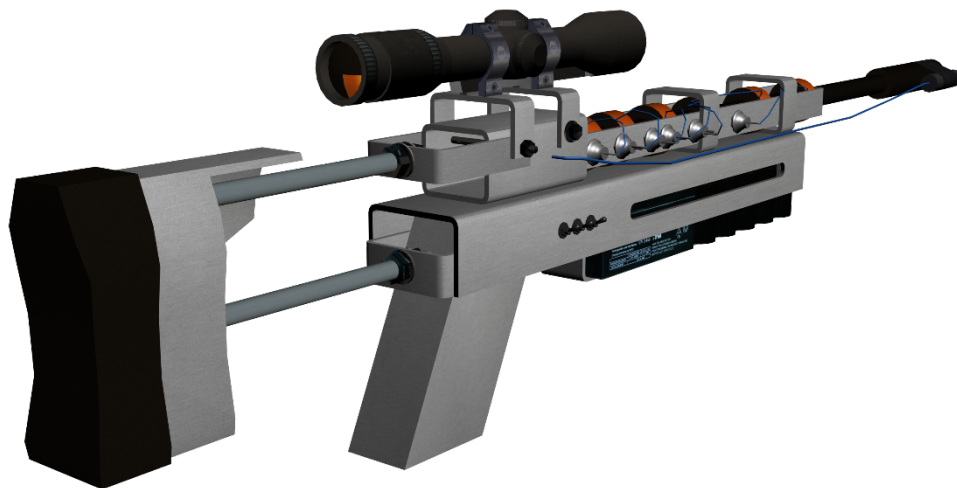


תעודת זהות	שם פרטי	שם משפחה	טלפון	דוא"ל
30717189 2	גנאדי	בודיק	054-62726 90	Genady9@yahho.com
31282939 3	אלכס	ברזין	054-22101 44	alex.berezin.il@gmail.com

עבודת חקר בפיזיקה

" תותח גאוס "



תוכן עניינים :

הקדה.....	3.....
מדוע	בחרנו
בנושא	זה?.....3.....
מטרת	המחקר
3.....	
רקע	
תיאורטי.....	
3.	
תיאורית	תותח
גאוס.....5.....	
הכוח	שמפעיל
הכדור	המגנט
חישוב	של
במגנט.....11.....	הכדור
	הפגיעה
	מהירות
	על

בסיס

.....לחקר

13

שאלת

1.....המחקר

3

השערות

13.....המחקר

שיטות

1.....מחקר

4

ניסויים מקדימים

ניסויי מקדים 1

מציאת מהירות התנתקות הכדור החיצוני ע"י חוק שימור אנרגיה וגלגולי

אנרגיה.14

ניסויי מקדים 2

מציאת מהירות התנתקות הכדור החיצוני ע"י נוסחאות תנועה

בליסטית.....19

ניסוי ראשי 1

מציאת מהירות פגיעת כדור הברזל המשתחרר ממנוחה במגנט ע"י חיישן

כוח.....22

.....תוצאות

24.....

ניסוי ראשי 2

מציאת מהירות מקסימלית לכדור שמשתחרר

מהמגנט.....26

הכנה לניסוי

ומסקנות	סיכום
35.....	מהניסויים
	ניסוי ראשי 3
תחנה	מיקום
של	אופטימלי
36.....	השנייה
	ניסוי ראשי 4
מהירות	מציאת
לקבלת	מספר
אידיאלי	תחנות
38.....	מקסימלית
	סיכום
.....	
	45
	בביבליוגרפיה
46.....	
1	נספח
4.....	
	7
	נספח
.....	2
	53.

הקדמה:

תותח גאוס הוא סוג של תותח המשתמש בסלילים אלקטרומגנטיים כדי להאיץ קליעים מגנטיים למהירות גבוהה. בעזרת כוח משיכה מגנטי הקליע מאיץ למהירות גבוהה ונורה. תותח זה הוא על שמו של המתמטיקאי והפיזיקאי הגרמני יוהאן קרל פרידריך גאוס, אשר ניסח את התיאורים המתמטיים של האפקט האלקטרומגנטי הנגרם על ידי האצה מגנטית.

מדוע בחרנו בנושא זה?

בחרנו לחקור מערכת הבנויה על פי עקרונותיו של תותח גאוס. הרובה שבנינו מורכב ממסילת אלומיניום שאליה מחוברים מגנטים, ובניהם כדורי ברזל. הכדורים מסודרים כך שכדור הנמצא בקצה המסילה נמשך אל המגנט הראשון, הכדורים שבין המגנטים נעים על המסילה והכדור החיצוני עף ממנה במהירות גבוהה, זאת בעקבות משיכתם של הכדורים לשדה המגנטי והתנגשות הכדורים זה בזה. הדבר מתקיים על פי עקרונות פיזיקליים כמו מתקף ותנע, חוק שימור האנרגיה, שדה מגנטי ועוד.

בחרנו בנושא זה מפני ששמענו וקראנו על תותח גאוס ועניין אותנו מאוד לחקור האם ניתן לירות כדור על ידי מערכת הבנויה מחומרים הנגישים לנו, ומבוססת על עקרונותיו של גאוס. מטרתנו היתה לבנות מערכת שתעזור לנו לחקור ולהעמיק את הידע שלנו בנושא. בנוסף, כאשר חקרנו מעט גילינו כי הנושא מורכב ממספר רב של נושאים פיזיקליים מעניינים נוספים בהם רצינו להתעמק, כגון שדה מגנטי, תנע, מעברי אנרגיה ועוד.

מטרת המחקר :

1. מציאת מהירות המקסימלית האפשרית בתותח גאוס המורכב ממסילת ברזל, מגנטים וכדורי אלומיניום.
2. בניית תאוריה למהירות פגיעת הכדור במגנט ואישושה בעזרת ניסויים שונים

רקע תיאורטי

מערכות פיזיקליות כגון תותח גאוס ניתנות לניתוח באמצעות חוקי השימור האוניברסליים. לפי חוקי השימור קיימים מספר גדלים פיזיקליים שכמות הכוללת במערכת נשארת קבועה כל עוד אין אינטראקציה עם סביבת המערכת. חוקים אלה נכונים למעשה בכל מערכת פיזיקלית ומספקים כלי לניבוי תהליכים במערכות אלה. בהקשר הנוכחי נעזר בשני חוקי שימור רלוונטיים שהם חוק שימור התנע וחוק שימור האנרגיה.

חוק שימור האנרגיה:

בהקשרים מכניים **אנרגיה** היא כמות העבודה שכוח יכול לעשות. היא נמדדת ביחידות ג'אול (J) ומהווה גודל נשמר אשר יכול לשנות צורה ולעבור בין גופים שונים. אנרגיה מופיעה בטבע בצורות רבות ושונות, בניהן האנרגיה הקינטית והאנרגיה הפוטנציאלית הכובדית.

אנרגיה קינטית (Kinetic energy), היא האנרגיה שיש לגוף כתוצאה מתנועתו. היא תלויה אך ורק במסת ובמהירות הגוף, ושווה למחצית מסת הגוף כפול מהירותו בריבוע.

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2 \text{ : } Ek = \frac{1}{2}mv^2 \text{ : } Ek = \frac{1}{2}mv^2$$

אנרגיה פוטנציאלית כובדית, היא האנרגיה שיש לגוף הנמצא תחת השפעת כוח הכבידה. אנרגיה זו קיימת לכל גוף בעל הנמצא בגובה ביחס לנקודת ייחוס מסוימת.

עבור גוף בעל מסה m , הנמצא בגובה h ביחס לנקודת ייחוס מוסכמת ואשר מושפע מכבידת כדור הארץ, האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית היא: $Ug = mgh$.

לפי חוק שימור האנרגיה, במערכת סגורה, בה לא ניתן להעביר אנרגיה או חומר לתוכה או ממנה, האנרגיה הכוללת נשמרת: $\Delta E = Ef - Ei = 0$. על פי חוק זה, במערכת סגורה אנרגיה פוטנציאלית יכולה להתגלגל לאנרגיה קינטית ולהפך.

חוק שימור התנע:

תנע הוא גודל פיזיקלי של מכפלת מסת הגוף במהירותו: $p = mv$. מכיוון שמהירות היא גודל וקטורי כך גם התנע הוא גודל וקטורי. במערכת סגורה, שבה לא פועלים כוחות חיצוניים, התנע הכולל נשמר. כך, בהתנגשות בין גוף בעל מסה m_1 ומהירות התחלתית v_1 עם גוף בעל מסה m_2 ומהירות התחלתית v_2 מתקיים:

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1u_1 + m_2u_2$$

כאשר u_1 – מהירות מסה m_1 רגע לאחר ההתנגשות ו- u_2 – מהירות מסה m_2 רגע לאחר ההתנגשות.

באמצעות חוק שימור התנע וחוק שימור האנרגיה נוכל לנתח ולהבין את התוצאה הצפויה מהתנגשויות של גופים. נסביר כיצד על פי חוקים אלו מתקיימת תנועת המטוטלת הבאה:



המטוטלת בנויה משורה של חמישה כדורי פלדה בעלי גודל ומסה זהים הקשורים לחוטים זהים. מקנים גובה התחלתי לאחד מהכדורים החיצוניים, הוא מקבל אנרגיה פוטנציאלית כובדית אשר מומרת לאנרגיה קינטית במהלך נפילתו אל הכדור הקרוב אליו, השני. מרגע עזיבת הכדור ועד להתנגשותו בכדור השני האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית מומרת לאנרגיה קינטית. רגע לפני ההתנגשות כל האנרגיה הפוטנציאלית שהוקנתה לו הומרה לאנרגיה קינטית, על פי חוק שימור האנרגיה: $0.5mv^2 = mgh$. המסה מצטמצמת: $v = \sqrt{2gh}$. כלומר, ניתן למצוא את מהירות פגיעת הכדור הראשון בשני על ידי מדידת הגובה שבו נסיט את הכדור. כאשר הכדור הראשון מתנגש בכדור השני יש לו רק אנרגיה קינטית, אשר כמעט כולה (ללא התייחסות לחיכוך וחום) מועברת לכדור החיצוני שבקצה השני. לפי חוק שימור התנע, בהעדר כוחות חיצוניים, התנע של הכדורים לפני ההתנגשות שווה לתנע שלהם לאחר ההתנגשות. נניח שבמערכת רק שני כדורים. במקרה כזה: $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1u_1 + m_2u_2$. המסות

השוות מצטמצמות כך שנשאר עם משוואת מהירויות: $v_1 + v_2 = u_1 + u_2$. מהירות הכדור השני לפני ההתנגשות שווה $v_2=0$, מהירות הכדור הראשון לאחר ההתנגשות שווה $u_1=0$ ומכאן ש: $v_1 = u_2$. הכדור הראשון פוגע בשורת הכדורים ומתחיל סדרת ההתנגשויות לאורך השורה. על פי חוק שימור התנע, נקבל שמהירות היציאה של הכדור החמישי שווה למהירות הפגיעה של הכדור הראשון, אותה חישבנו בעזרת חוק שימור האנרגיה.

