac{[\mu_0][m]}{[B_E][r]^3} \quad \Rightarrow \quad [m] = \frac{[\tan\alpha][B_E][r]^3}{[\mu_0]} = \frac{1 \cdot T \cdot m^3}{\frac{Tm}{A}} = Am^2$$

נימוק ב: נשווה בין יחידות מידה של שדה מגנטי על פי נוסחה 1 ברקע העיוני ועל פי הביטוי לשדה מגנטי של תיל אינסופי / השדה המגנטי במרכז סליל דק / סילונית ארוכה (נשמיט גדלים חסרי יחידות):

$$[B] = \frac{[\mu_0][m]}{[r]^3} = \frac{[\mu_0][I]}{[r]} \quad \Rightarrow \quad [m] = [I][r]^2 = Am^2$$

דגש דידקטי: תלמידים רבים בחרו באפשרות 2, Tm^3 . מסיח זה מבוסס על התפיסה השגויה לפיה μ_0 חסר יחידות. בחירה באפשרות זו מעידה על אי-הבנה של-μ_0 יש יחידות מידה. אנו ממליצים להדגיש בפני התלמידים שקבועים פיזיקליים אינם רק סימון פרמטרי של ערכים מספריים, אלא תכונות של היקום בעלות משמעות פיזיקלית ויש להם יחידות מידה. הדבר נכון במיוחד להוראת מעבדת החקר, שכן יכולים להופיע בבחינה מושגים חדשים שאינם מוכרים לתלמידים, ויש למצוא את יחידות המידה שלהם, כמו בשאלה זו.

סעיף ב

על פי הקשר שפיתחנו בשאלה 7, $r^3 = \frac{\mu_0 m}{2\pi B_E} \cdot \frac{1}{\tan\alpha}$, המשמעות הפיזיקלית של שיפוע הגרף היא $A = \frac{\mu_0 m}{2\pi B_E}$. על פי הגרף ששורטט בשאלה 8 ומשוואת קו המגמה שניתנה ע"י Excel, ערכו המספרי של השיפוע ויחידותיו הם: $A = 6.2131 \cdot 10^{-3} m^3$. מכאן נוכל לחשב את מומנט הדיפול המגנטי:

$$m = \frac{2\pi A B_E}{\mu_0} = \frac{2\pi \cdot 6.2131 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 10^{-6}}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 0.932\ Am^2$$

סעיף ג

על פי משוואת קו המגמה, נקודת החיתוך עם הציר האנכי היא $b = 0.878 \cdot 10^{-3} m^3$.

דגש דידקטי: שיפוע הגרף ונקודת החיתוך עם הציר האנכי הוצגו עם מספר ספרות משמעותיות רב יותר מזה המתאפשר בניסוי, שכן לאי-הוודאות בזווית יש השפעה על אי-הוודאות במדידת המרחק. מכיוון שבבחינה זו התלמידים לא ביצעו את הניסוי בעצמם, אלא קיבלו תוצאות מוכנות מראש, קשה להבין זאת באופן עצמאי. עם זאת, כדאי להדגיש שבניתוח ממצאי ניסוי שבוצע בפועל ע"י התלמידים, המסקנות הכמותיות חייבות להיות מוצגות בהלימה לאי-הוודאות של מכשירי המדידה. תוך לקיחה בחשבון של אינטראקציה אפשרית ביניהם (כמו במקרה הנוכחי).

סעיף ד

המשמעות הפיזיקלית של נקודת החיתוך עם הציר האנכי היא החזקה השלישית של מרחק המגנט מהמצפן, הדרוש על מנת שזווית סטיית מחט המצפן תהייה $90°$.
מבחינה תיאורטית, בהתבסס על הקשר הנתון בשאלה 3 והקשר שפיתחנו בשאלה 7, מרחק זה אמור להיות $r = 0$. בפועל, התקבל מרחק גדול מ-0. ישנם כמה סיבות אפשריות לכך:

- אופן מציאת קו המגמה ב-Excel מבוסס על שיטת הריבועים המינימליים, קו המגמה מחושב באופן מתמטי על ידי מציאת ערך מינימלי לסכום ריבועי המרחקים של המדידות מקו המגמה. על פי שיטה זו, למדידות בקצה תחום הערכים ישנה השפעה מוגברת על קו המגמה לעומת מדידות הקרובות לאמצע התחום. בכל מדידה (של המרחק ושל הזווית) ישנה אי-וודאות **אקראית**, ואי-וודאות זו, במיוחד במדידות הקצה (יש לזכור שבזוויות אלה אי-הוודאות היחסית ב-$\tan\alpha$ היא הגדולה ביותר), עשויה להשפיע על קו המגמה באופן שיוביל לנקודת חיתוך עם הציר האנכי שאינה בראשית הצירים.
- במהלך הניסוי ישנה אי-וודאות **שיטתית** שמקורה בעובי המגנט. המרחק נמדד ממרכז המגנט ועוביו הוא $3mm$. מכאן שמרכז המגנט הוא במרחק $1.5\ mm$ מקצותיו, אך הרגישות של הסרגל היא של מילימטרים. אי-וודאות שיטתית זו תבוא לידי ביטוי ב"הזזה" של כל מדידות המרחק r, ובגרף הדבר יתפרש כהזזה אנכית ומתיחה (לא אחידה) של קו המגמה. באופן זה תיווצר נקודת חיתוך עם הציר האנכי. ייתכן שהנקודה שהתקבלה בגרף יכולה להיות מוסברת באופן זה.
- במהלך הניסוי ישנה אפשרות שמחט המצפן לא הצביעה בצורה מדויקת לכיוון צפון. הדבר גורם לאי-וודאות **שיטתית** במדידת זווית סטיית מחט המצפן. אי-וודאות זו תבוא לידי ביטוי ב"הזזה" של כל מדידות הזווית α ובגרף הדבר יתפרש כהזזה <u>אופקית</u> ומתיחה (לא אחידה) של קו המגמה. בגרף לינארי הזזות/מתיחות אופקיות שקולות להזזות/מתיחות אנכיות, ובאופן זה תיווצר נקודת חיתוך עם הציר האנכי. ייתכן שהנקודה שהתקבלה בגרף יכולה להיות מוסברת באופן זה.

שאלה 10

<u>סעיף א</u>

$$\frac{|0.932-0.896|}{0.896}\cdot 100=\frac{0.036}{0.896}\cdot 100=4.0\%$$

<u>סעיף ב</u>

<u>סיבה אפשרית 1:</u> החישוב של מומנט הדיפול המגנטי לפי השיפוע מתבסס על ההנחה ברקע העיוני שגודל הרכיב האופקי של השדה המגנטי בסביבה בה בוצע הניסוי שווה לממוצע בישראל והוא $30\mu T$. בהחלט ייתכן שהשדה המגנטי בסביבה בה בוצע הניסוי עשוי להיות שונה מהערך הממוצע במידה שיכולה להסביר סטייה יחסית של 4% . <u>לצורך המחשה:</u> אם נחשב את הרכיב

האופקי של השדה המגנטי הארצי באמצעות שיפוע הגרף והערך המצופה של מומנט הדיפול המגנטי, נקבל:

$$B_E = \frac{\mu_0 m}{2\pi A} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0.896}{2\pi \cdot 6.2131 \cdot 10^{-3}} = 28.8\mu T$$

זהו בהחלט גודל סביר לשדה המגנטי בסביבת ביצוע הניסוי, וייתכן שזהו ההסבר לסטייה היחסית שהתקבלה.

<u>סיבה אפשרית 2:</u> שיפוע קו המגמה המחושב בעזרת Excel מושפע מאוד מערכים קיצוניים. שגיאות אקראיות במדידות הקצה הן בעלות השפעה רבה על משוואת קו המגמה, כפי שהומחש בשאלה 9 סעיף ד. ייתכן שאי-וודאות אקראית במדידה, במיוחד במדידות הקצה, השפיעו על שיפוע קו המגמה באופן שיכול להסביר את הסטייה היחסית שהתקבלה.

שאלה 11

עקב אי-הלינאריות של פונקציית הטנגנס, אי-וודאות ב-α יוצרת אי-וודאות גדולה מאוד ב-$\tan\alpha$ עבור זוויות גדולות. בנוסף, על פי הקשר בין המרחק מהמגנט לזווית, בכדי ליצור זווית כזו יש להתקרב למצפן, דבר המגדיל את אי-הוודאות <u>היחסית</u> (גודל אי-הוודאות יחסית לגודל הנמדד) על המרחק r וכתוצאה מכך על r^3, היות שהמרחק r קטן יותר. יתרה מכך, הקשר בין עוצמת השדה למרחק הוא יחס הפוך לחזקה השלישית. קרי, הקטנת המרחק פי 2 מגדילה את עוצמת השדה המגנטי פי 8. כתוצאה מכך המצפן יושפע מהמגנט בצורה קיצונית ויקשה מאוד על מהימנות המדידות. מדידות אלה טומנות בחובן אי-וודאות גדולה ולכן עדיף להימנע מהם.

<u>**דגש דידקטי:**</u> כל הטיעונים שהובאו בשאלה זו נכונים גם לזוויות קטנות מ-$30°$. שיקולי אי-וודאות של פונקציית טנגנס רלוונטיים גם למערכת הניסוי "גלוונומטר טנגנטי" ועל כן מומלץ להדגיש אותם לתלמידים.

שאלה 12

לסרגל יש אי-וודאות מוחלטת של $1\ mm$ בעוד למצפן יש אי-וודאות מוחלטת של $5°$, כתוצאה מכך אי-הוודאות <u>היחסית</u> של הסרגל (גודל אי-הוודאות יחסית לגודל הנמדד) קטנה יותר מזו של המצפן יחסית למדידות שהתקבלו בניסוי. המשמעות היא שלמצפן יש כושר הפרדה קטן יותר מאשר הסרגל. משכך, אי-הוודאות במדידת הזווית היא בעלת השפעה רבה יותר לתוצאות הניסוי מאשר אי-הוודאות במדידת המרחק. אם ברצוננו לקבל את התוצאות הטובות ביותר,

עדיף לקבוע את הזווית ולמדוד את המרחק, מאשר ההיפך. במצפן שברשותנו לא ניתן באופן מעשי לקבוע את המרחק ולמדוד את הזווית שמתקבלת בצורה מדויקת.

