ניסוי מספר 2 – נתונים מספריים והערכת שגיאות

מגיש: אבי בנדל, קבוצה 20-1.

מטרת הניסוי: א. לימוד המושגים הבסיסיים בהבנת משמעות המדידה הכמותית.
ב. לימוד הטיפול בשגיאות נגררות

מהלך הניסוי: א. הניסוי כולל החלקה של עגלה מעל מסלול משופע כמעט חלק.
ב. העגלה תעבור דרך שער פוטואלקטרי שמחובר למחשב, שימדוד את זמני מעבר העגלה בשער.
ג. בעזרת הגיליון האלקטרוני נחשב את הגדלים הסטטיסטיים המתאימים ונבנה היסטוגרמה.
ד. ההשערה היא שהתפלגות המדידות היא גאוסיאנית, ובעזרת התפלגות זו נשווה את המדידיות שלנו לערכים התיאורטיים הצפויים.

שאלות הכנה:

1. כיצד מחשבים את המהירות הממוצעת של העגלה מידיעת משך הזמן שהיא עוברת דרך השער?

הגדרת המהירות הממוצעת: $<v>\equiv\dfrac{x_2-x_1}{t_2-t_1}$. במקרה שלנו, t_2-t_1 נמדד ע"י המחשב והשער.

מתפקוד השער נסיק שהגודל x_2-x_1 הוא בעצם אורך העגלה ℓ. קיבלנו $<v>=\dfrac{\ell}{t_2-t_1}$

2. מהחוק השני של ניוטון, תאוצת העגלה היא $a=g\sin\alpha$.

ידועה נוסחת הקינמאטיקה: $x(t)=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$, ולכן לאחר שהעגלה עברה מרחק של s, נחשב את הזמן שעבר: $t_1=\sqrt{\dfrac{2s}{g\sin\alpha}} \quad \Leftarrow \quad s=\cancel{x_0}+\cancel{v_0t_1}+\dfrac{1}{2}g\sin\alpha t_1^2$.

באותו אופן, נחשב את t_2 לאחר שחרטום העגלה גמע מרחק של $s+\ell$: $t_2=\sqrt{\dfrac{2(s+\ell)}{g\sin\alpha}}$

ולכן המהירות הממוצעת התיאורטית: $<v>=\dfrac{\ell}{t_2-t_1}=\dfrac{\ell}{\sqrt{\dfrac{2(s+\ell)}{g\sin\alpha}}-\sqrt{\dfrac{2s}{g\sin\alpha}}}$

3. מקורות לשגיאות שיטתיות:
א. תקלות בציוד המדידה: שער פוטואלקטרי תקול, מסלול לא תקין, וכו'. לפני התחלת הניסוי נוודא את תקינות הציוד המכאני והאלקטרוני שיהיה בשימושנו.
ב. שגיאות מדידת מרחקים: כל המדידות שלנו נעשות באמצעות סרגל בעל שנתות של $1mm$, ולכן טעות המדידה שלנו תהיה במקרה זה $\pm0.5mm$.
ג. הזנחת כוחות חיכוך: כוחות חיכוך יסיטו את המדידות שלנו מהערכים התיאורטיים שחושבו בהנחה שלא קיים חיכוך כלל.

4. א. הפונקציה $F=xy$, ולכן $\dfrac{\partial F}{\partial y}=x$, $\dfrac{\partial F}{\partial x}=y$. ע"פ משוואה (10):

$$\delta F=\sqrt{\left|\frac{\partial F}{\partial x}\delta x\right|^2+\left|\frac{\partial F}{\partial y}\delta y\right|^2}=\sqrt{|y\delta x|^2+|x\delta y|^2}$$

ולכן $\dfrac{\delta F}{F}=\dfrac{\sqrt{|y\delta x|^2+|x\delta y|^2}}{xy}=\sqrt{\dfrac{(y\delta x)^2+(x\delta y)^2}{x^2y^2}}=\sqrt{\left(\dfrac{\delta x}{x}\right)^2+\left(\dfrac{\delta y}{y}\right)^2}$.