תופעה זו תעזור בהבנת ההתנגשויות המתרחשות במערכת שלנו המדגימה רובה גאוס. הניתוח שהצגנו הראה כיצד ניתן להשתמש בחוקי השימור כדי לנבא את מהירותו של כדור הנפלט לאחר סדרה של התנגשויות בין כדורים שווי מסה. אך ברובה גאוס ההתנגשות הראשונה איננה נובעת מנפילה בשדה כבידה אלא ממשיכה של כדור ברזל (חומר פרומגנטי) למגנט.

תיאורית תותח גאוס

נרצה למצוא את מהירות הפגיעה של כדור פרו מגנטי (ברזל) במגנט.

נסמן את רדיוס הכדור ואת רדיוס המגנט ב- a (בהנחה שהרדיוסים

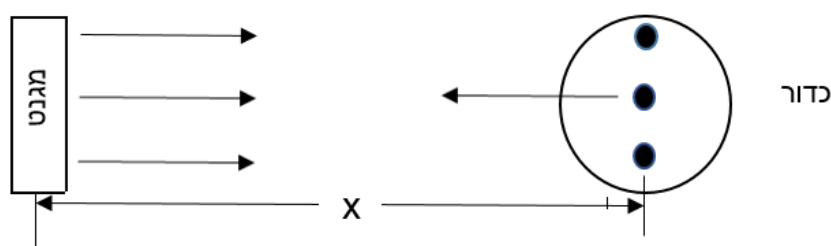
שלהם שווים) וב- d את עובי המגנט. על מנת לחשב את מהירות

הפגיעה, נדרוש כי עובי המגנט קטן בהרבה מרדיוס הכדור ומרדיוס המגנט: $d \ll a$. . עוד נניח כי המשקל הסגולי (ה d פות) של המגנט ושל הכדור הוא זהה.



התנאי ($d \ll a$) אינו משמעותי לחישוב השדה אך הוא משפיע רבות על המסה ועל התאוצה של הכדור, ולכן משפיע משמעותית על העברת האנרגיה המכנית בניהם.

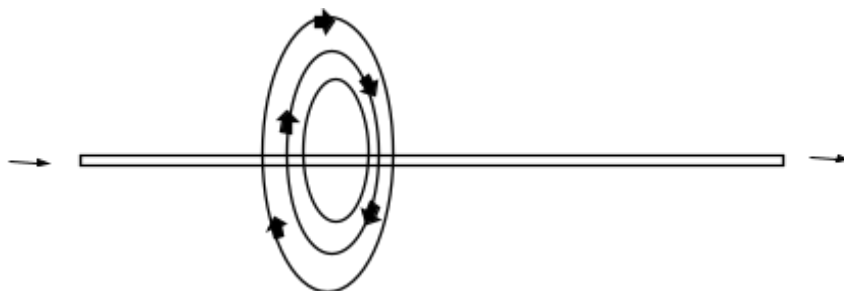
כדי לחשב את השדה המגנטי, B , בנקודה שנמצאת במרכז הכדור, נניח כי השדה הפועל על הכדור הנמצא במרחק x מהמגנט הוא אחיד לרוחב הכדור (x - המרחק בין המגנט לבין הכדור בו הכדור מתגלגל אל עבר המגנט).



מכיוון שעובי המגנט הוא משמעותית קטן יותר מרדיוס הכדור (על פי התנאי שדרשנו), אפשר להתייחס למגנט הדק כאל זרם מעגלי – כריכה של תיל דק שדרכו זורם זרם חשמלי.

השדה המגנטי שיוצרת כריכת זרם

תיל שעובר דרכו זרם חשמלי יוצר סביבו שדה מגנטי (כמו זה שיוצר המגנט). ככל שמתרחקים מהזרם שבתיל השדה נחלש (כשם שהשדה נחלש בהתרחקות ממגנט).



$$B = \mu_0 \frac{I}{l} \qquad l = 2\pi r$$

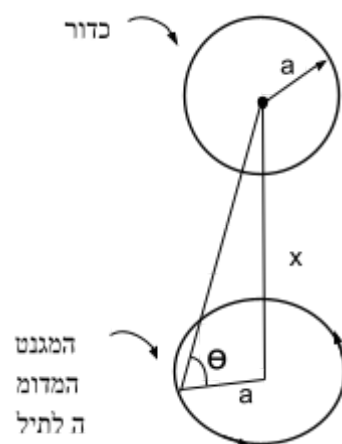
$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi r}$$

$$\mu_0 = 2 \cdot 10^{-7} * 2\pi$$

$$B = 2 \cdot 10^{-7} * \cancel{2\pi} * \frac{I}{\cancel{2\pi r}}$$

$$B = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I}{r}$$

נכפיל את המשוואה ב 2π על מנת להגדיר קבוע μ_0 (אותו נצטרך בהמשך)



על פי חוק ביו-סבר:

אם $x \leq a$:

ולכן:

אם $x > a$:

ולכן:

נכפיל ב $\frac{a}{a}$:

ולכן:

תכונת השדה בקרבת המגנט :

אם $a \geq x$ אז $a \leq x$

מכיוון $x \leq a$ אז השדה שווה לשדה ההתחלתי, שהוא גודל קבוע.

$$B = B_0, \quad B_0 = \text{const}$$

הכוח שמפעיל המגנט על הכדור

כאשר לכדור יש אינטראקציה עם המגנט הוא יוצר קוטביות במגנט, לכן ברגע שהכדור (העשוי ברזל - חומר פרומגנטי) נמצא בשדה המגנטי הוא הופך לדיפול מגנטי. מכיוון שהכדור אינו יכול להתקרב למגנט למרחק שהוא קטן יותר מהרדיוס של עצמו והמרחק בין הכדור

לבין המגנט לא יכול להיות קטן יותר מרדיוס הכדור – ניתן להניח שהשדה של הכדור שנוצר בכל נקודה הוא דיפול (הפרעה לשדה שמשפיעה על הפרדת ה- מה+ . ההפרש בין ה + וה - הוא אפס)

כאשר $a \geq x$ אז $\frac{a^3}{x^3} B_x = B_0$. זהו השדה על הכדור כתלות במרחק

מהמגנט.

כאשר $x=a$, המרחק בין הכדור לבין המגנט הוא 0 ו- $B_x = B_0$ זהו שדה אחיד וקבוע.

כדי להעריך את הכוח שהמגנט מפעיל על הכדור, נניח כי בכל מרחק מהמגנט פועל על הכדור כוח אחיד מהמגנט.

כמו בכדור דיאולקטרי שנמצא בשדה חשמלי אחיד, בכדור פרומגנטי אשר נמצא מחוץ לשדה המגנטי שמשפיע עליו (במקרה שלנו ישנה אחידות בכל מרחק מהמגנט), קיים מומנט מגנטי בנקודה מסוימת x . בהשפעה של שדה מגנטי נוצר מומנט מגנטי P (ניתן להתייחס כאנלוגיה לקוטב דרומי וצפוני)

ניתן לחשב את המומנט p בכל

נקודה x :

$$\begin{aligned} &= \text{פרמבוליות יחסית} \\ &\mu \\ &= \text{פרמבוליות הריק} \\ &\mu_0 \end{aligned}$$

M – מגנטיזציה

Bi – שדה מגנטי מושרה

Hi – עוצמת השדה המגנטי

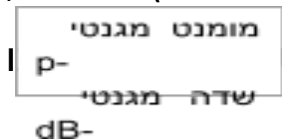
הפרמבוליות היחסית μ מאפיינת

את התכונות המגנטיות של החומר ממנו עשוי הכדור. אם החומר חזק מספיק והתכונות המגנטיות שלו הן $\mu \geq 1$ אז נוצר מומנט מגנטי בתוך הכדור, ולכן נוצר השדה המגנטי.

השדה המגנטי הנ"ל שנוצר בעקבות המומנט הרגעי של הכדור, מנטרל את השדה המגנטי החיצוני שמסביב לכדור אשר נוצר על ידי המגנט, ולכן השדה במרכז הכדור הוא שווה לאפס.



ניתן לחשב את הכוח שמפעיל המגנט על הכדור המהווה דיפול מגנטי. כדי לחשבו, נסתכל על הדיפול המגנטי כעל זרם מעגלי שיוצר את המומנט המגנטי שמנטרל את השדה החיצוני (מהמגנט). כלומר, בשדה מגנטי הכדור מתנהג כמו במומנט המגנטי למעלה.



הכוח שפועל על הדיפול המגנטי שווה למכפלת המומנט והשדה: (כולם פרופורציונליים למרחק x)

$$F = P \cdot dB$$

מתוך נוסחה זאת, ניתן להבין כי הכוח משתנה בהתאם למומנט ולשדה המגנטי.