<u>דגש דידקטי:</u> באופן מעשי אי-הוודאות במדידת הזווית באה לידי ביטוי בכך שלכל זווית קיים <u>תחום</u> מרחקים המציגים את אותה <u>קריאה</u> של המצפן. משכך, אי-הוודאות במדידת המרחק גדולה יותר מאשר אי-הוודאות המתקבלת משנתות הסרגל שהן $1mm$.

נספח א: הנחיות לשרטוט גרפים, הצעה למפתח הערכה ודוגמאות

הנחיות לשרטוט גרפים והצעה למפתח הערכה, כפי שפורסם בחוזר מפמ"ר תשפ"ה/2 – בחינות

א. בשרטוט גרפים חובה להשתמש בסרגל לשרטוט הצירים.
ב. חובה לסמן על צירי הגרפים את השנתות הראשיות ולכתוב את הערכים שלהן.
ג. אין צורך להשתמש בסרגל בשרטוט של תרשימי כוחות או שרטוט של מעגלי זרם.

הצעה למפתח הערכה עבור גרף כמותי בו ייצוג מטבלה מומר לגרף (כולל בשאלון המעבדה):

שימו לב! סך הניקוד גדול מ-100% והוא מתייחס ל"הורדת ניקוד".

משקל	פעולות
10%	בחירה נכונה של הציר האופקי והציר האנכי
20%	כותרות הצירים: שם הגודל בפיזיקה + היחידות. 10% לכל אחד מהצירים.
50%	קנה המידה:
	10% - פריסת הערכים כך שמתקבל גרף שגודלו לפחות חצי עמוד.
	20% - סימון ערכים של שנתות ראשיות במרווחים של לפחות 2 משבצות בין שנת ראשית אחת לשנת העוקבת.
	20% - קנה מידה אחיד לכל ציר בנפרד.
40%	**בגרף ידני** - סימון ראוי של הנקודות שהועתקו מהטבלה. (באם קנה המידה אינו נכון – יקבל רק 30% מהניקוד, על בחירה נכונה של הצירים ורישום כותרות). **ב-Excel** - 20% - כיוון נכון של הגרף. - 20% - בחירת סוג תרשים.
30%	קו המגמה הוא קו העובר בקרבת כל הנקודות כך שהן מפוזרות במרווח כולל שווה מעליו ומתחתיו. הקו **לא חייב** לעבור דרך אף נקודה. הניקוד מותנה: א. בקנה מידה אחיד לכל אחד מהצירים (באם קנה המידה אינו נכון – יקבל רק 30% מהנקודות, על בחירה נכונה של הצירים ורישום כותרות). ב. בשרטוט קו המגמה עם סרגל.

הצעה למפתח הערכה של שרטוט גרף איכותי

משקל	**פעולות**
20%	בחירה נכונה של הציר האופקי והציר האנכי
20%	כותרות הצירים: שם הגודל הפיזיקלי (אם כתב יחידות לא נכונות – להוריד)
60%	קו הגרף (אין כאן נקודות ואין קו מגמה) המתאים לייצג את צורת הגרף הנדרש. הניקוד מותנה בשרטוט קו מגמה עם סרגל, באם קו המגמה הוא קו ישר.
10%	אי שרטוט צירים עם סרגל
10%	אם כתב יחידות לא נכונות

<u>הסבר על כל אחת מההנחיות לשרטוט גרף</u>

לגרפים במדע בכלל ובפיזיקה בפרט חשיבות רבה לצורך הבנת הקשר בין שני משתנים, ולא פחות חשוב מכך – לצורך מציאת קשר <u>כמותי</u> בין שני משתנים. ביצירת גרף אנו בוחרים ייצוג ויזואלי נוח לתלות בין שני גדלים שנמדדו. כבר מתוך כך ניתן להסיק מסקנות אפשריות לגבי מה שנמדד, למשל אם יש תלות חיובית או שלילית בין המשתנים, או שאין ביניהם תלות בולטת. בשלב הבא, בהעברת קו המגמה, אנו מנסים לבחון התאמה של מודל (בדרך כלל תלות לינארית) לתוצאות. המודל שקו המגמה מייצג הוא למעשה אינטרפולציה (הסקת מידע לגבי נקודות בתחום שלא נמדדו בפועל) ואקסטרפולציה (הסקת מידע לגבי נקודות מחוץ לתחום המדידות) של המדידות שנלקחו בניסוי. אנו ממליצים להדגיש בפני התלמידים את החשיבות <u>הכמותית</u> של גרף לצורך מידול אמפירי של קשר בין שני משתנים, גם כאשר הניסוי המתואר הוא שאלה תיאורטית שתוצאותיו מובאות בה (כפי שקורה בבגרויות העיוניות).

בניתוח תשובות התלמידים לבחינות הבגרות בשאלות שרטוט גרף עלה שרוב התלמידים מתייחסים לגרף כמעין הצגה ויזואלית <u>שרירותית</u> של תוצאות ומשרטטים אותו כדרישה טכנית, ולא ככלי לניתוח ממצאי ניסוי. משכך, רוב התלמידים לא מקפידים על הכללים הנדרשים משרטוט גרף בכדי שיהיה בו ערך מעשי לצורך הסקת מסקנות כמותיות, כפי שנדרש מכל גרף. למעשה, <u>רוב הגרפים ששורטטו על ידי התלמידים היו חסרי ערך מדעי</u>.

אנו ממליצים לחדד בפני התלמידים את החשיבות של גרפים לצורך הסקה כמותית בין שני משתנים, באופן זה אנו מאמינים שההנחיות לשרטוט גרף יהיו יותר מובנות לתלמידים, ויהיו להם הכלים הנדרשים בכדי להפעיל שיקול דעת. לצורך המחשה: בשאלה 2 <u>בבגרות 2019 בחשמל ומגנטיות</u> הופיע גרף המתאר את הקשר בין התנגדות תרמיסטור לטמפרטורה שלו. באמצעות

גרף זה ומידיעת ההתנגדות ניתן למצוא את הטמפרטורה, כפי שנדרש בחלק מסעיפי השאלה. הקשר התיאורטי בין ההתנגדות לטמפרטורה זר לתלמידים, ולכן אם הגרף היה משורטט שלא על פי הכללים המקובלים, הוא היה חסר ערך לצורך הבנת הקשר בין ההתנגדות לטמפרטורה.

משהובהרה לתלמידים החשיבות של גרף לצורך הסקה כמותית, ניתן להבין את ההיגיון העומד מאחורי ההנחיות לשרטוט גרף, בכדי שניתן יהיה להסיק מסקנות כמותיות מקו מגמה לינארי (דוגמאות מובאות בסוף הנספח):

- **בחירה נכונה של הציר האופקי והאנכי**

  גרף מתאר קשר בין שני משתנים. המוסכמה היא לתאר את הקשר בין משתנה תלוי ומשתנה בלתי תלוי (כלומר: המשתנה התלוי בציר האנכי והבלתי תלוי בציר האופקי). הנחיה זו לא רק עוזרת להבין את המודל האמפירי בעזרת מודל תיאורטי, אלא גם ממחישה באופן ויזואלי איזה מהמשתנים בניסוי תלוי במשתנה האחר, ולמעשה מתארת באופן ויזואלי מה נחקר בניסוי. יש להדגיש שהבחירה במשתנה התלוי והבלתי תלוי קשורה בתכנון הניסוי, אך מרגע שבחירה זו נעשתה, הגרף צריך להתאים למוסכמה המקובלת.

  חשוב להדגיש שמבחינה <u>מתמטית גרידא</u> אין כל הבדל בין גרף של A כפונקציה של B או גרף של B כפונקציה של A. אך מבחינה <u>מדעית</u> מדובר בגרפים שונים בתכלית, שכן אם הגרפים הוצגו בהתאם למוסכמה, הרי שהם הופקו משני ניסויים שונים לחלוטין (כלומר: גרף המציג את A כתלות ב-B הוא גרף בו במהלך הניסוי שינו את המשתנה B ומדדו כיצד שינוי זה משפיע על משתנה A, ובגרף של B כתלות ב-A קרה ההיפך: במהלך הניסוי שינו את המשתנה A ומדדו כיצד שינוי זה משפיע על משתנה B). מכאן החשיבות בהנחיה זו.

- **כותרות הצירים: שם הגודל בפיזיקה + היחידות**

  לצורך דיווח תקין של ממצאי ניסוי חשוב לרשום את שם הגודל הפיזיקלי בכל אחד מהצירים, ולא פחות חשוב להצהיר על היחידות. יחידות למעשה מגדירות משמעות לקנה המידה.

  למשל: זמן נמדד בשניות, מילישניות, או שעות; אנרגיה הנמדדת ב-J או ב-eV. בלי דיווח על יחידות המידה, הערכים הרשומים בכל ציר הם חסרי משמעות.

- **(קנה מידה) פריסת הערכים כך שמתקבל גרף שגודלו לפחות חצי עמוד**

  קריאת נקודות במערכת הצירים בצורה המדויקת ביותר מתאפשרת רק בנקודות בהן קו המגמה עובר בנקודת החיתוך של המשבצות במחברת הבחינה (קווי הרשת). שרטוט גרף כך שגודלו חצי עמוד לפחות, לצד הקפדה על ההנחיות האחרות בנוגע לקנה המידה, מגדיל משמעותית את הסיכוי שקו המגמה יעבור דרך חיתוך המשבצות, ובכך ניתן לחשב את שיפוע קו המגמה בצורה המדויקת ביותר. שרטוט גרף קטן מדי עשוי להוביל ברוב המקרים

לתשובות לא מדויקות החורגות במידה ניכרת מהתחום המתקבל כתשובה נכונה. הדבר נכון גם לסימון הנקודות עצמן – גרף שגודלו חצי עמוד לפחות מגדיל את הסיכוי שהנקודות מהטבלה יסומנו על קווי הרשת. מכאן החשיבות של הנחיה זו, ויתרה מכך – חשוב להפעיל שיקול דעת בשרטוט גרף שכן בהחלט ייתכנו מצבים בהם חצי עמוד אינו מספיק, וכדאי לשרטט גרף גדול יותר.