ב. הפונקציה $F=\dfrac{x}{y}$, ולכן $\dfrac{\partial F}{\partial y}=-\dfrac{x}{y^2}$, $\dfrac{\partial F}{\partial x}=\dfrac{1}{y}$. ע"פ משוואה (10):

$$\delta F=\sqrt{\left|\frac{\partial F}{\partial x}\delta x\right|^2+\left|\frac{\partial F}{\partial y}\delta y\right|^2}=\sqrt{\left|\frac{\delta x}{y}\right|^2+\left|-\frac{x}{y^2}\delta y\right|^2}=\sqrt{\left(\frac{\delta x}{y}\right)^2+\left(\frac{x}{y^2}\delta y\right)^2}$$

ולכן $\dfrac{\delta F}{F}=\sqrt{\dfrac{y^2}{x^2}\left[\left(\dfrac{\delta x}{y}\right)^2+\left(\dfrac{x}{y^2}\delta y\right)^2\right]}=\sqrt{\dfrac{(\delta x)^2y^2}{y^2x^2}+\dfrac{(\delta y)^2x^2y^2}{y^4x^2}}=\sqrt{\left(\dfrac{\delta x}{x}\right)^2+\left(\dfrac{\delta y}{y}\right)^2}$.

ניסוי מספר 3 – תנועה במישור משופע

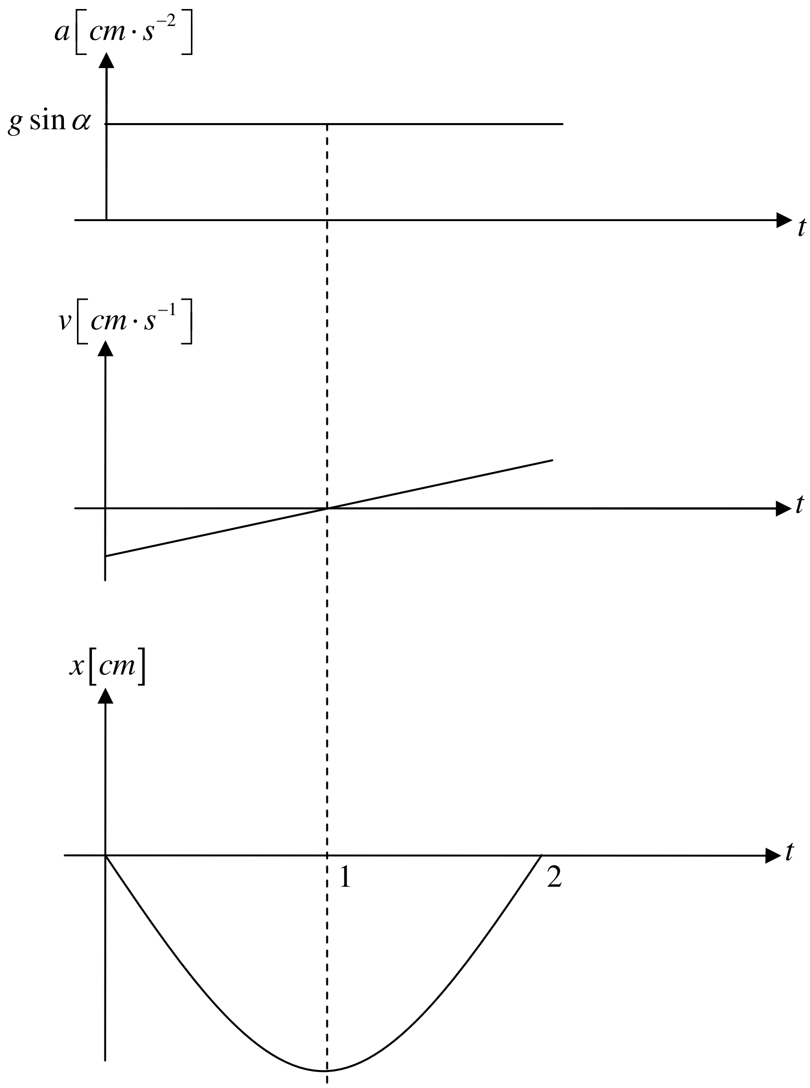
מגיש: אבי בנדל, קבוצה 20-1.

מטרת הניסוי:
א. חקירת תנועה במישור משופע עם חיכוך מינימאלי.
ב. ללמוד כיצד מודדים מהירות רגעית.
ג .חישוב התאוצה במישור משופע בדרכים שונות והשוואת התוצאות לתיאוריה.

מהלך הניסוי:
א. נשתמש בעגלה ע"ג מסלול אוויר משופע, כמו בניסוי 2, אך נשתמש ברצועת המיילר וגלאי KRUZE במקום השער הפוטואלקטרי.
ב. נגרום לעגלה לעלות ולרדת על המישור המשופע, תוך כדי שהיא עוברת בגלאי.
ג. נעבד את הנתונים: נחשב מהירות רגעית ע"י "גזירת" ההעתק , נחשב תאוצה רגעית ע"י "גזירת" המהירות שחישבנו; נחשב את התאוצה מתוך רגרסיה של המהירות שחישבנו; את התאוצה מתוך רגרסיה של נתוני ההעתק שמדדנו; נשווה בין כל השיטות ובין הערכים התאורטיים הצפויים.