ביטוי הגזירה

נציב את p :

$$P = \frac{4\pi}{\mu_0} \cdot a^3 \cdot B_{(x)} = \frac{4\pi}{\mu_0} \cdot a^3 \cdot \frac{B_0 \cdot a^3}{x^3} = \frac{4\pi \cdot a^6}{\mu_0} \cdot \frac{B_0}{x^3} = \frac{4\pi \cdot a^3 \cdot B_0}{\mu_0 \cdot x^3}$$

$$F = \frac{3a^3 \cdot B_0}{x^4} \cdot P = \frac{3a^3 \cdot B_0}{x^4} \cdot \frac{4\pi \cdot a^3 \cdot B_0}{\mu_0 \cdot x^3} = \frac{12\pi \cdot a^9 \cdot B_0^2}{\mu_0 \cdot x^7}$$

חישוב מהירות הפגיעה של הכדור במגנט

נמצא את העבודה של הכוח שפועל על הכדור שפוגע במגנט (כדי למצוא אחר כך את האנרגיה הקינטית שעוברת לכדור הנורה) מ $x=a$

ועד $x=\infty$:

קיבלנו את העבודה שביצע הכוח על הכדור במסה m עד לרגע שפגע במגנט. עבודה זו יצרה את התאוצה של הכדור. העבודה שווה לשינוי באנרגיה הקינטית של הכדור (עם הזנחת איבודי האנרגיה): $W=E_k$

* אילו היינו יודעים את חוזק המגנט היינו יכולים לחשב את גודל האנרגיה הקינטית, אך ניקח מספר הגיוני תיאורטי:

נפח הכדור – V

מסת הכדור – m

צפיפות –

נציב את הערכים:

שדה מגנטי מדדנו במעבדה וקיבלנו תוצאה :

זוהי מהי
כפי שהכ
גנט
גנט.
היא התנגשות אלסטית, מוהיו וזו שווה למוהיו וזו היציאה של הכדור
לאחר המגנט הראשון. מאחר והחלטנו להזניח את האנרגיה של
הכדור שמתבזבזת בעקבות החיכוך עם המסילה ועם האוויר, נניח כי
מהירות היציאה של הכדור מהמגנט שווה למהירות ירייתו.
ולכן זוהי מהירות הירייה המקסימלית של הכדור הנורה המתקבלת
מתוך חישובי התיאוריה.

בסיס לחקר

בתותח גאוס מופיעה סדרה של מגנטים אשר כל אחד בתורו מאיץ
את הכדור הנמשך אליו למהירות גבוהה יותר כך שבאופן תיאורטי

ניתן להגיע למהירות אינסופית. ברור שתוצאה זו לא אפשרית בשל איבודי אנרגיה, כלומר קיימת מהירות מקסימלית שבה ניתן לירות את הכדור מהתותח.

מטרת המחקר היא למצוא את מהירותו המקסימלית של כדור הנורה במערכת תותח גאוס העשוי מסילת ברזל, מגנטים וכדורי ברזל. אותה נבנה. תהינו לגבי התנאים והגורמים המשפיעים על כך ובחרנו להתמקד ולחקור ארבעה פרמטרים: המרחק בין המגנטים על מסילת הרובה, כמה כדורים יש לשים בצמוד לכל מגנט, מהו חומר שממנו יהיו עשויים הכדורים ומהו מספר המגנטים הרצוי לאורך המסילה.

שאלת המחקר

1. כיצד מהירות כדור היוצא תלויה במספר כדורים הניצבים אחרי מגנט ?
2. כיצד תלויה מהירות היציאה של כדור האחרון במרחק בין תחנות הצמודות ?
3. כיצד מהירות של כדור האחרון תלויה במספר התחנות במסלול ?

השערות המחקר

לאחר שראינו בפעם הראשונה את תנועת הכדורים במערכת אותה בנינו, האינטואיציה הראשונית שלנו הייתה שככל שנוסיף ונשים יותר כדורים ויותר מגנטים על המסילה, מהירות הירייה של הכדור האחרון תהיה גדולה יותר. כלומר, חשבנו שאולי ניתן להגיע למהירות ירייה

אין סופית. לאחר שהעמקנו יותר בחומר וחקרנו גם על המטוטלת, מתוך הבנת חוק שימור האנרגיה וההתייחסות לאיבודי אנרגיה שונים כמו אנרגיית חום וחיכוך, הסקנו כי מספר רב מדי של מגנטים על המסילה יגרום לאיבוד משמעותי של אנרגיה במעבר הכדורים בין המגנטים ולהקטנת מהירות הירייה.

בנוסף, על מנת שהכדור הראשון הנמצא בצמוד ואחרי המגנט הראשון ינוע, יש לשים אחריו כדורים נוספים - אחרת הכוח המגנטי לא יאפשר לו לנוע. כאשר העמקנו בנושא הבנו כי בין כדורי הברזל והמגנטים ישנם כוחות משיכה חזקים הנובעים מהשדה המגנטי ואשר משפיעים ומעכבים את התנתקותו של הכדור מהמגנט לכן אנו משערות שאם נסדר את הכדורים על המסילה כך שהכדורים שאחרי המגנט אך לא הכדור הנורה, יהיו עשויים מחומר חזק מספיק כמו הברזל אך שאינו מתמגנט, כדורים מנירוסטה למשל, המגנט לא ישפיע עליהם והאנרגיה שיקבלו מהכדור הקודם תתבזבז פחות. בעקבות כך מהירות הירייה תהיה גדולה יותר. על בסיס האמור לעל, השערתנו היא שישנו מספר מסוים של מגנטים ומספר מסוים של כדורים הצריכים להיות מסודרים בין המגנטים, אשר יגרמו לכדור הנורה להגיע למהירות המקסימלית.

שיטות מחקר

מטרתנו היא למצוא את מהירות הירייה המקסימלית אליה ניתן להגיע. על מנת למצוא מהירות זו נערוך סדרה של ניסויי חקר. תחילה נמצא מה היא מהירות הפגיעה המקסימלית של הכדור הראשון במגנט הראשון, השווה למהירות היציאה של הכדור המונח בצמוד למגנט הראשון מצדו השני. לאחר שנמצא את המהירות

המקסימלית של הכדור המתנתק מהמגנט הראשון, נוכל להמשיך ולחקור מה יקרה לתנועת הכדורים במערכת בין המגנט הראשון למגנטים הבאים, ועד לכדור הנורה. לשם כך נחקור את המערכת עם מגנט אחד בלבד ונמצא מה מספר הכדורים שיש להניח אחרי המגנט על מנת שהכדור החיצוני ינוע במהירות המקסימלית. על בסיס המסקנות ממחקר זה נוכל להסיק לגבי המגנטים האחרים בסדרה. לשם כך בנינו מערכת הבנויה ממסילת אלומיניום בעובי של 1 ס"מ ובאורך 2 מטרים, אשר אליה מחובר מגנט אחד בקוטר 2 ס"מ ובעובי 1 ס"מ בעזרת נייר דבק חזק. נסדר את כדורי הברזל על המסילה כך שבכל פעם נשחרר ממנוחה את כדור הברזל הראשון - שימשך למגנט, נניח בצמוד לצדו השני של המגנט מספר שונה של כדורים מברזל בכל פעם – עד שנמצא מהו מספר הכדורים שיאפשר לכדור החיצוני לנוע במהירות המקסימלית.

לשם מציאת מהירות הפגיעה של הכדור הראשון במגנט ומהירות שחרור הכדור החיצוני מצדו השני, נבצע שני ניסויים שונים: הראשון ע"י חוק שימור אנרגיה וגלגולי אנרגיה, והשני ע"י תנועה בליסטית.

1. ניסויים מקדימים

ניסויי מקדים 1:

מציאת מהירות התנתקות הכדור החיצוני v_0 ע"י חוק שימור אנרגיה וגלגולי אנרגיה.

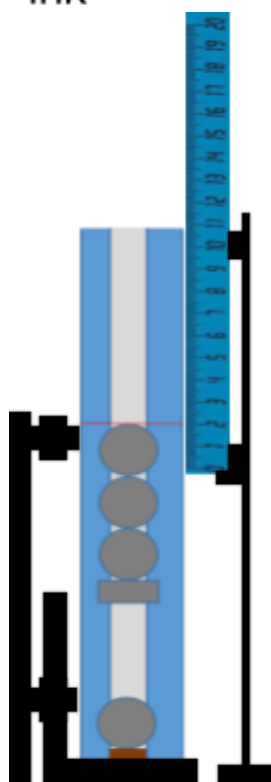
מהלך הניסוי:

לקחנו את מסילת האלומיניום והרכבנו אותה בזווית של 90° ביחס לקרקע על מנת שהכדור הראשון יצליח להמשיך למגנט, ולא ייפול ממנוחה מטה. קיבענו את המערכת ובסמוך אליה, במקביל למסילה, מיקמנו סרגל (ראו איורים 1-4) על המסילה, בצידו העליון של המגנט הנחנו בכל פעם מספר שונה של כדורים, ומתחת למגנט, הנחנו כדור בנקודה הרחוקה

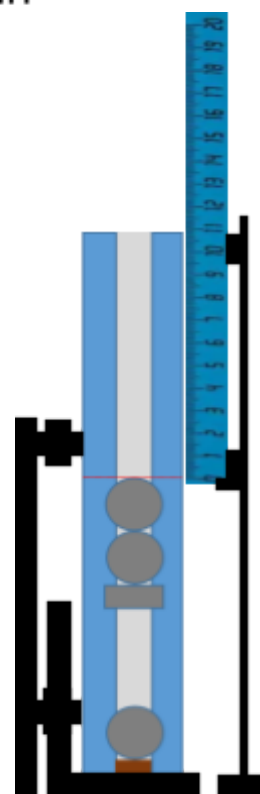
ביותר, ממנה הוא נמשך למגנט (מיקום נקודה זו היה קבוע לאורך הניסוי כולו). כאשר עזבנו את הכדור התחתון ממנוחה, הוא התנגש במגנט וגרם לכדור החיצוני, העליון ביותר, לעוף למעלה. בניסוי מדדנו בעזרת סרגל את הגובה המקסימלי אליו הגיע הכדור כמדד למהירות היציאה שלו אותה חישבנו על פי עקרון שימור האנרגיה. חזרנו על המדידות בכל פעם עם מספר הולך וגדל של כדורים מעל המגנט. המשכנו להוסיף כדורים כל עוד הגובה המקסימלי המשיך לגדול. כל ניסוי (בעל מספר קבוע של כדורים) ביצענו מספר פעמים על מנת להגדיל את הדיוק והמהימנות של התוצאות.