- **(קנה מידה) סימון ערכים של שנתות ראשיות במרווחים של לפחות 2 משבצות בין שנת ראשית אחת לשנת העוקבת**

השנתות הראשיות מהוות את הבסיס לדיון הכמותי על אודות הקשר בין שני משתנים. מספר המשבצות בין שנתות עוקבות מגדיר בפועל את ערכי השנתות המשניות. בחירה של משבצת אחת בלבד בין השנתות הראשיות מבטלת את השנתות המשניות ולא מאפשרת לסמן בצורה מדויקת ערכים שלא שווים במדויק לערך של השנתות הראשיות. יש לזכור שהדרך המדויקת ביותר לסימון נקודות היא באמצעות המשבצות במחברת הבחינה (קווי הרשת) וכדאי לבחור קנה מידה המאפשר סימון מדויק ככל האפשר, תוך התחשבות בגודל הדף וכמות המשבצות בו. מכאן החשיבות של הנחיה זו, ויתרה מכך – חשוב להפעיל שיקול דעת בסימון השנתות שכן בהחלט ייתכנו מצבים בהם מרווח של 2 משבצות אינו מרווח מספיק, וכדאי לסמן שנתות ראשיות במרווחים של, למשל, 5 משבצות.

- **(קנה מידה) קנה מידה אחיד לכל ציר בנפרד**

קנה מידה שאינו אחיד הוא הטעות המהותית ביותר בשרטוט גרף, המרוקנת אותו מכל משמעות. אם קנה המידה אינו אחיד, הקשר הכמותי בין שני משתנים נעשה מעורפל. לא ניתן להסיק מסקנות כמותיות בנוגע לקשר בין המשתנים, כי לא ניתן לקרוא בצורה מהימנה את הערכים של נקודות שונות מהגרף. מבחינה מתמטית: שיפוע הגרף מוגדר כ- $m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$.
אם קנה המידה אינו אחיד: Δy אינו קבוע עבור ערכים קבועים של Δx, ולמעשה תלוי בערכי הנקודות x_1 ו-x_2 עצמן. כלומר: Δy הוא בפועל פונקציה של x (יש לזכור שקנה מידה לא אחיד שקול להתמרה לא לינארית של המשתנה). לא ניתן להסיק מכך מסקנות על השיפוע בפרט או הקשר בין המשתנים בכלל. משכך, תוצאת חישוב השיפוע היא חסרת משמעות.

- **(גרף ידני) סימון ראוי של הנקודות שהועתקו מהטבלה**

מדובר בהמרה בין ייצוג התוצאות בטבלה לייצוג התוצאות בגרף. הקפדה על הכללים בשרטוט קנה מידה (גודל חצי עמוד לפחות, מרווח סביר בין שנתות ראשיות, קנה מדיה אחיד) מבטיח שהצגת התוצאות בגרף יהיו בעלות ערך מדעי ושניתן יהיה להסיק מסקנות כמותיות מתוך הגרף. מצד שני, אי-הקפדה על הכללים בשרטוט קנה מידה עשוי להוביל לכך שהצגת התוצאות בגרף תהייה לא מדויקת במקרה הטוב וחסרת משמעות במקרה הרע, ועל

כן ניתן להבין מדוע הניקוד לחלק זה מותנה בקנה מידה אחיד. ללא קנה מידה אחיד – אין משמעות לסימון הנקודות.

- **(גרף ממוחשב) כיוון נכון של הגרף**

ברירת המחדל של Excel שהוגדר בעברית היא כיוון חיובי שמאלה של הציר האופקי. הגדרה זו נובעת מכך שעברית קוראים מימין לשמאל, ולכן במקרה של דיאגרמת עמודות עבור משתנה שמי (שנכתב בעברית) – יש היגיון בהצגה זו של הציר האופקי. בפיזיקה אנו לרוב משרטטים גרפי פיזור המתארים קשר בין שני משתנים. מספרים קוראים משמאל לימין ועל כן הורגלנו שהכיוון החיובי של הציר האופקי הוא ימינה.
בגרף שהופק ב-Excel שהוגדר בעברית, יש לבחור בציר הראשי, ללחוץ על המקש הימני בעכבר, לבחור באפשרות "עיצוב ציר", ולבטל את הסימון תיבת הסימון "ערכים בסדר הפוך". אי-הקפדה על הנחיה זו עשוי ליצור חוסר בהירות אצל הקורא (גרף עולה נראה כיורד, וכד').

- **(גרף ממוחשב) בחירת סוג תרשים**

כאמור, בפיזיקה לרוב משרטטים גרף פיזור המתאר קשר בין שני משתנים. בחירת סוג התרשים אינה נוגעת רק לגרף פיזור עצמו (להבדיל מגרף עמודות, עוגה וכד') אלא גם לעיצוב של גרף הפיזור. ב-Excel יש מגוון אפשרויות לשרטוט גרף פיזור, שברובן ישנם קווים (ישרים או עקומים) המחברים בין נקודות המדידה. קווים אלה הם חסרי ערך מבחינה מדעית. יש להימנע משרטוטם ולבחור בהצגת הנקודות בלבד. לקו המגמה שמור התפקיד של תיאור הקשר בין המשתנים.

- **קו המגמה הוא קו העובר בקרבת כל הנקודות כך שהן מפוזרות במרווח כולל שווה מעליו ומתחתיו**

קו המגמה אמור לתאר בצורה הטובה ביותר את הקשר בין המשתנים. במדידות עצמן ייתכנו אי-וודאויות אקראיות שמקהות את הקשר בין המשתנים. קו המגמה אמור לשקלל אי-וודאויות אקראיות אלה, שמטבען לפעמים גורמות לערך נמדד גבוה מהערך האמיתי ולפעמים נמוך ממנו. על כן חשוב להקפיד שתוצאות המדידות תהיינה מפוזרות במרווח שווה מעל קו המגמה ומתחתיו. מעבר לכך, ניתן להבין מדוע הניקוד לקו המגמה מותנה בקנה מידה אחיד ובשרטוטו עם סרגל. אם קו המגמה אינו ישר או אם קנה המידה אינו אחיד – אין כל משמעות לנקודות בהן עובר קו המגמה.
יש לציין שחשוב מאוד להפעיל שיקול דעת בשרטוט קו המגמה, במיוחד בגרפים ממוחשבים (בהם אין אוטונומיה לתלמיד בשרטוט קו המגמה, Excel מבצע חישוב מתמטי למציאת הקו הישר שסכום ריבועי מרחקי המדידות ממנו הוא מינימלי, ללא כל יכולת התערבות של

התלמיד). ייתכנו מדידות שחורגות מתחום הלינאריות בין שני המשתנים, והדבר עשוי להשפיע על קו המגמה ולפגוע קשות ביכולת להסיק מסקנות באמצעותו.

<u>דגשים דידקטיים והמלצות להוראה בכיתה</u>

1) גרפים בפיזיקה הם לא אובייקט מתמטי גרידא, אלא דרך ויזואלית להצגת ממצאי ניסוי. לגרפים יש חשיבות מדעית רבה בהצגת תוצאות והסקת מסקנות. משכך, אנו ממליצים לחדד לתלמידים את החשיבות של שרטוט גרף על פי ההנחיות לעיל. אנו מאמינים שחשוב להדגיש לתלמידים ש"ניראות" של גרף היא חלק מהותי ובעלת ערך מבחינה מדעית, ולא רק עניין טכני וחסר חשיבות. שני גרפים יכולים להיות שקולים מבחינה מתמטית (מבחינת הגדרת קנה המדיה והשיעורים של כל נקודה) אך בעלי ערך מדעי שונה בתכלית, כתוצאה מהקפדה או אי-הקפדה על ההנחיות לשרטוט גרף, כפי שיומחש בדוגמאות הבאות.

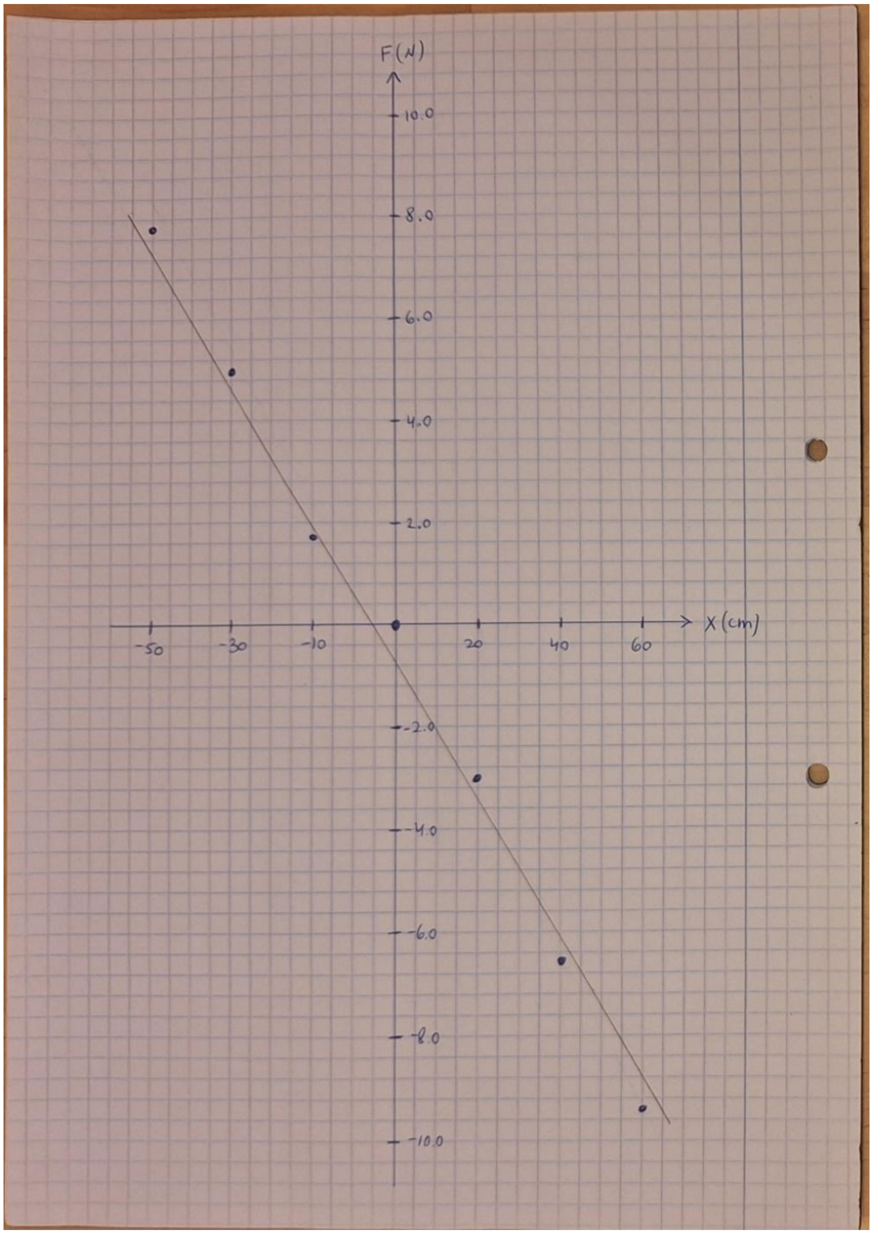
2) אנו ממליצים ללמד את התלמידים לתכנן את קנה המידה של הגרף אותו הם מתבקשים לשרטט לפני השרטוט. יש להתבונן בצורה הוליסטית על ממצאי הניסוי ולהבין מהו תחום קנה המידה הדרוש להצגת הממצאים בגרף, ובפרט יש לקחת בחשבון (במידת הצורך) את נקודות החיתוך של קו המגמה עם הצירים. כלומר, יש לתכנן קנה מידה כזה שיאפשר שרטוט של חיתוך קו המגמה עם הצירים. לאחר מכן יש להתבונן בכמות המשבצות שניתן להשתמש בהן בכל ציר, ולתכנן בהתאם את קנה המידה – מה הערך של כל שנת ראשית, כמה משבצות תהיינה בין שנתות ראשיות, ובחירת ערכים הגיוניים כך שניתן יהיה לקבוע מה הערך של כל נקודה.