גרפים צפויים: הגרפים משאלת הכנה 1.

שאלות הכנה:
.1



2. א. תאוצת הגוף: $a=g\sin\alpha=g\dfrac{h}{L}$. עבור $h/L=0.02$: $a=0.02g=19.6\left[\dfrac{cm}{s^2}\right]$

ב. מהירות הגוף לאחר שעבר מרחק של x ס"מ:

$$mg\left(x\sin\alpha\right)=\frac{1}{2}mv^2$$

$$v=\sqrt{2gx\frac{h}{L}}$$

ועבור $h/L=0.02,\ \ x=5[cm]$ נקבל: $v=\sqrt{0.2g}\approx 14\left[cm\cdot\sec^{-1}\right]$

3. א.

$$\delta x=\sqrt{\left(\delta x_1\right)^2+\left(\delta x_2\right)^2}=\sqrt{\left(0.125\right)^2+\left(0.125\right)^2}=0.176776695$$

$$\frac{\delta v}{v}=\sqrt{\left(\frac{\delta x}{x}\right)^2+\left(\frac{\delta t}{t}\right)^2}=\sqrt{\frac{0.03125}{\Delta x^2}+\frac{\delta t^2}{\Delta t^2}}\le 2\%$$

אם נניח שהשגיאה במדידת הזמן זניחה, אז:

$$\frac{\sqrt{0.03125}}{\Delta x}\le 0.02$$

$$\Delta x\ge 8.84[cm]$$

ב. עבור $\Delta x=9[cm]$, ומהירות מסדר גודל של $v=14\left[cm\cdot\sec^{-1}\right]$ נקבל הפרש זמנים של

$$\Delta t=\frac{\Delta x}{v}=0.64[\sec]$$

ג. עבור מרווח דגימה של $T=0.64[\sec]$, נקבל תדר של $f=\dfrac{1}{T}=1.56\left[Hz\right]$

4. נבחר ציר x חיובי במורד המישור המשופע, ומקביל לו.

משוואת התנועה כאשר הגוף נע במעלה המישור המשופע:

$$mg\sin\alpha+\mu mg\cos\alpha=ma_1$$

$$g\sin\alpha+\mu g\cos\alpha=a_1$$

משוואת התנועה כאשר הגוף נע במורד המישור המשופע:

$$mg\sin\alpha-\mu mg\cos\alpha=ma_2$$

$$g\sin\alpha-\mu g\cos\alpha=a_2$$

נפתור שתי משוואות בשני נעלמים:

$$+\begin{cases}g\sin\alpha+\mu g\cos\alpha=a_1\\ g\sin\alpha-\mu g\cos\alpha=a_2\end{cases}\Rightarrow\quad 2g\sin\alpha=a_1+a_2\quad\Rightarrow\quad \sin\alpha=\frac{a_1+a_2}{2g}$$

$$-\begin{cases}g\sin\alpha+\mu g\cos\alpha=a_1\\ g\sin\alpha-\mu g\cos\alpha=a_2\end{cases}\Rightarrow\quad 2\mu g\cos\alpha=a_1-a_2\quad\Rightarrow\quad \mu=\frac{a_1-a_2}{2g\sqrt{1-\sin^2\alpha}}=\frac{a_1-a_2}{2g\sqrt{1-\left(\dfrac{a_1+a_2}{2g}\right)^2}}$$

לסיכום:

$$\alpha=\arcsin\frac{a_1+a_2}{2g}$$

$$\mu=\frac{a_1-a_2}{\sqrt{4g^2-\left(a_1+a_2\right)^2}}$$

ניסוי מספר 4א – חוקי שימור התנע והאנרגיה

מגיש: אבי בנדל, קבוצה 20-1.

מטרת הניסוי: א. חקירת חוקי שימור התנע והאנרגיה בעזרת ניסוי התנגשות
ב. מדידת כוח באופן סטאטי ודינאמי.

מהלך הניסוי: א. ניסוי 4.1: נעקוב אחרי תנועתם של שני גופים מתנגשים במישור.
ב. ניסוי 4.2: נמדוד באופן סטאטי את הכוח המפעיל מגנט כפונקציה של המרחק בין המגנטים, תוך שימוש בגודל כוח הכבידה הידוע מראש.

גרפים צפויים: הגרפים משאלת הכנה 2.