רדיוס כל כדור הוא 1 ס"מ, לכן בכל פעם שהנחנו כדור נוסף אחרי המגנט על המסילה הגובה ההתחלתי של הכדור הנורה גדל ב 2 ס"מ (ראו איורים 1-4). לכן, לחישוב השינוי בגובה הכדור החיצוני, החסרנו מהגובה הנמדד את הגובה ההתחלתי של כדור זה בהתאם למספר הכדורים עליהם הוא נשען.

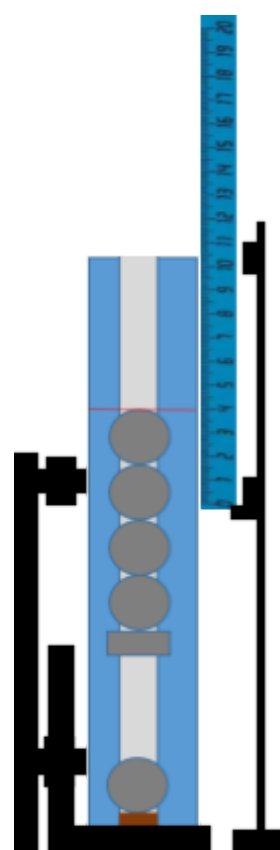
ניסוי 2 – שלושה כדורים
אחרי המגנט



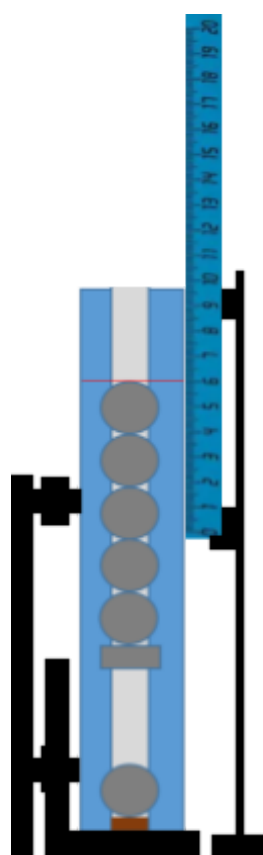
ניסוי 1 – שני כדורים אחרי
המגנט



ניסוי 3 – ארבעה כדורים
אחרי המגנט



ניסוי 4 – חמישה כדורים
אחרי המגנט



ניסוי 1:

גובה הכדור הנורה כאשר ישנם שני כדורים אחרי המגנט:

ניסיון 5	ניסיון 4	ניסיון 3	ניסיון 2	ניסיון 1	
15.8	15.7	15.5	15.6	15.8	גובהו המקסימלי של הכדור
ס"מ	ס"מ	ס"מ	ס"מ	ס"מ	

ממוצע הגבהים אשר התקבל בחמשת הניסיונות בניסוי בעל 2 כדורים אחרי המגנט:

$$\frac{15.8+15.7+15.5+15.6+15.8}{5} = 15.68 \text{ ס"מ}$$

ניסוי 2:

גובה הכדור הנורה כאשר ישנם שלושה כדורים אחרי המגנט:

ניסיון 5	ניסיון 4	ניסיון 3	ניסיון 2	ניסיון 1	
17.5	17.9	18	18	17.5	גובהו המקסימלי של הכדור
ס"מ	ס"מ	ס"מ	ס"מ	ס"מ	

ממוצע הגבהים אשר התקבל בחמשת הניסיונות בניסוי בעל 3 כדורים אחרי המגנט:

$$\frac{17.5+17.9+18+18+17.5}{5} = 17.78 \text{ ס"מ}$$

ניסוי 3:

גובה הכדור הנורה כאשר ישנם ארבעה כדורים אחרי המגנט:

ניסיון 5	ניסיון 4	ניסיון 3	ניסיון 2	ניסיון 1	
17.7	17.8	17.9	17.9	17.6	גובהו המקסימלי של הכדור
ס"מ	ס"מ	ס"מ	ס"מ	ס"מ	

ממוצע הגבהים אשר התקבל בחמשת הניסיונות בניסוי בעל 4 כדורים אחרי המגנט:

$$\frac{17.7+17.8+17.9+17.9+17.6}{5} = 17.8 \text{ ס"מ}$$

ניסוי 4:

גובה הכדור הנורה כאשר ישנם חמישה כדורים אחרי המגנט:

ניסיון 5	ניסיון 4	ניסיון 3	ניסיון 2	ניסיון 1	
17	17.5	17.6	17.3	17.3	גובהו המקסימלי של הכדור
ס"מ	ס"מ	ס"מ	ס"מ	ס"מ	

ממוצע הגבהים אשר התקבל בחמשת הניסיונות בניסוי בעל 5 כדורים אחרי המגנט:

$$\frac{17+17.5+17.6+17.3+17.3}{5} = 17.34 \text{ ס"מ}$$

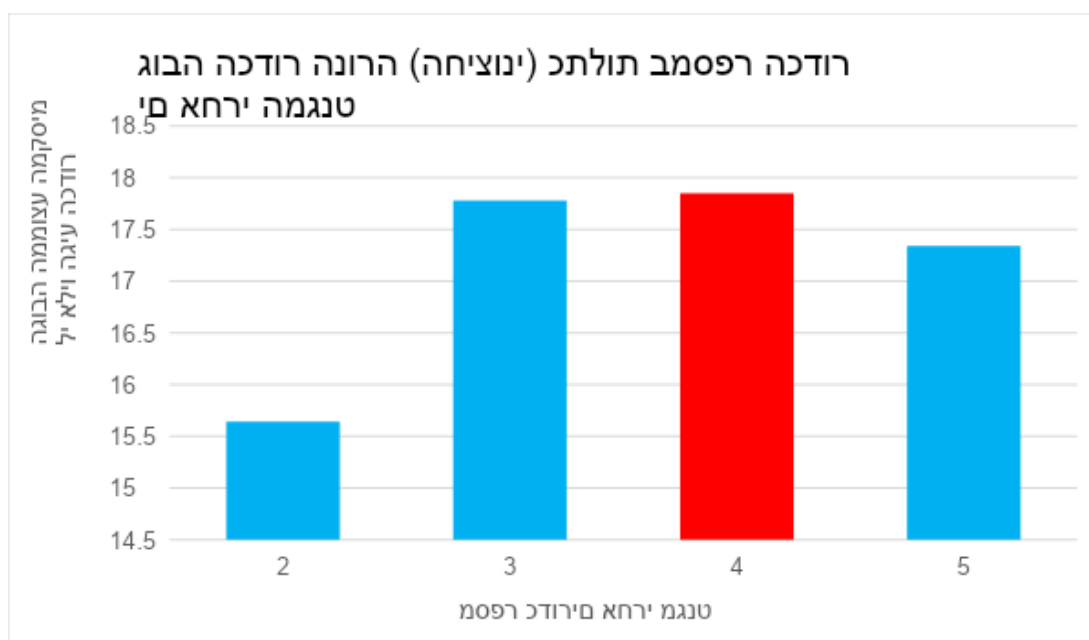
תוצאות:

עבור כל ניסוי בו מספר שונה של כדורים מעל המגנט חישבו את הגובה המקסימלי הממוצע

אליו הגיע הכדור החיצוני העליון. התוצאות מופיעות בטבלה 1:

גובה הכדור הנורה כתלות במספר הכדורים אחרי המגנט:

מספר הכדורים	הגובה הממוצע המקסימלי אליו הגיע הכדור (ס"מ)
2	15.64
3	17.78
4	17.8
5	17.34



עיבוד הנתונים:

על בסיס הגובה הממוצע אליו עלה הכדור החיצוני חישבנו את מהירות היציאה הממוצעת שלו שהתקבל בכל ניסוי. על פי חוק שימור התנע ובדומה לתנועת הכדורים במטוטלת ניוטון (ראו רקע תיאורטי), מהירות הכדור החיצוני העליון ברגע שבו החל את תנועתו מעלה זהה (עם הזנחת כוחות חיכוך ואיבוד חום) למהירות פגיעתו של הכדור התחתון במגנט. את מהירות v_0 זו חישבנו לפי חוק שימור האנרגיה. בחרנו כנקודת יחוס את היקום ההתחלתי ממנו עף הכדור. כך, ברגע תחילת תנועתו של הכדור הייתה לו רק אנרגיה קינטית. הכדור עף והגיע לשיא גובה מסוים, אותו מדדנו בעזרת הסרגל. בשיא הגובה מהירות הכדור שווה לאפס וכל האנרגיה הקינטית של הכדור הומרה לאנרגיה פוטנציאלית כובדית. לפי חוק שימור האנרגיה:

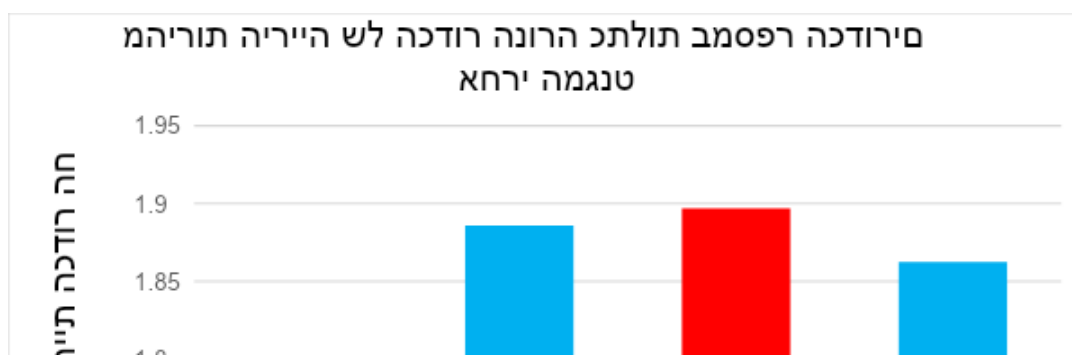
$$\frac{1}{2}mv_0^2 = mgh$$

המסות מצטמצמות, ומכאן נובע:

$$v_0 = \sqrt{2gh}$$

מהירויות הירייה שחושבו מוצגות בטבלה מס' 2 לפי מספר הכדורים שהוצבו מעל המגנט.