3) תיכנון נכון של קנה מידה לוקח זמן רב וניסיונות רבים. כך גם עלה בניתוח תשובות התלמידים לבחינות הבגרות – כמות גדולה של דפי טיוטה הושקעו בסרטוט הגרף ורוב הנבחנים הגישו כתשובה את הגרף השלישי ששרטטו לכל הפחות. על מנת לחסוך זמן ומאמץ מיותרים, במיוחד בשרטוט גרף שמלכתחילה דורש זמן ומאמץ רבים, אנו מאמינים שמומלץ להנחות את התלמידים לשרטט גרפים בשלבים הדרגתיים: ראשית, תכנון של קנה המידה בהתאם לגודל הדף ובהתאם לתוצאות הניסוי; שנית, שרטוט הצירים וקנה המידה <u>בעפרון</u>, בכדי לאפשר שינויים ועריכות; לאחר מכן, מומלץ לעבור על הצירים וקנה המידה <u>בעט</u>; לאחר שהצירים וקנה המידה סומנו בעט, ניתן לשרטט את הנקודות מהטבלה ואת קו המגמה <u>בעפרון</u> כך ששינויים ועריכות שלהם לא ישפיעו על קנה המידה והצירים. כדאי להדגיש לתלמידים שבבחינת הבגרות מותר להשתמש בעפרון לשרטוטים בלבד, **שרטוט גרף עונה על הגדרה זו**. התלמידים רשאים לשרטט גרף בעפרון בבחינות הבגרות, אם יבחרו לעשות כן.

4) מורים צריכים לתת את הדעת לכך שדפי מחברת הבחינה בבחינת הבגרות אינם זהים למחברות משובצות רגילות שברשות התלמידים בלמידתם לאורך השנה. דף מחברת משובצת סטנדרטית מכיל משבצות שצלע כל אחת מהן היא באורך 0.5 סנטימטר. דפי מחברת הבחינה בבגרויות מכילים משבצות שצלע כל אחת מהן היא באורך 0.25 אינץ' (כ-0.64 סנטימטר). המשמעות היא שבמחברת הבחינה צלע כל משבצת גדולה בכ-30% ושטח כל משבצת גדול בכ-65% מהמשבצות שהתלמידים הורגלו אליהם. בנוסף, עקב השוליים הרחבים של מחברת הבחינה בבגרויות, גודל הדף הוא 42×25 משבצות.
הבדלים אלה עשויים להשפיע על יכולות התלמידים לתכנן בהתאם את הגרף, שכן מאפייני הדף שונים באופן מהותי ממה שהתלמידים הורגלו אליו. אנו ממליצים מאוד להרגיל את התלמידים לשרטט גרף על גבי דפים התואמים בצורה טובה יותר את מחברות הבחינה בבגרות. בקישור המצורף ניתן להכין קובץ PDF של נייר משבצות בממדים שונים ובפיזור שונה (הניתנים לבחירה), מעוצב בהתאמה אישית, כך שיתאים יותר למחברות הבחינה בבגרויות.

5) בהמשך הנספח נציג 8 דוגמאות לשרטוט גרפים תוך אי-הקפדה על ההנחיות לשרטוט גרף. לכל דוגמא מצורף ניתוח מפורט של הליקויים בגרף וההשפעה של אי-ההקפדה על ההנחיות בתפקידו של הגרף בדיווח ממצאי ניסוי וביכולת הסקת מסקנות, והן הניקוד שמגיע לתשובה שכזו כל פי ההצעה למפתח הערכה. כל הדוגמאות לקוחות משאלות שרטוט גרף בבחינות הבגרות הנוכחיות (שאלה 5 בבגרות מכניקה; שאלה 1 בבגרות בחשמל; שאלה 8 בבגרות בשאלון חקר).
אנו מציעים למורים להשתמש בדוגמאות אלה בהוראתם. הצעה לפעילות: ניתן להציג את הגרפים לתלמידים בכיתה ולהגדיר את המשימות הבאות: (א) לציין את כל הליקויים בכל גרף; (ב) להסביר כיצד אי-הקפדה על ההנחיות משפיעה על השגת המטרות שבשרטוט גרף; (ג) לנקד את הגרף על פי ההצעה למפתח הערכה; (ד) להציע הצעות לשיפור הגרף.
במידת הצורך, ניתן להיעזר בחוברת הבניית מיומנויות בשרטוט גרפים.

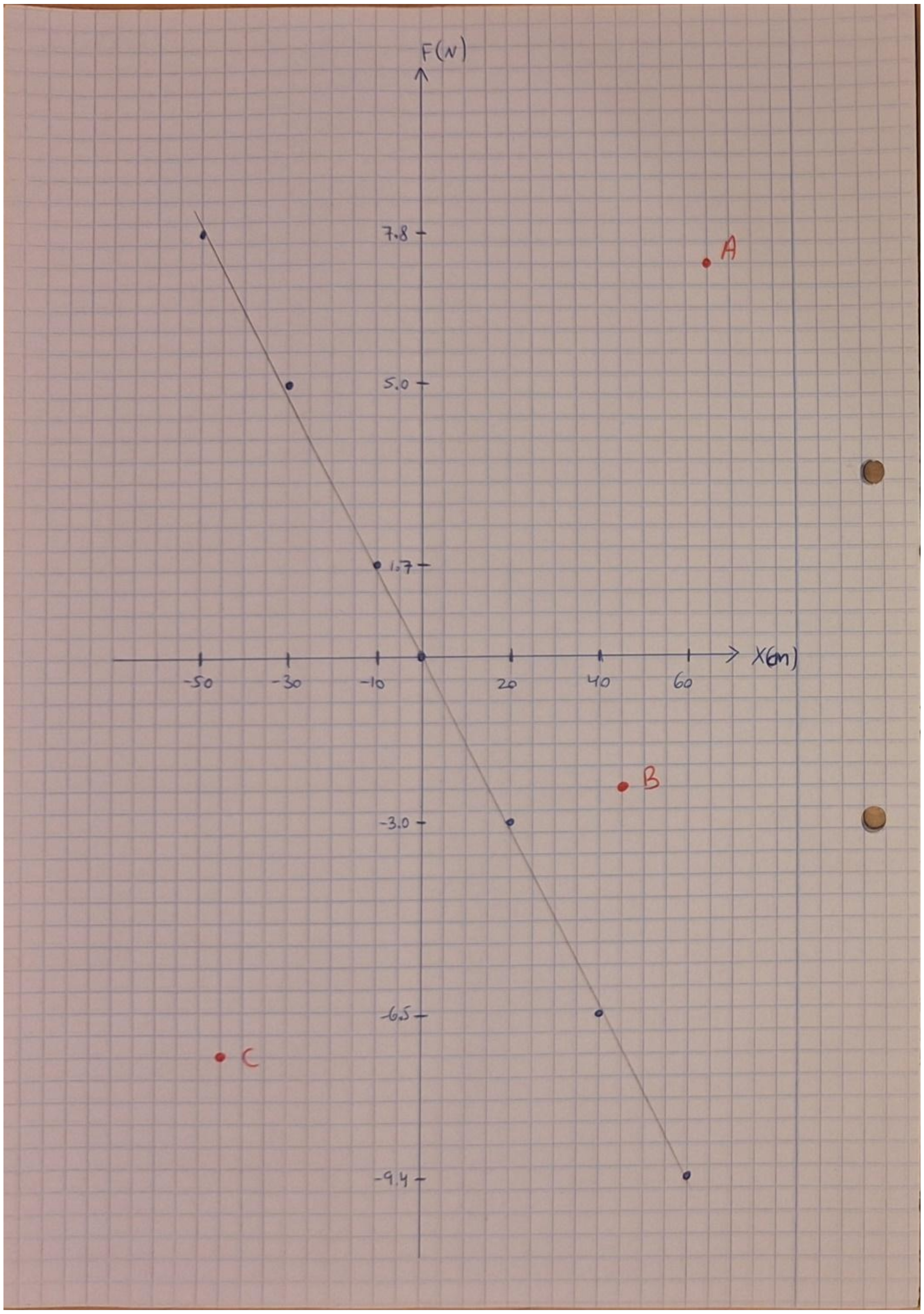
דוגמא 1 (בהתייחס לשאלה 5 בבגרות במכניקה)



תבנית המענה של דוגמא זו עלתה פעמים רבות בתשובות הנבחנים לבחינת הבגרות. ניתן לראות שקנה המידה בציר האופקי אינו אחיד! בצידו החיובי ההפרש בין שנתות ראשיות מייצג $20cm$, ובצידו השלילי ההפרש בין שנתות ראשיות מתחיל מ-$10cm$ וממשיך ל-$20cm$.