שאלות הכנה:

1. מהירות התחלתית: $v_{1,0}$, $v_{2,0}$; מסות: M_1, M_2 ; העתקים: $x_1(t)$, $x_2(t)$.

א. תנע התחלתי: $\vec{P}_{1,0} = M_1\vec{v}_{1,0}$, $\vec{P}_{2,0} = M_2\vec{v}_{2,0}$ תנע כללי: $\vec{P}_1 = M_1\frac{\vec{x}_1(t_2)-\vec{x}_1(t_1)}{t_2-t_1}$, $\vec{P}_2 = M_2\frac{\vec{x}_2(t_2)-\vec{x}_2(t_1)}{t_2-t_1}$

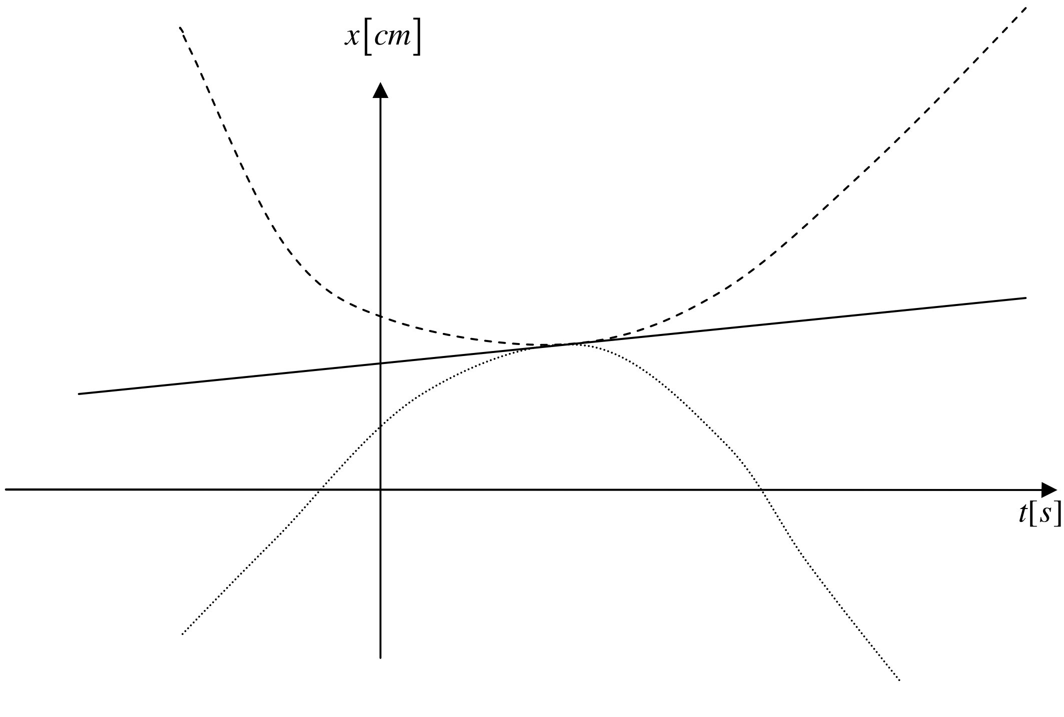
ב. העתק מרכז מסה: $x_{CM} = \frac{M_1\vec{x}_1(t)+M_2\vec{x}_2(t)}{M_1+M_2}$

ג. הכוח הפועל על הגופים: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$, $\vec{F}_2 = M_2 a_2$, $\vec{F}_1 = M_1 a_1$