מספר הכדורים	מהירות הירייה של הכדור הנורה ($\frac{m}{sec}$)
2	$v_0 = \sqrt{2 \times 10 \times 0.1564} = 1.7686$
3	$v_0 = \sqrt{2 \times 10 \times 0.1778} = 1.8857$
4	$v_0 = \sqrt{2 \times 10 \times 0.178} = 1.8867$
5	$v_0 = \sqrt{2 \times 10 \times 0.1734} = 1.8623$



סיכום : אחרי עיבוד נתונים הגענו להסכמה שמספר כדורים אופטימלי אחרי מגנט הוא 4 בגלל מהירות מקסימלית .

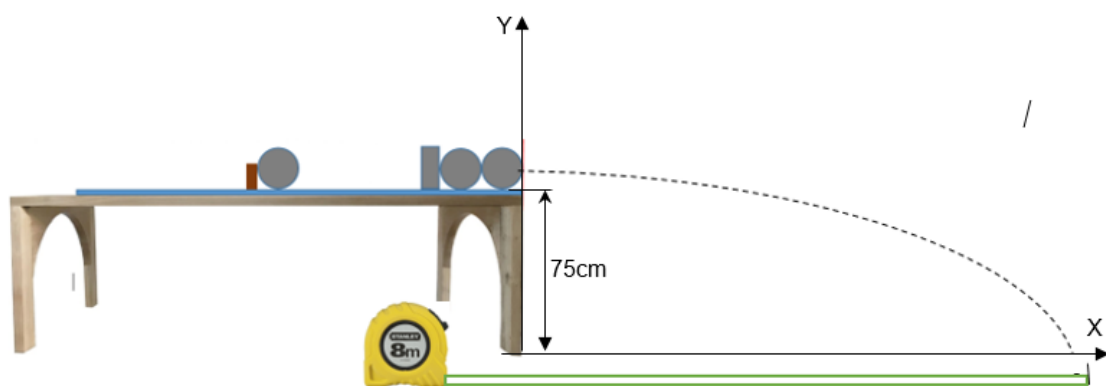
ניסויי מקדים 2:

מציאת מהירות התנתקות הכדור החיצוני v_0 ע"י נוסחאות תנועה בליסטית.

מיקמנו את מסילת האלומיניום עם המגנט על משטח אופקי בקצה שולחן שגובהו 75 ס"מ. בכל פעם הנחנו מספר שונה של כדורי ברזל אחרי המגנט ובצמוד לו בצד הפונה לקצה השולחן. בצד האחר של המגנט שחררנו ממנוחה כדור ברזל מהנקודה הרחוקה ביותר ממנה הוא נמשך למגנט. על פי חוק שימור תנע הכדור שמתנגש במגנט יגרום לכדור החיצוני שבטור הכדורים מצדו האחר של המגנט להיפלט במהירות החוצה. מהירות הכדור הפוגע והכדור החיצוני הנפלט זהות. . הכדור החיצוני שנורה נע בתנועה בליסטית מרגע עזיבתו

את המסילה (בקצה השולחן) ועד רגע פגיעתו בקרקע. על הקרקע פרשנו ניירות קופי ובעזרתם מדדנו את המרחק האופקי אשר עבר הכדור שנורה במהלך תנועתו.

לכל ניסוי - בעל מספר שונה של כדורים המונחים אחרי המגנט ובצמוד לו נבצע מספר ניסיונות ונמצא את מהירות הירייה של הכדור החיצוני בעזרת מדידת המרחק האופקי שעבר. נתחיל ממיצאת המהירות כאשר מונחים רק שני כדורים אחרי המגנט ובכל פעם נניח כדור נוסף עד שמהירות הירייה של הכדור החיצוני תעצור ולא תמשיך לגדול. נמצא מהו מספר הכדורים הדרוש על מנת להגיע למהירות ירייה מקסימלית.



עיבוד הנתונים:

על בסיס מדידת גובה השולחן והמרחק האופקי אותו עבר הכדור, חישבנו את מהירות יציאת הכדור (v_0) באמצעות משוואות התנועה הבליסטית:

בציר y:

$$v_0 = 0, y = 0, y_0 = 75\text{cm} \quad \leftarrow y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$0 = 75 - 5t^2 \quad \text{ומכאן ש}$$

$$t = \sqrt{0.75} \quad \text{נבודד את } t \text{ ונמצא:}$$

$$v = v_0 + g t$$

בציר x:

$$x = v_0 t \quad \text{המרחק האופקי נמדד ומכאן ש} \quad x_0 = 0 \quad \longleftrightarrow \quad x = x_0 + v_0 t$$

$$v_0 = \frac{x}{\sqrt{0.15}} \quad \text{נציב את } t \text{ שקיבלנו מהמשוואה בציר } y \text{ ונקבל}$$

ניסוי 1: שני כדורים אחרי המגנט

מספר הכדורים	מהירות הכדור הנורה (השני) (m\sec)
2	1.7815
2	1.7738
2	1.7607

מהירות יריית הכדור החיצוני הממוצעת כאשר אחרי המגנט יש שני כדורים: $1.772 \frac{m}{sec}$

ניסוי 2: שלושה כדורים אחרי המגנט

מספר הכדורים	מהירות הכדור הנורה (השלישי) (m\sec)
3	1.9209
3	1.9261
3	1.9313

מהירות יריית הכדור החיצוני הממוצעת כאשר אחרי המגנט יש שלושה כדורים: $1.9261 \frac{m}{sec}$

ניסוי 3: ארבעה כדורים אחרי המגנט

מספר הכדורים	מהירות הכדור הנורה (הרביעי) (m\sec)
4	1.9726
4	1.9778
4	1.9623

מהירות יריית הכדור החיצוני הממוצעת כאשר אחרי המגנט יש ארבעה כדורים: $1.9709 \frac{m}{sec}$

ניסוי 4: חמישה כדורים אחרי המגנט

מספר הכדורים	מהירות הכדור הנורה (החמישי) (m\sec)
5	1.9313
5	1.9209

1.9055	5
--------	---

מהירות יריית הכדור החיצוני הממוצעת כאשר אחרי המגנט יש חמישה כדורים:

$$1.91923 \frac{m}{sec}$$

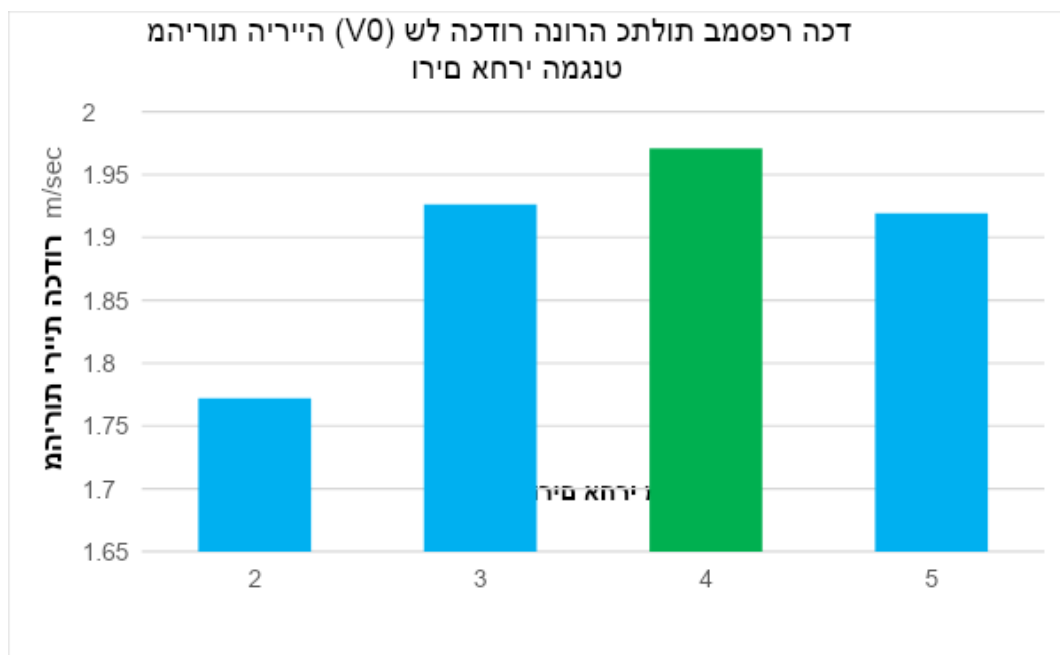
תוצאות:

חישבנו את המהירות הממוצעת של הכדור הנורה לכל ניסוי בעל מספר כדורים מסוים.

התוצאות

מוצגות בטבלה 3.

מספר הכדורים	המהירות הממוצעת (m/sec)
2	1.772
3	1.9261
4	1.9709
5	1.91923



ניסוי ראשי 1 - מציאת מהירות פגיעת כדור הברזל

המשתחרר ממנוחה במגנט ע"י חיישן כח

לאחר שני הניסויים המקדימים, חיפשנו דרך לבדוק את מהירות הפגיעה של הכדור המשתחרר במגנט כדי לאשש ולהצדיק את התיאוריה שבנינו לגבי מהירות הירייה המקסימלית, אותה נכתוב בהמשך העבודה. מצאנו דרך בדיקה מדויקת מאוד לדבר ע"י שימוש בחיישן כוח, וערכנו ניסוי שלישי בו מצאנו את מהירות הפגיעה של הכדור המשוחרר במגנט.