מבחינה מדעית, אין כל משמעות לקו המגמה או לסימון הנקודות. הגרף לא מייצג את הקשר בין המשתנים ובלתי אפשרי להסיק ממנו מסקנות כלשהן. על פי ההצעה למפתח הערכה, גרף זה גרף זה יקבל רק 10% מהניקוד, בגין ההורדות הבאות: 20% עבור היותו של קנה המידה לא אחיד; 40% עבור סימון הנקודות מהטבלה ו-30% עבור סימון קו המגמה (מותנים בקנה מידה).

דוגמא 2 (בהתייחס לשאלה 5 בבגרות במכניקה)



גם תבנית המענה של דוגמא זו עלתה פעמים רבות בתשובות הנבחנים לבחינת הבגרות. בגרף זה קנה המידה אומנם נקבע "מאחורי הקלעים" באופן אחיד אך הוא סומן בצורה לא אחידה, אלא בצורה שתואמת את ערכי המדידות שהוצגו בטבלה. דרך הצגה זו אינה ההצגה המקובלת לקשר בין שני משתנים, והיא מקשה על הקורא להבין את המוצג בגרף. מעבר לכך, קשה מאוד לדעת מהם ערכי הנקודות של קווי הרשת. לצורך המחשה: בגרף סומנו 3 נקודות שרירותיות A, B ו-C.

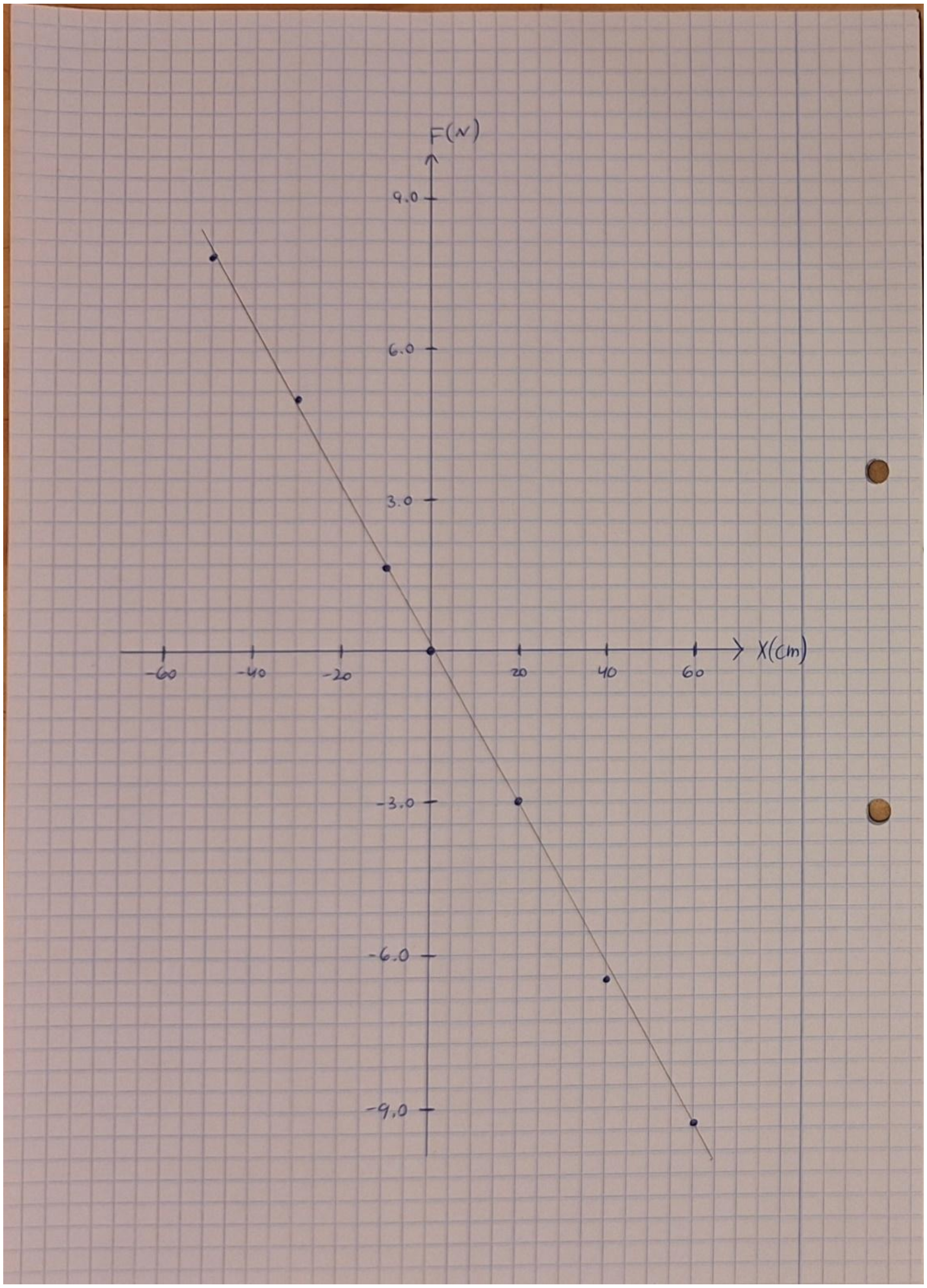
נשאל את עצמנו: מהם השיעורים של כל נקודה? מחשבה קצרה על שאלה פשוטה זו מלמדת שלענות עליה היא משימה לא קלה בכלל, וייתכן אף שדרכי מענה שונות יובילו לתשובות שונות (כתלות ברמת הדיוק של קנה המידה, שכאמור שורטט בהתעלם מקווי הרשת). כיצד אם כן הגרף משרת את מטרותיו אם כ"כ קשה לדעת מהן שיעורי נקודות שונות על קווי הרשת? בפרט, מציאת שיעורי נקודות מתוך קו המגמה לצורך חישוב שיפועו היא משימה קשה באופן מיוחד, שלבטח תניב תוצאה לא מדויקת.

מעבר לכך, גילוי נאות: שרטוט הגרף בדוגמא זו דרש <u>זמן ומאמץ רבים יותר</u> מאשר שרטוט הגרף התקין שהוצג בגוף המסמך. למרות זאת, דרך מענה זו נפוצה בבחינות הבגרות. הדבר ממחיש עד כמה תיכנון מוקדם של קנה המידה יכול להועיל לנבחנים ולסייע להם ליצור גרפים טובים יותר שיכולים לזכות אותם בניקוד רב יותר.

מבחינה מדעית, גרף זה עושה עבודה לקויה מאוד בהצגת הקשר בין המשתנים. קשה מאוד להסיק ממנו מסקנות כמותיות. ניתן להסיק מסקנות איכותניות בלבד על אודות הקשר בין המשתנים, ורק אחרי שהקורא ווידא שקנה המידה אכן אחיד.

על פי ההצעה למפתח הערכה, גרף זה יקבל רק 30% מהניקוד, בגין ההורדות הבאות: 40% עבור סימון הנקודות מהטבלה ו-30% עבור סימון קו המגמה (מותנים בקנה מידה, שאינו נכון).

<u>דוגמא 3 (בהתייחס לשאלה 5 בבגרות במכניקה)</u>



בדוגמא זו קנה המידה אומנם אחיד, וסומן בצורה אחידה, אך הבחירה בין השנתות הראשיות למשניות <u>אינה סבירה</u>. בציר האנכי נקבע שכל 7 משבצות מייצגות $3.0N$, והדבר מקשה מאוד על סימון הנקודות בצורה מדויקת ככל הניתן ועל קריאה של נקודות מהגרף (גם בגרף זה ניתן לסמן נקודות שרירותיות על קווי הרשת ולשאול מהם שיעוריהן. נגלה שאלא אם הנקודות סומנו