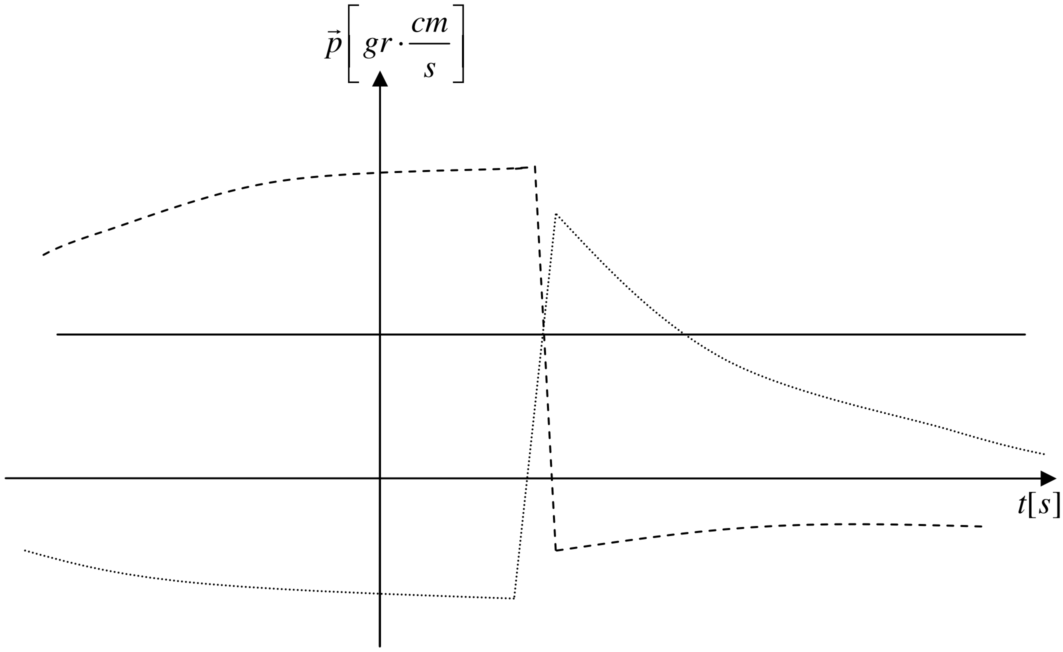
ד. אנרגיה קינטית התחלתית: $K_{1,0} = M_1\left(v_{1,0}\right)^2$, $K_{2,0} = M_2\left(v_{2,0}\right)^2$; אנרגיה כללית: $K_1 = M_1\left(\frac{\vec{x}_1(t_2)-\vec{x}_1(t_1)}{t_2-t_1}\right)^2$, $K_2 = M_2\left(\frac{\vec{x}_2(t_2)-\vec{x}_2(t_1)}{t_2-t_1}\right)^2$

ה. אנרגיה פוטנציאלית מערכתית: $U = -\int_a^b Fdx \quad \Rightarrow \quad F = -\nabla U = -\frac{dU}{dx}$

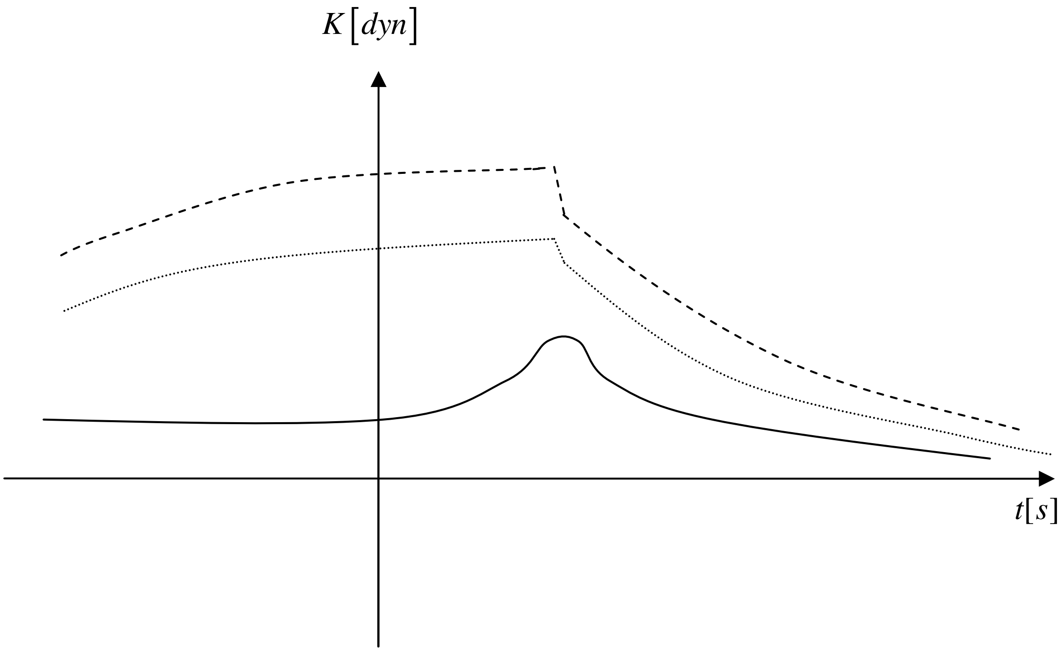
2. א.



ב.



ג.



ניסוי מספר 4ב – החוק השני והשלישי של ניוטון

מטרת הניסוי: א. חקירת חוק II ו III של סיר אייזיק ניוטון;
ב. חקירת הקשר בין כוח לאנרגיה פוטנציאלית;
ג. חקירת הקשר בין מתקף לשינוי בתנע;
ד. חקירת הקשר בין עבודה לשינוי באנרגיה.