מהלך הניסוי

שלב 1: בניית המתקן לניסוי:

לקחנו משטח עץ והרכבנו עליו מסילה מאלומיניום (ללא תכונות מגנטיות). על המסילה הרכבנו חיישן כוח (מסט של Multilab) אליו חיברנו בדבק אפוקסי מגנט כך שמרכזו מוצמד לפין של החיישן. כיוונו את גובה מרכז המגנט עם מרכז הכדור כך שברגע התנגשותם הם יהיו על אותו ציר. את המסילה כיוונו באופן שיבטיח התנגשות חזיתית בין הכדור למגנט במטרה למנוע סטייה בזווית הפגיעה שעלולה להיווצר בזמן הניסוי .

הקשיים בבניית המתקן וכיוונו:

שמנו לב שקיימת סטייה מאוד קטנה כאשר כדור כבר נוכח במגנט מחוץ למתקן (יש סטייה בין מרכז הכדור ומרכז המגנט) . דאגנו למרכז באופן מקסימלי את המגנט מול הכדור.

שלב 2: חיבור החיישן לממשק הבקר (Multilab)

אחרי שכיוונו את המתקן והכנו אותו לניסוי, חיברנו בין הגורמים בניסוי: חיישן, בקר את החיישן (Force Sensor) לבקר (USB-Link) שהתחבר לכניסת USB שבמחשב. בבקר יש 4 פורטים (I/O 1-2-3-4). השתמשנו בפורט I/O-1. שמנו לב שיש מקרים שבהם הבקר מפסיק להיות מזוהה על-ידי המחשב. פתרנו זאת ע"י ניתוק וחיבור חוזר שלו. דרך ניהול הגדרות של הבקר הגדרנו את תנאי המדידה:

- קצב דגימות מקסימלי (10000 בשנייה)

- משך המדידה : 3.2 שניות

שלב 3 : ביצוע הניסויים

קיבלנו שני גרפים.

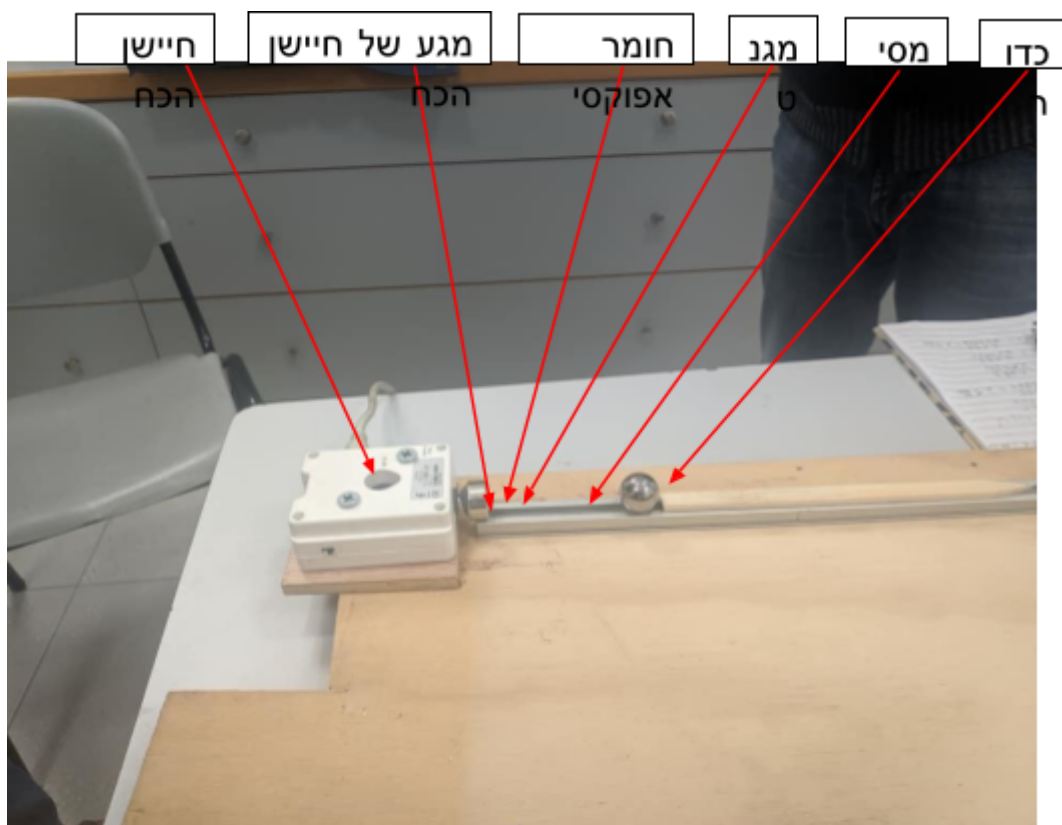
1. הגרף בצבע האדום – גרף כוח שנמדד על-ידי חיישן כוח

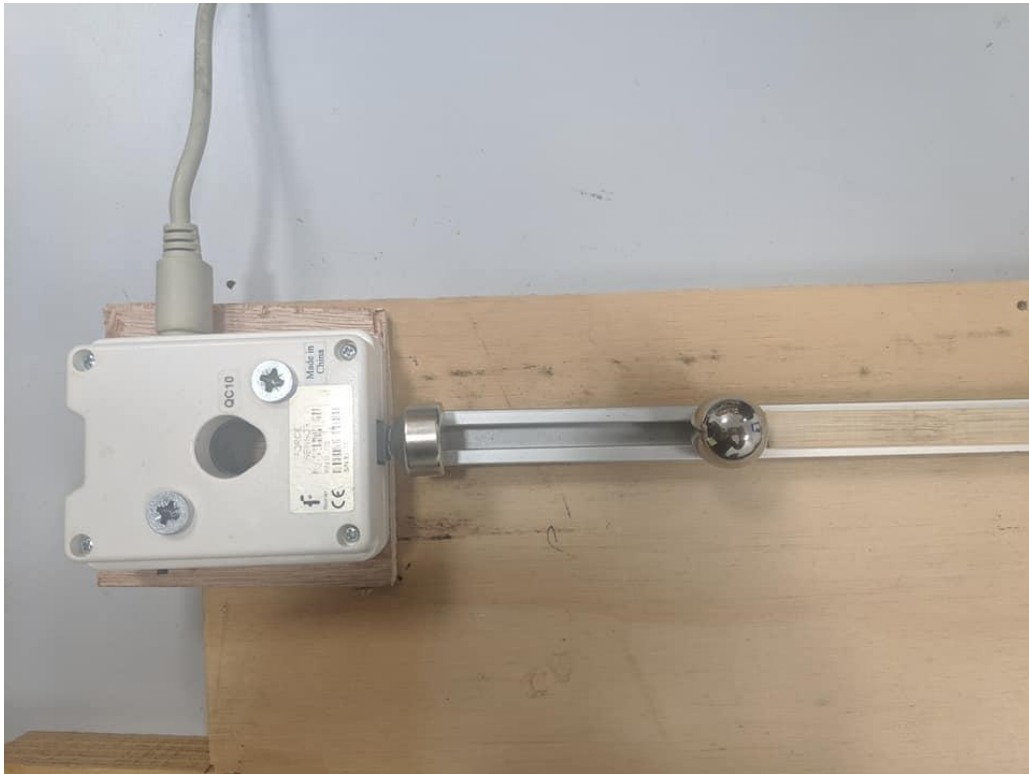
2. גרף צבע כחול – גרף מחושב כי שטח מתקף

$$v = \frac{F \cdot t}{m} \quad F \cdot t = mv \quad \text{קיבלנו שטח מתקף לכל ניסוי, לפי הנוסחה}$$

קיבלנו 3 מהירויות שונות בכל ניסוי כאשר המהירות המתקבלת היא מהירות פגיעת הכדור המשוחרר ממנוחה במגנט, כאשר $m = 0.0327 \text{ kg}$ משקל כדור הברזל .

תמונות של מתקן הניסויים:





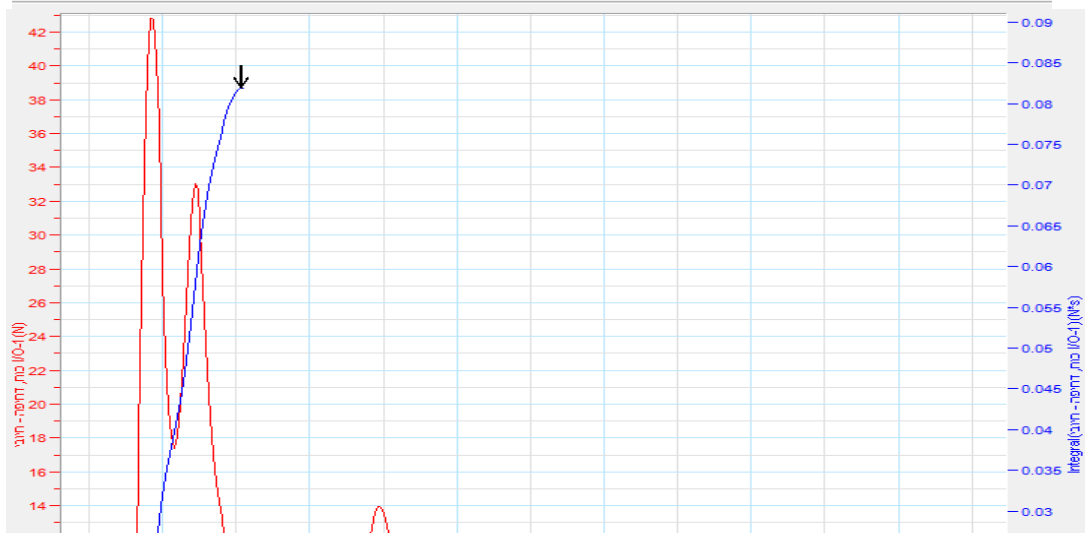
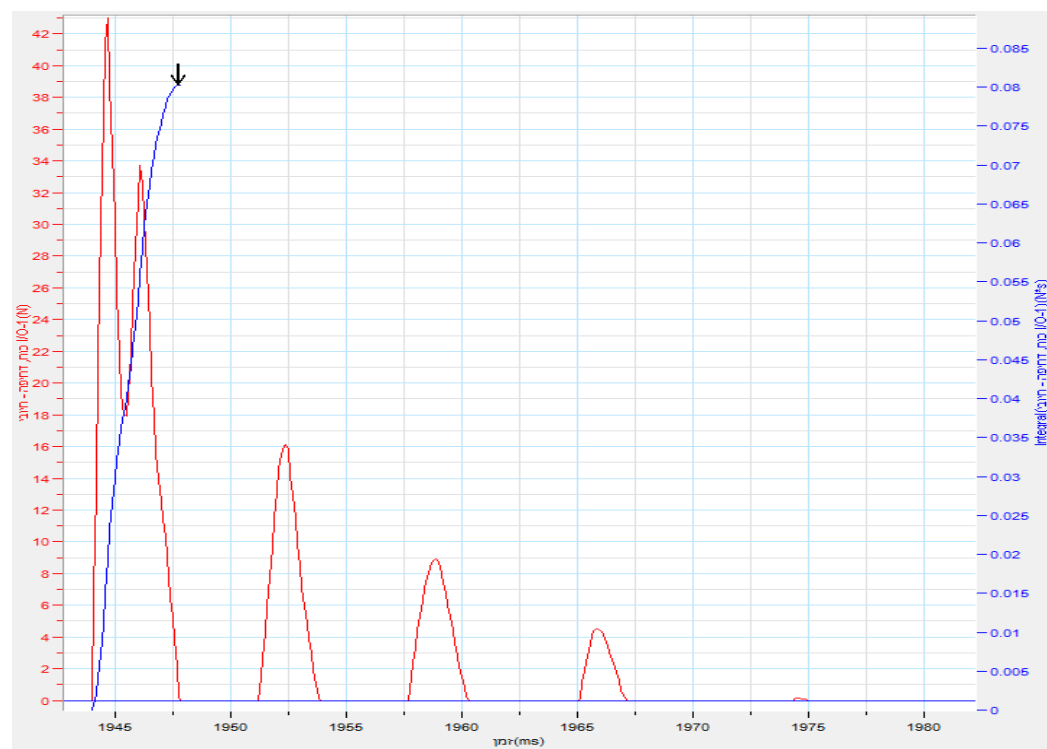
תוצאות

קיבלנו שני גרפים.

3. גרף בצבע אדום – גרף כוח בתלות בזמן שנמדד על-ידי חיישן כוח
4. גרף בצבע כחול – גרף מחושב של השטח מתחת לגרף האדום המתאר את המתקף בתלות בזמן

גרף 1,2,3: הבוח (אדום) והמתקף (כחול) בהתנגשות הכדור במגנט כתלות בזמן עבור כל אחת מהחזרות על הניסוי





עיבוד הנתונים: $v = \frac{F \cdot t}{m}$
 בעזרת הנוסחה משלושת

חישבנו את מהירות פגיעת הכדור במגנט בכל אחד

החזרות על הניסוי, כאשר כדור הברזל שוחרר ממנוחה ומסתו $m = 0.0327 \text{ kg}$

קיבלנו 3 מהירויות שונות כאשר המהירות המתקבלת היא מהירות הפגיעה במגנט של כדור המשוחרר ממנוחה,

טבלת תוצאות המהירויות:

מהירות ממוצעת	ניסוי 3	ניסוי 2	ניסוי 1	
2.507	2.50 7	2.44 6	2.56 8	V (m/s) מהירות פגיעת הכדור במגנט

מהירות פגיעת הכדור במגנט המקסימלית המתקבלת מניסוי זה היא 2.507 מטר לשנייה.
 מאחר ובניסוי זה אנרגיות קול, חום וחיכוך אינן זניחות, תוצאותיו אמינות ומדויקות יותר

מאשר בשני הניסויים המקדימים הראשונים ואף דומות מאוד למהירות המתקבלת מהתאוריה. לכן ניסוי זה מאשש את התאוריה.

ניסוי ראשי 2

מטרת הניסוי : מציאת מהירות מקסימלית לכדור שמשתחרר מהמגנט.
מציאת מהירות מקסימלית כתלות במספר כדורים שמאחורי מגנט
כלים ואמצעים :

1. מסילה
2. שער לוגי (שער אופטי)
3. סרגל
4. מיתקן עשוי מעץ ואלומיניום .
5. מערכת multilab
6. מגנט
7. כדורים

הכנה לניסוי

שלב 1 (הכנת מתקן לשער אופטי)
מטרה : הרכבת מסילה בין שער אופטי

- לקחנו פלטת עץ במידות 110x35 cm והרכבנו עליה מסילה מחומר ללא תכונות מגנטיות (אלומיניום) כדי להחזיק שער אופטי



שלב 2 (הכנת מסלול)

מטרה : הרכבת מסילה לתנועת כדורים

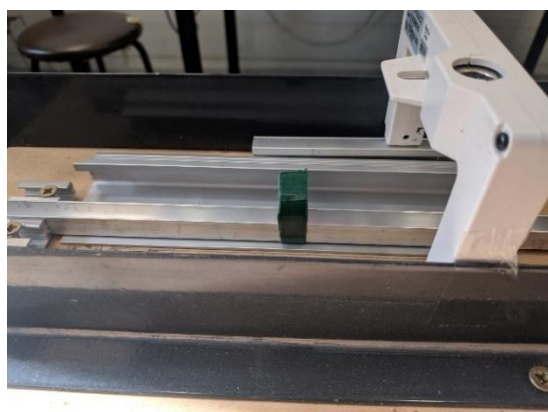
- הרכבת מסילה מאלומיניום והרכבת אותה כך שמסילה עוברת לאורך חיישן אור. מסילה זאת מהווה מסלול לתנועת כדור



שלב 3 (הרכבת מגנט למסילה)

מטרה : להרכיב מגנט לניסויים .

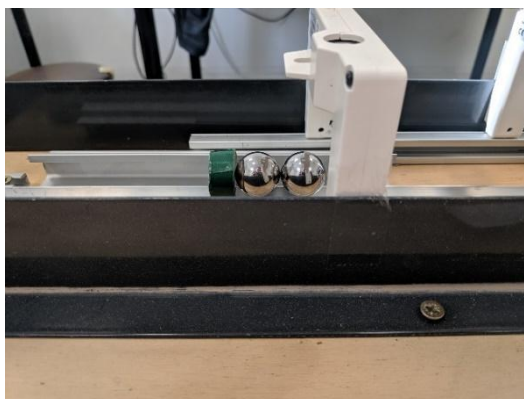
- הנחנו מגנט על מסילה וחיצקנו על-ידי סרט דביק חזק .



שלב 4 (הנחת 2 כדורים אחרי מגנט)

מטרה : להצמיד הכדור היוצא לשאר אופטי .

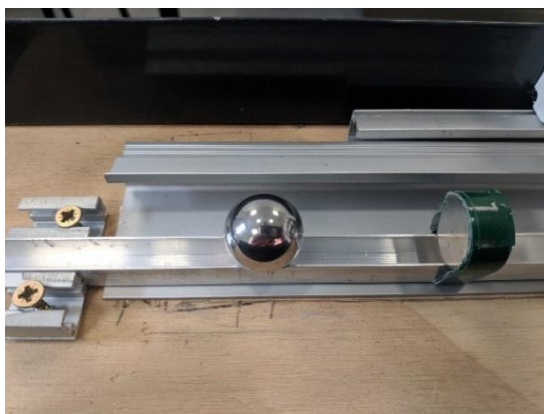
- שמנו 2 כדורים אחרי מגנט . הצמדנו כדור היוצא לשער אופטי כך שכדור יהיה צמוד לקרן אופטי אך לא סוגר אותו .



שלב 5 (מציאת נק

מטרה : למצוא מקום המתאים לכדור הנמשך למגנט .

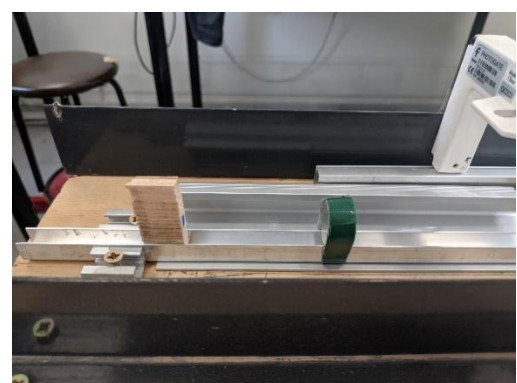
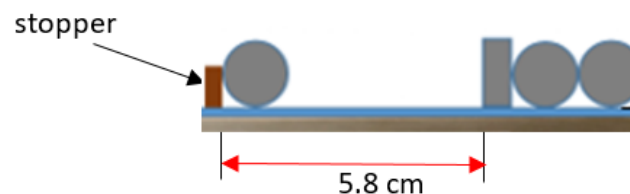
- מצאנו נקודה הכי רחוקה ממגנט שכדור נמשך עליו .
- אחרי מספר דגימות הבנו שנקודה זאת חייבת להיות מדויקת כדי למנוע סטייה במהירות .



שלב 6 (הרכבת סטופר/מעצור)

מטרה : למקם את הכדור שיוצא לתנועה ממקום קבוע .