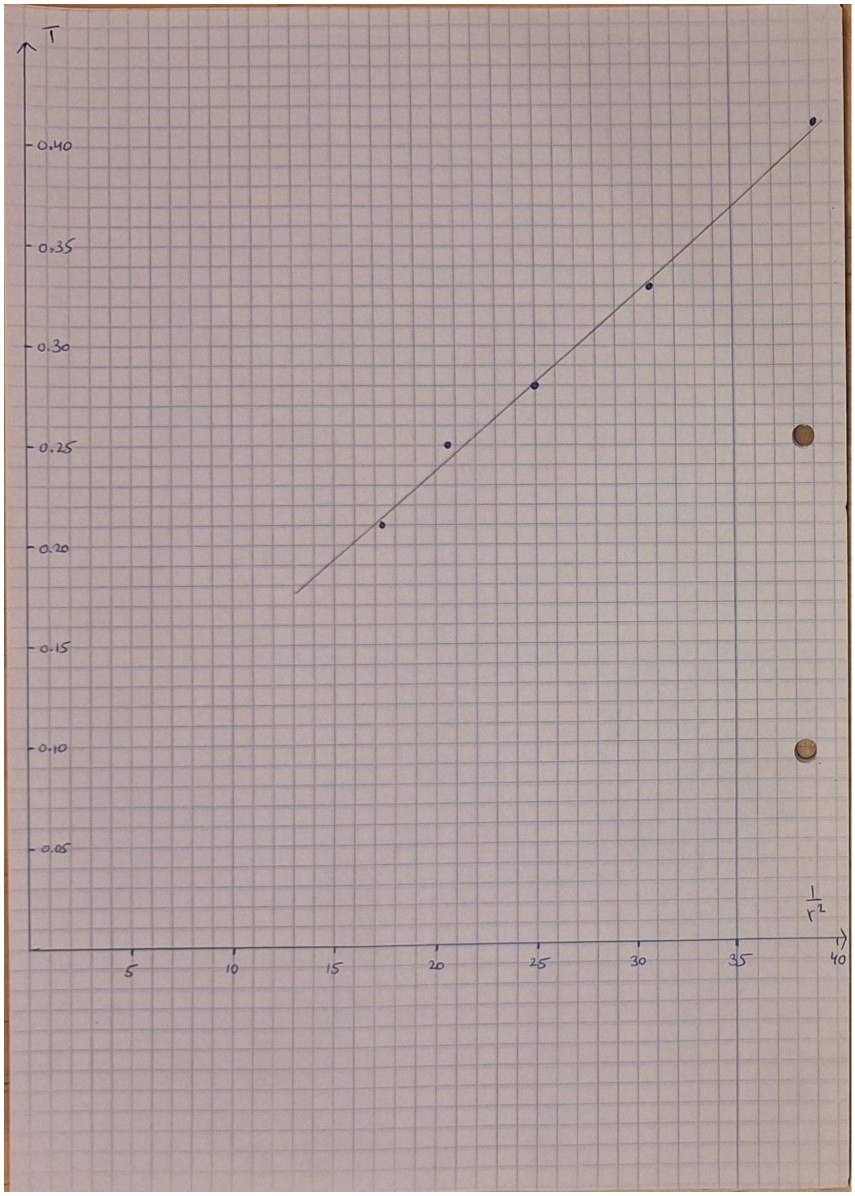
במקרה בדיוק על השנתות הראשיות, מציאת שיעוריהן בצורה מדויקת דורשת חישובים מורכבים, והיא לבטח תניב תשובה מקורבת בלבד בהתחשב בספרות המשמעותיות). זוהי אינה הדרך המקובלת להציג ממצאים מדעיים. בפרט, מציאת שיעורי נקודות מתוך קו המגמה לצורך חישוב שיפועו היא משימה מאתגרת.

גילוי נאות: שרטוט הגרף גם בדוגמא זו דרש זמן ומאמץ רבים יותר מאשר שרטוט הגרף התקין שהוצג בגוף המסמך, ואפילו יותר מאשר הדוגמא הקודמת, ובמיוחד בסימון הנקודות מהטבלה. זאת למרות שחל שיפור קל בקנה המידה בהשוואה לדוגמא הקודמת, בכך שהוא מוצג באופן אחיד. הדבר ממחיש עד כמה תיכנון מוקדם של קנה המידה יכול להועיל לנבחנים ולסייע להם ליצור גרפים טובים יותר שיכולים לזכות אותם בניקוד רב יותר.

מבחינה מדעית, בחירה לא סבירה של קנה המידה מקשה על הסקת מסקנות כמותיות מתוך הגרף (למרות שאפשר, נדרשים מאמצים רבים יותר מאשר גרף תקין). ניתן להסיק מסקנות איכותיות משום שניתן להבחין שקנה המידה אחיד.

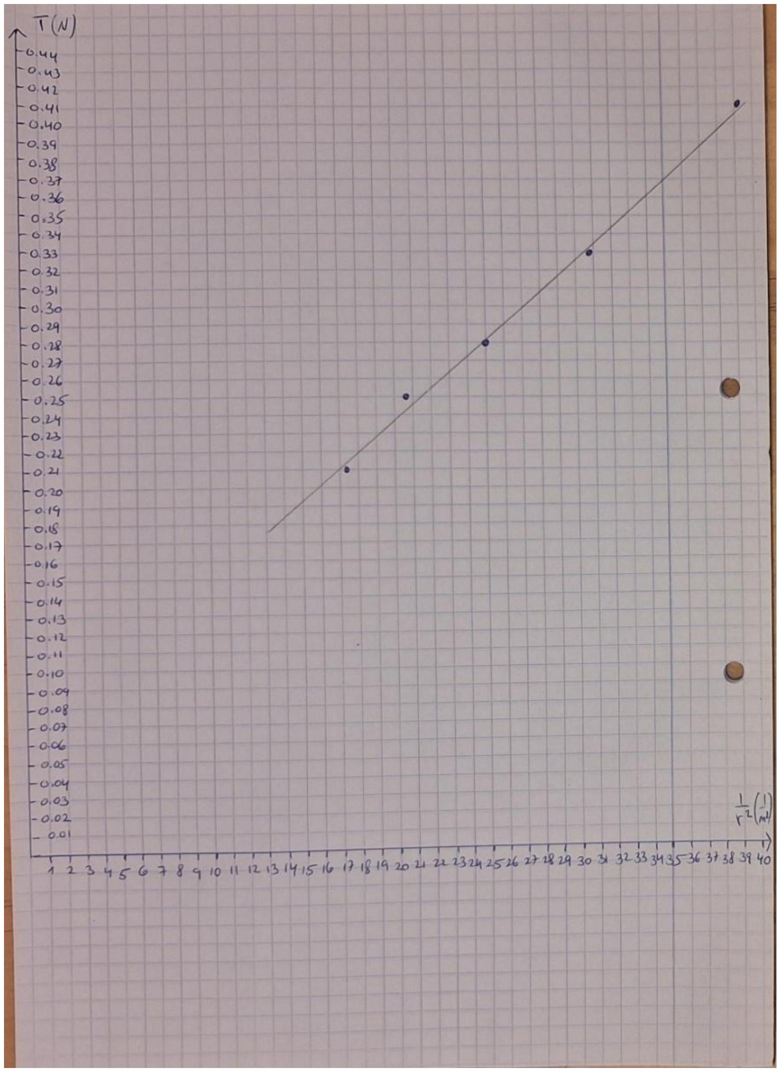
על פי ההצעה למפתח הערכה, גרף זה יקבל 60% מהניקוד, בגין הורדה של 40% עבור סימון הנקודות מהטבלה. יש לשים לב שלמרות שקנה המידה אחיד, אין משמעות לסימון הנקודות מהטבלה שכן שיעוריהם ומיקומם במערכת צירים מחושבים במנותק מקנה המידה, ועל כן אין לתת נקודות על רכיב זה.

דוגמא 4 (בהתייחס לשאלה 1 בבגרות בחשמל ומגנטיות)



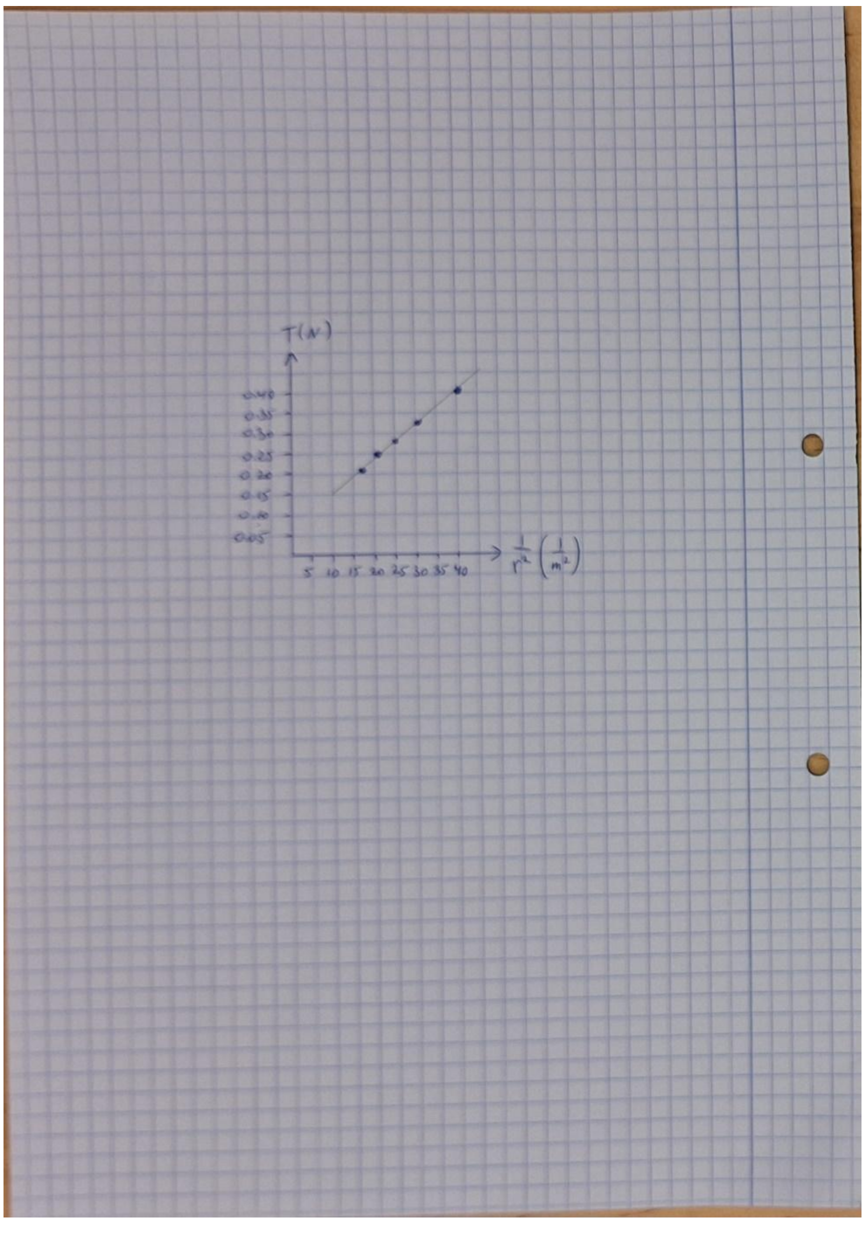
בדוגמא זו לא סומנו יחידות מידה בכל אחד מהצירים. בהקשר בחינת הבגרות, ברור שמדובר בטעות טכנית שככל הנראה נעשתה בתום לב, ועל כן הניקוד לגרף זה יחסית גבוה. אך יש לשים לב שמחוץ להקשר בחינת הבגרות, לא ניתן להסיק כלל מסקנות כמותיות מתוך הגרף, שכן לא ניתן לדעת מה הערכים המספריים מייצגים (כאמור, אין יחידות!). על כן, מבחינה מדעית ערכו של גרף זה מוגבל מאוד. ניתן להסיק מסקנות איכותניות בלבד, לא ניתן להסיק כלל מסקנות כמותיות. על פי ההצעה למפתח הערכה, גרף זה יקבל 80% מהניקוד, בגין הורדה של 20% עבור סימון כותרות הצירים. עם זאת יש לציין שמחוץ להקשר של שאלה, שבו המעריך יודע מה התשובה המצופה (כמו למשל, בדו"ח מעבדה או בפרויקט מחקרי), גרף זה כמעט חסר-ערך.