מהלך הניסוי: עיבוד נתונים בלבד, מהניסוי 4א.

גרפים צפויים: הגרפים משאלת הכנה 2.

שאלות הכנה:

1. פתרון:

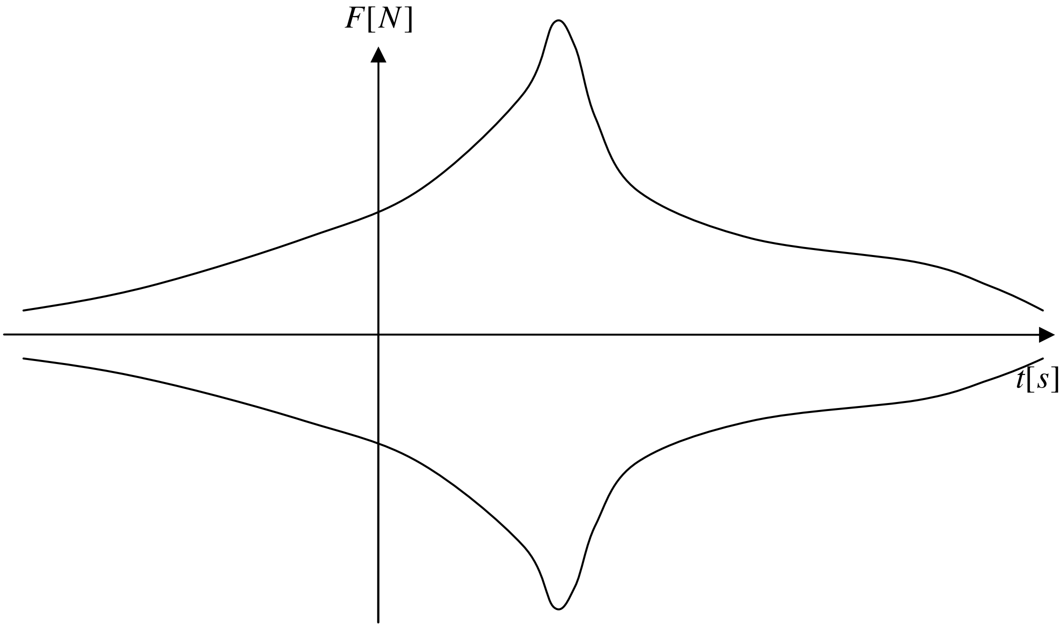
א. הכוח הפועל על כל גוף: $\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$; $\vec{F}_1 = M_1 \cdot \ddot{\vec{x}}_1(t)$

ב. אנרגיה פוטנציאלית: $U(x) - U_0 = -\int_a^x \vec{F}(\tilde{x})\,d\tilde{x} \quad \Rightarrow \quad F = -\dfrac{dU}{dx}$