דוגמא 5 (בהתייחס לשאלה 1 בבגרות בחשמל ומגנטיות)

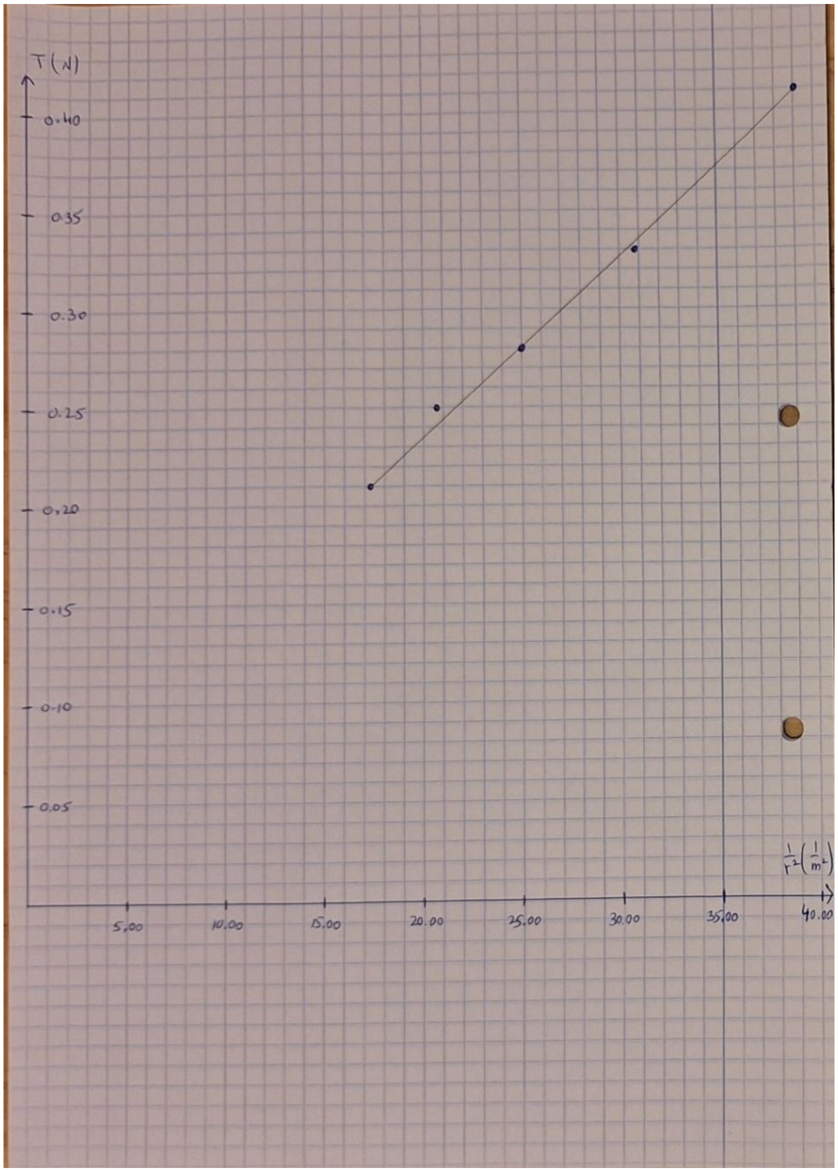


מבחינה מתמטית, גרף זה והגרף בדוגמא הקודמת, והן הגרף שהוצג כתשובה בגוף המסמך, זהים לחלוטין. קנה המידה הוגדר בדיוק באותו אופן ($5\frac{1}{m^2}$ לכל 5 משבצות אופקיות; $0.05N$ לכל 5 משבצות אנכיות). למרות זאת, הגרפים שונים מבחינה מדעית. גרף זה מציג 40 שנתות ראשיות בכל ציר, ללא שנתות משניות. זו אינה הדרך המקובלת להצגת נתונים (ישנם תלמידים שחושבים ששנתות ראשיות הן שנתות במרווח של משבצת אחת זו מזו). באופן ויזואלי גרף זה עושה עבודה לקויה בהצגת ממצאים מדעיים, שכן כל קווי הרשת בדף קיבלו מעמד של שנת ראשית. (כמשל: מרוב עצים, לא רואים את היער). תפקידו של גרף הוא להציג את הנתונים ממעין מבט-על וליצור הכללה בין המשתנים. גרף זה אינו מסייע במטרה זו. על פי ההצעה למפתח הערכה, גרף זה יקבל 80% מהניקוד, בגין הורדה של 20% עבור סימון ערכים של שנתות ראשיות במרווחים של לפחות 2 משבצות בין שנת ראשית אחת לשנת העוקבת.

הדוגמא שהובאה ממחישה את הבעייתיות שבסימון שנתות ראשיות בהפרש של משבצת אחת ללא ליקויים נוספים, עם זאת חשוב לציין שבבחינות הבגרות תשובות עם טעות אופיינית זו מלוות ברוב המוחלט של המקרים בליקויים נוספים, שהמרכזי שבהם הוא גודל הגרף (ראו תרשים). גרף שסומן עם שנתות ראשיות בקנה מידה סביר אך במשבצת אחת המפרידה בין כל שנת ראשית יהיה קטן במידה ניכרת מחצי עמוד, וזו הבעיה המרכזית בו, ולא הסימון הלקוי של השנתות הראשיות. הניקוד עבור גרפים אלה קטן בהרבה: על פי ההצעה למפתח הערכה, גרפים שכאלה יקבלו רק 10% מהניקוד, בגין ההורדות הבאות: 20% עבור סימון ערכים של שנתות ראשיות במרווחים של לפחות 2 משבצות בין שנת ראשית אחת לשנת העוקבת; 40% עבור סימון הנקודות מהטבלה ו-30% עבור סימון קו המגמה (מותנים בקנה מידה, שאינו נכון).



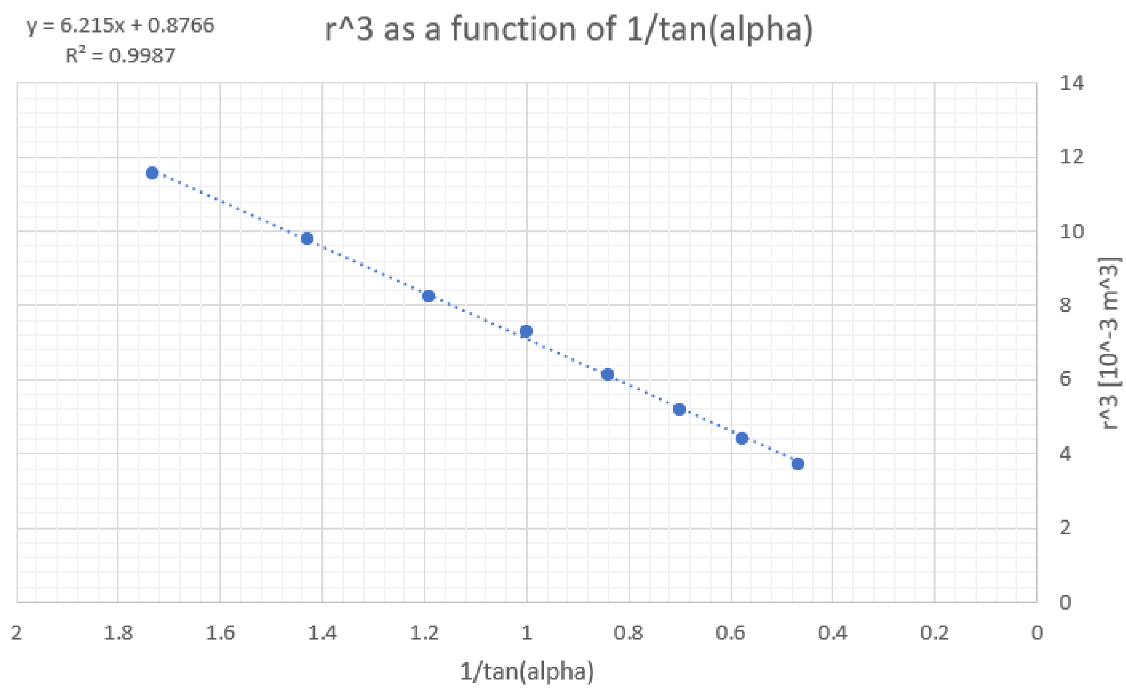
דוגמא 6 (בהתייחס לשאלה 1 בבגרות בחשמל ומגנטיות)



במבט חטוף, גרף זה נראה תקין לחלוטין. אך התבוננות מעמיקה מראה שקו המגמה שורטט בהתעלם מהמדידות, והוא פשוט הקו המחבר בין שתי המדידות הקיצוניות ביותר. קו מגמה שכזה אינו משקף את כל ממצאי הניסוי, אלא שתי מדידות בלבד. האינטרפולציה (הסקה על הקשר בין המשתנים בתחום המדידות, עבור ערכים שלא נמדדו ישירות) לקויה לחלוטין ויכולת האקסטרפולציה (הסקה מעבר לתחום המדידות) מוגבלת מאוד. (באופן טבעי עולה התהייה לשם מה התבצעו 5 מדידות אם נלקחו בחשבון רק שתיים מהן לצורך הכללה?). מבחינה מדעית קו המגמה הוא חסר ערך, למרות שמבחינה ויזואלית הוא נראה תקין. על פי ההצעה למפתח הערכה, גרף זה יקבל 70% מהניקוד, בגין הורדה של 30% עבור סימון קו המגמה.

<u>דגש דידקטי:</u> הגרף המוצג בדוגמה זו <u>מנותק</u> מהקשר השאלה ומיתר סעיפי השאלה. הגרף שורטט בהתאם לכל ההנחיות מלבד הטעות שתוארה לגבי אופן שרטוט קו המגמה. משכך, מאוד קשה להבחין בטעות זו וקשה לקבוע אם קו המגמה שורטט בתום לב או על פי עקרון שגוי של חיבור שתי המדידות הקיצוניות בקו ישר. עם זאת חשוב לציין שבבחינות הבגרות, המעריכים נחשפים לשאלה <u>בתוך</u> הקשר, תוך קריאת תשובות התלמיד לכל סעיפי השאלה. מעריכי בחינות בגרות מנוסים שמים לב לטעות זו כמעט באופן מיידי. אנו ממליצים להנחות את התלמידים להימנע משרטוט קו מגמה באופן הזה, אלא תוך הקפדה על כללי שרטוט קו מגמה: הקו העובר בקרבת <u>כל</u> הנקודות, עם פיזור שווה של נקודות מעליו ומתחתיו, וששורטט באמצעות סרגל.

דוגמא 7 (בהתייחס לשאלה 8 בבגרות בשאלון חקר)



בגרף זה הציר האופקי מוצג בסדר הפוך. הכיוון החיובי שמאלה. זו אינה הדרך המקובלת להצגת ממצאים, שעשויה לגרום לאי-בהירות. במבט חטוף בקו המגמה נראה שהקשר בין r^3 לבין $\frac{1}{\tan\alpha}$ הוא לינארי יורד, בניגוד למצופה מהתיאוריה.

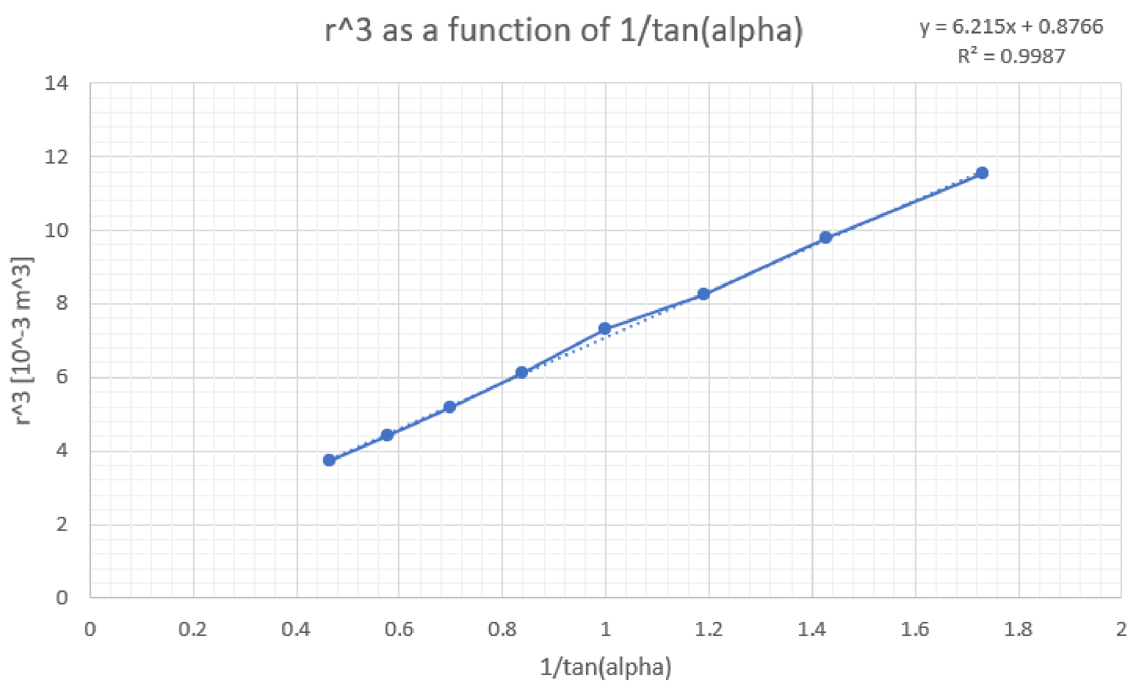
התיקון לליקוי זה בגרף הוא פשוט באופן יחסי, ואינו כרוך בתיקונים נוספים שנגררים מליקוי זה, בהתחשב בהיותו של הגרף ממוחשב. ועל כן אין הצדקה אמיתית להגיש גרף כזה כתשובה.

מעבר לכך, בגרף שכזה עולים הסיכויים שהתלמיד עצמו יפרש את הגרף כגרף יורד, מה שעשוי לפגוע בתשובותיו בהמשך, ולהעיד על חוסר בקרה.

העבודה הדרושה ליצירת גרף ידני משמעותית במידה ניכרת מהעבודה הדרושה ליצירת גרף זה, לכן אין הצדקה להגישו בצורה זו.

על פי ההצעה למפתח הערכה, גרף זה יקבל 80% מהניקוד, בגין הורדה של 20% עבור כיוון שגוי של הגרף.

<u>דוגמא 8 (בהתייחס לשאלה 8 בבגרות בשאלון חקר)</u>



בגרף זה נבחר סוג תרשים שגוי. הקווים המחברים בין המדידות הם חסרי-ערך מבחינה מדעית (זו אינה הדרך המקובלת לבצע אינטרפולציה) ואף מסתירים את קו המגמה. אומנם ניתן להסיק מסקנות כמותיות ממשוואת קו המגמה, שחושבה במנותק מבחירת סוג התרשים, אך בשונה מהדוגמא הקודמת, לא ניתן להסיק מסקנות כמותיות <u>מהגרף עצמו</u>.

גם בדוגמא זו התיקון לליקוי זה בגרף הוא פשוט באופן יחסי, ואינו כרוך בתיקונים נוספים שנגררים מליקוי זה.

על פי ההצעה למפתח הערכה, גרף זה יקבל 80% מהניקוד, בגין הורדה של 20% עבור בחירת סוג התרשים.

נספח ב – הרחבת הרקע העיוני לשאלון חקר

הקשר בין עוצמת השדה המגנטי למרחק מהמגנט ולזווית יחסית לציר המגנט

למידע מורחב על מומנט דיפול מגנטי ניתן לעיין בוויקיפדיה בקישור [1]. בפרט, התלות של עוצמת השדה המגנטי בזווית יחסית לציר המגנט בנקודות שונות במרחב, היא:

$$B_m = \frac{\mu_0 m}{4\pi r^3}\sqrt{1+3\cos^2\theta}$$

במקרה פרטי של נקודות על ציר המגנט, $\theta = 0°$ (בקירוב) והביטוי מצטמצם לנוסחה 1 שנתונה ברקע העיוני בעמוד 8. ניתן להיעזר בקשר זה כדי להעריך עד כמה משמעותית הזווית לשדה המגנטי. ניתן להיווכח שבמערכת הניסוי הנוכחית, עקב עוצמתו הגבוהה באופן יחסי של המגנט, כמעט ואין לזווית השפעה על המדידות. לצורך המחשה: נמצא את הזווית הדרושה על מנת ש-$\sqrt{1+3\cos^2\theta} = 1.99$ במקום 2.00:

$$\sqrt{1+3\cos^2\theta} = 1.99$$

$$1+3\cos^2\theta = 3.96$$

$$\cos\theta = \sqrt{\frac{2.96}{3}} = 0.9933$$

$$\theta = 6.64°$$

כאשר מרחק המגנט ממרכז המצפן הוא r והמגנט "מוסח" במרחק x יחסית לציר, כך שנוצרת זווית θ בין המצפן לבין ציר המגנט, הקשר בין הזווית והמרחקים הוא:

$$\tan\theta = \frac{x}{r}$$

נבחר במדידה בה r הוא הקטן ביותר, בכדי להעריך את מרחק הסטייה x הקטן ביותר שבו תתקבל הזווית שמצאנו:

$$x = r\tan\theta = 0.155 \cdot \tan 6.64° = 0.018m = 1.8cm$$

בהתחשב בכך שרוחב מחזיק הפלסטיק שווה בקירוב למרחק בין הקווים המקבילים, שהם מעט קצרים מקוטר המצפן שהוא $4cm$, ניתן לומר שבניסוי הנוכחי גם אם המגנט היה מודבק לקצה של מחזיק הפלסטיק, לזווית לא הייתה השפעה ניכרת על תוצאות הניסוי. קל וחומר במרחקים גדולים יותר בין המגנט למצפן, ובמיוחד לאור זאת שהמגנט הודבק קרוב למרכז מחזיק הפלסטיק ולא לקצה. לבטח הזווית פחות משפיעה מאשר גורמי אי-הוודאות שקיימים בניסוי.

מומנט דיפול מגנטי

חישוב תיאורטי של מומנט הדיפול המגנטי על פי הוראות היצרן, כפי שהוצג בשאלה 10, נתון לפי הנוסחה $m = \frac{B_r V}{\mu_o}$ (המקור בקישור [2]), כאשר V הוא נפח המגנט. B_r נקרא באנגלית "Remanence" או "Residual Flux Density", והוא נתון בדף המידע של המגנט איתו בוצע הניסוי (קישור [3]). פירוט על המשמעות של המאפיינים המגנטיים השונים ניתן למצוא בקישור [4]. בדף המידע נתונים ממדי המגנט והערך המקסימלי והמינימלי עבור B_r, מומנט הדיפול המגנטי שהוצג בבחינה מחושב על פי הממוצע ביניהם (בהנחה שההתפלגות נורמאלית).

השדה המגנטי של כדור הארץ

ברקע העיוני בעמוד 8 נאמר כחלק מההנחות שיש להניח כי גודל הרכיב האופקי של השדה המגנטי בסביבת הניסוי שווה לממוצע של הרכיב האופקי של השדה המגנטי של כדור הארץ, שגודלו $30\mu T$. באזורים שונים ברחבי הארץ הרכיב האופקי האמיתי של השדה המגנטי עשוי להיות שונה מכך באחוזים ניכרים (ניתן להיעזר באתר NOAA בקישור [5] להערכת השדה המגנטי במקומות שונים), זאת מבלי להזכיר השפעות סביבתיות אחרות שעשויות להשפיע על השדה המגנטי בסביבת ביצוע הניסוי.