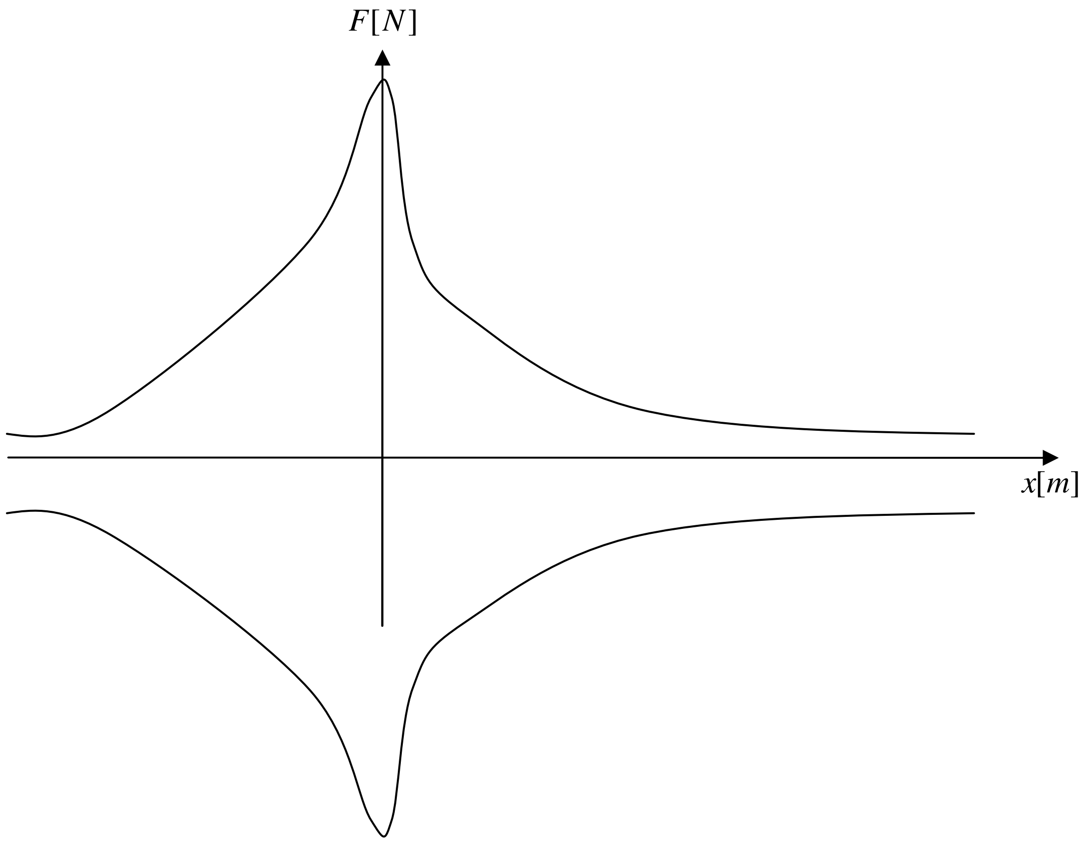
ג. המתקף על גוף 1: $\vec{I}_1 = \Delta\left(M_1 \cdot \dot{\vec{x}}_1(t)\right) = \vec{F}_1 \cdot \Delta t$

ד. העבודה הנעשית על גוף 1: $\int_{-\infty}^{x_0} F(\tilde{x}_1)\,d\tilde{x} = W = \Delta\left(\dfrac{1}{2} M_1 \cdot \left(\dot{\tilde{x}}_1(t)\right)^2\right)$

2. סעיף א



סעיף ב.



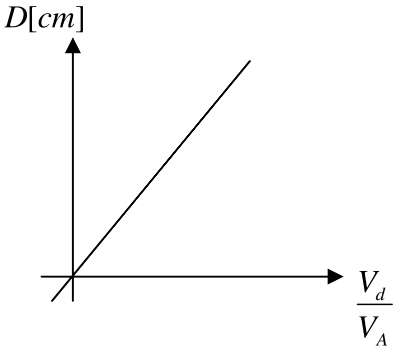
ניסוי מספר 6 – תנועת אלקטרונים בשדה חשמלי

מטרת הניסוי: א. חקירת תנועת אלקטרונים בשדה חשמלי;
ב.הכרת שפופרת קרן קתודה.

מהלך הניסוי: מדידת הסתת אלקטרונים ממסלולם ע"י שדה חשמלי, עבור עוצמות שונות של השדה המסית והמאיץ.

גרפים צפויים:

נצפה לקבל את קשר (8): $D=\alpha\frac{V_d}{V_A}$ ולכן:



שאלות הכנה:

1. נוסחה (7): $D=\frac{1}{2}\frac{\ell(L+\frac{1}{2}\ell)}{d}\cdot\frac{V_d}{V_A}$ ולכן $S\equiv\frac{D}{V_d}=\frac{\frac{1}{2}\frac{\ell(L+\frac{1}{2}\ell)}{d}\cdot\frac{V_d}{V_A}}{V_d}=\frac{\ell(L+\frac{1}{2}\ell)}{2dV_A}$
זו רגישות שתלויה במתח ההאצה V_A, אך לא במטען או מסת החלקיק המואץ.
2. מכיוון שמהירות האלקטרון זהה בשני זוגות הלוחות, כלומר עבור שני זוגות הלוחות V_A זהה, וגם המימדים הגיאומטריים של כל זוג לוחות זהים, רגישות הלוחות תלויים במרחקן מהמרקע – הלוחות שרחוקים יותר מהמרקע בעלי רגישות גדולה יותר.
3. נחלץ מנוסחה (7): $V_d=\frac{2dV_AD}{\ell(L+\frac{1}{2}\ell)}$. נציב מספרים: $V_d=\frac{2\cdot 0.004\cdot 400\cdot 0.03}{0.021(0.125)}=36.6[V]$
4. משימור אנרגיה, $\frac{1}{2}m_e v_z{}^2=eV_A\Rightarrow v_z=\sqrt{\frac{2eV_A}{m_e}}$ ולכן:

מתח האצה V_A	מהירות סופית v_z
$300V$	$\sim 10^7$
$400V$	$\sim 12\cdot 10^6$
$500V$	$\sim 13\cdot 10^6$

5. נניח $V_A=400V$ ולכן מהירותו האופקית של הגוף היא $v_z\cong 12\cdot 10^6$.
האלקטרון עובר מרחק כולל של כ $x=130mm=0.130m$, והוא יעשה זאת תוך:
$$\Delta t=\frac{x}{v_z}=\frac{0.13}{12\cdot 10^6}\cong 11ns$$
כוח הכובד הפועל על האלקטרון למשך כל זמן זה, היה מסית אותו בשיעור של: $h=\frac{1}{2}gt^2\cong 6\cdot 10^{-16}m$
שזה גודל זניח ביותר לעומת הגדלים שאנו מודדים בניסוי זה.

ניסוי מספר 7 – תנועת אלקטרונים בשדה חשמלי

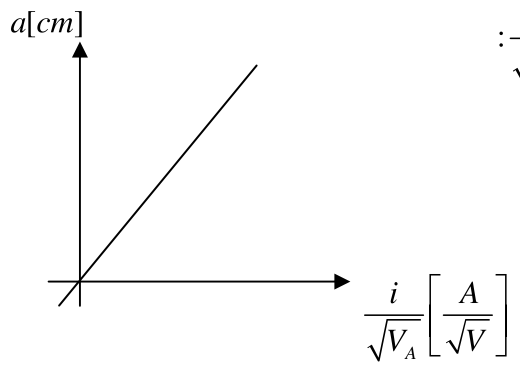
מטרת הניסוי: א. חקירת תנועת אלקטרונים בשדה מגנטי;
ב.הערכת הגודל $\frac{e}{m_e}$.

מהלך הניסוי: מדידת הסתת אלקטרונים ממסלולם ע"י השדה המגנטי.
נמדוד את ההסחה כפונקציה של הזרם בסלילים היוצרים את השדה המגנטי.
כאשר a היא הסחת האלקטרון מציר y ו b מרחק המרקע מראשית הצירים, שהוא קטן יותר מקוטר הסלילים. מתקיים הקשר $a=-\frac{1}{2}\sqrt{\frac{e}{m_e}}\cdot\frac{B}{\sqrt{2V_A}}b^2$. כשנציב במשוואה זו את הביטוי לשדה המגנטי

$B=n\mu_0 i\left(\frac{B}{B_0}\right)$, נקבל $a=K_1\left(\frac{i}{\sqrt{V_A}}\right)$ כאשר $K_1=-\sqrt{\frac{e}{m_e}}n\mu_0\left(\frac{B}{B_0}\right)\frac{b^2}{2\sqrt{2}}$.

גרפים צפויים:

קשר ליניארי בין a לפרמטר $\frac{i}{\sqrt{V_A}}$:



שאלות הכנה:

1. סעיף א

$z=2h$ לכל סליל. נתון כי $h=5cm$ ולכן $z=10cm$. בנוסף, $n=32500\frac{1}{m}$.

נקבל: $$\omega=\frac{eB}{m_e}=\frac{1.6\cdot10^{-19}\cdot n\mu_0 i\left(B/B_0\right)}{9.11\cdot10^{-31}}=\frac{1.6\cdot10^{-19}\cdot32500\cdot4\pi\cdot10^{-7}\cdot10^{-2}\cdot0.135}{9.11\cdot10^{-31}}\cong9,683,416\frac{1}{s}$$

סעיף ב

לא רלוונטי ל 7.1

2. סעיף א

משימור אנרגיה: $$\frac{1}{2}m_e v_1^2=eV_A\rightarrow v_1=\sqrt{\frac{2eV_A}{m_e}}=\sqrt{\frac{2\cdot1.6\cdot10^{-19}\cdot400}{9.11\cdot10^{-31}}}\cong11,853,477\frac{m}{s}$$

$$\frac{v_1}{\omega}\cong\frac{11,853,477}{9,683,416}\cong1.224$$

סעיף ב

$$(b)^2=(0.06)^2=0.0036<<1.49\cong\left(\frac{v_1}{\omega}\right)^2$$

3. לא רלוונטי ל 7.1

4. ע"פ כלל יד ימין למכפלה וקטורית המתוארת במשוואה לכוח לורנץ: $\vec{F}_M=\frac{1}{c}q\vec{v}\times\vec{B}$.

אם האלקטרון (מטען שלילי) מוסח מטה, השדה המגנטי מכוון ימינה, בהסתמכות על ציור 1א.