בזמן שעשינו כל הניסויים אנחנו הבנו שמהירות נגיעה במגנט אמורה להיות אותה אחת בכל ניסויים. זאת הסיבה להרכבת stopper (נקודת התחלה לתנועת כדור). כדור מתחיל את תנועתו במהירות 0 מנקודת התחלה. אנחנו יכולים לציין שכדור נוגעה במגנט באותה מהירות בכל הניסויים . מיקום מעצור הנכון נמצא במרחק 5.8 ס"מ מהמגנט :

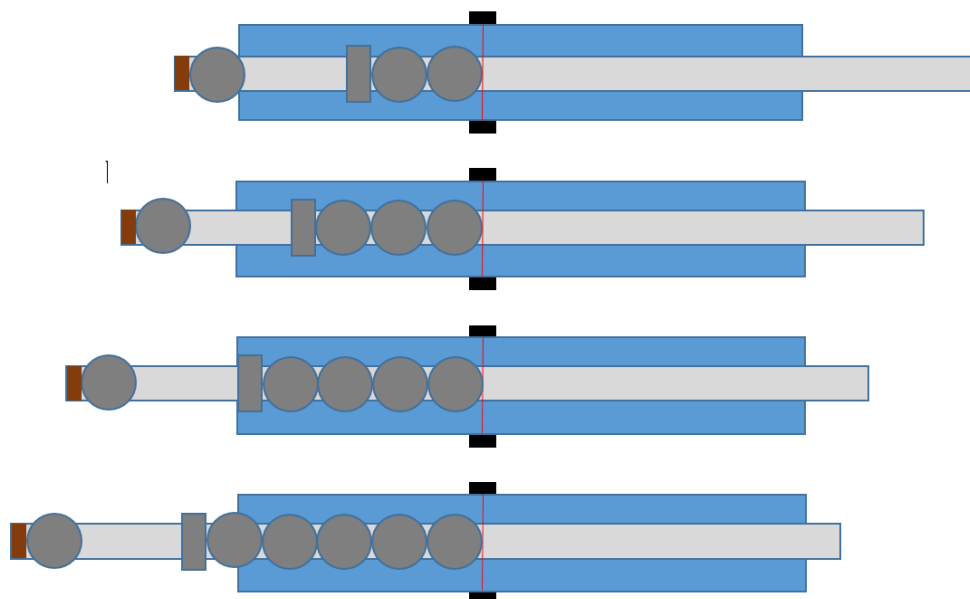


שלב 7 : (כיול)

מטרה : לכייל כל השלבים קודמים לניסוי מוצלח ומדויק

- כיול מסילה . בדקנו וכיוונו מסילה לתנועת כדור ללא שיפוע
- כיול חיישן אור מול מרכז הכדור . כיוונו גובה חיישני אור מול מרזו של כדור . מרכז כדור במסילה מעל משטח עץ וקרן אור בחיישנים נמצאים בגובה של 24 מ"מ מעל משטח עץ .
- כל קבוצת כדורים החל מקבוצה ראשונה של כדורים שמאחורי מגנט אמורה להסתיים ממש לפני נגיעה בקרן אור של חיישן אור.
- ספייסרים שמחזיקים את המסלול כדורים אמורים להחזיק אותו כך שתהיה אפשרות להזיז את המסלול (להרחיק או לקרב לחיישן אור) עם כל מה שנמצא עליו (מגנט , קבוצת כדורים , מקום יציאה כדור לפני מגנט ראשון) מחיישן ראשון לטובת הוספת כדור נוסף :

האיור מראה שניתן להוסיף כדור היוצא ולהזיז את המסלול לאורך המתקן עם כל מה שנמצא עליו :



נספח מס' 1 :

□ הכנת סט Multilab לניסוי

ניסוי עם 2 כדורים

2 כדורים			
זמן (sec) תוצאות		מהירות (m/sec) תוצאות	
t_1	0.010295	v_1	1.9427
t_2	0.010201	v_2	1.9606
t_3	0.010170	v_3	1.9665
t_4	0.010360	v_4	1.9292

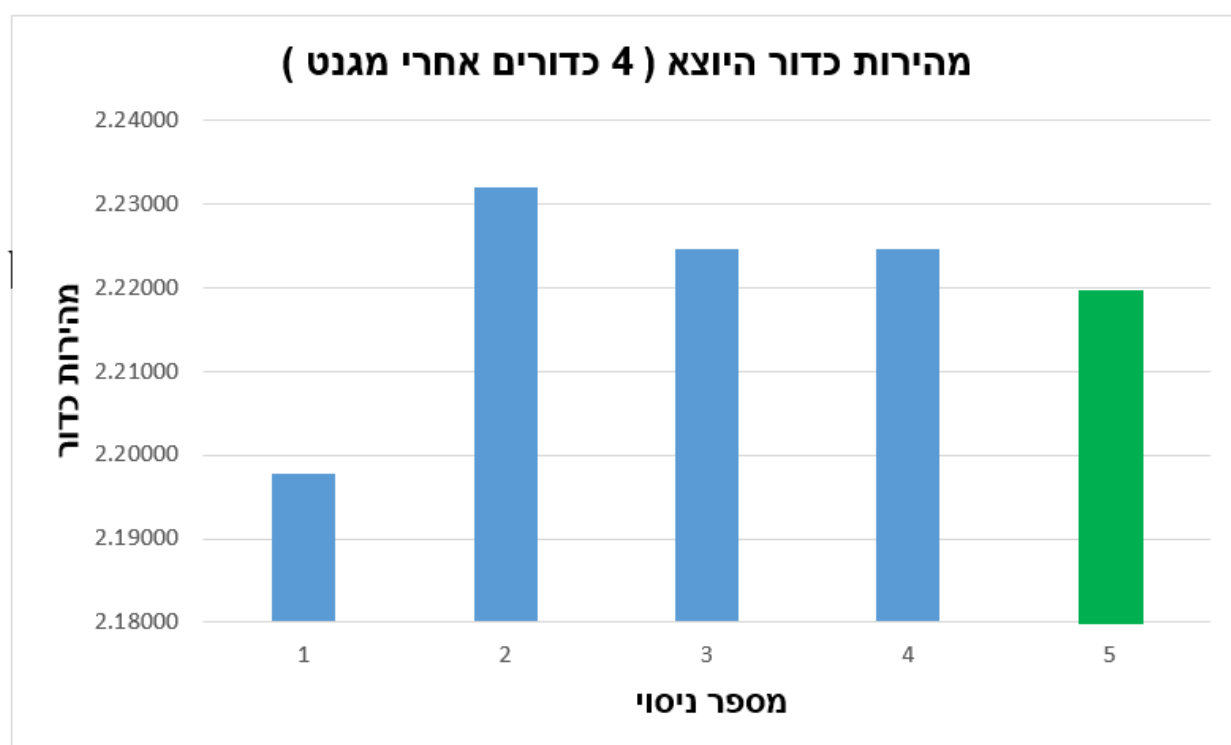
ניסוי עם 3 כדורים

ניסוי עם 3 כדורים

3 כדורים					
זמן (sec) תוצאות		מהירות (m/sec) תוצאות			
t_1	0.009301	v_1 2.15030			
t_2	0.009306	v_2 2.14910			
t_3	0.009233	v_3 2.16610			
t_4	0.009222	v_4 2.15050			

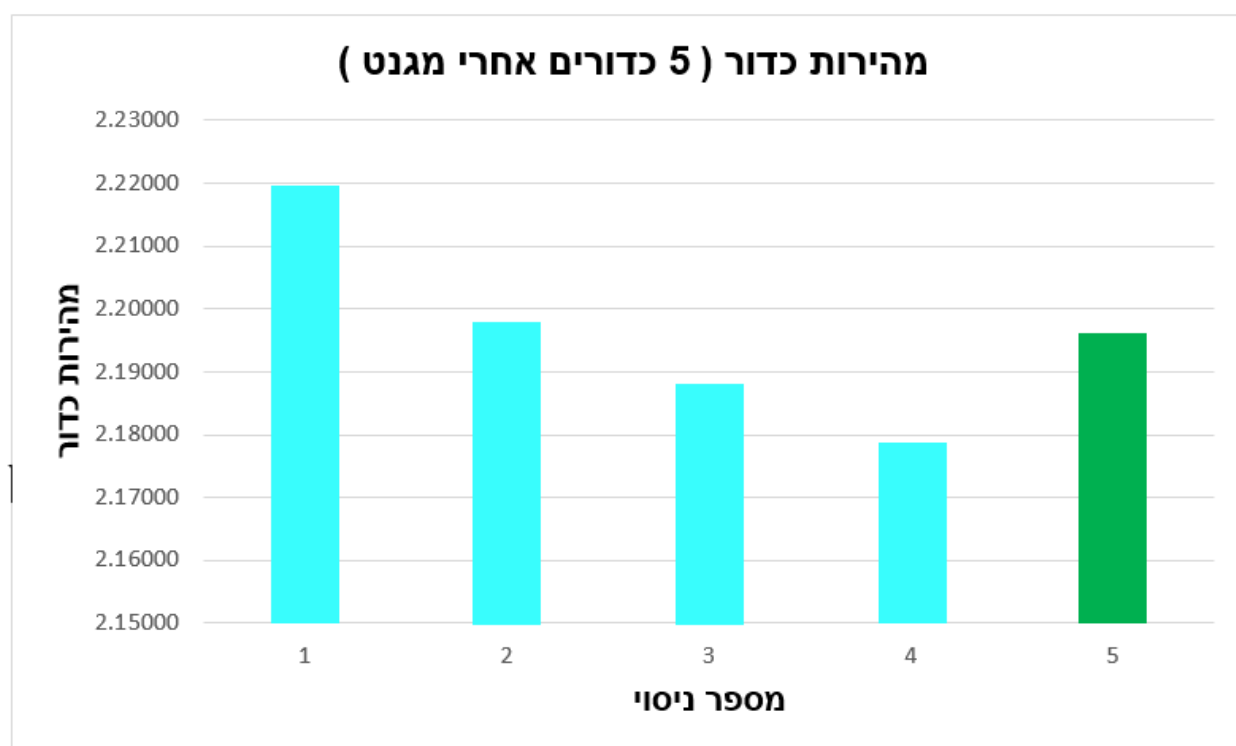
ניסוי עם 4 כדורים

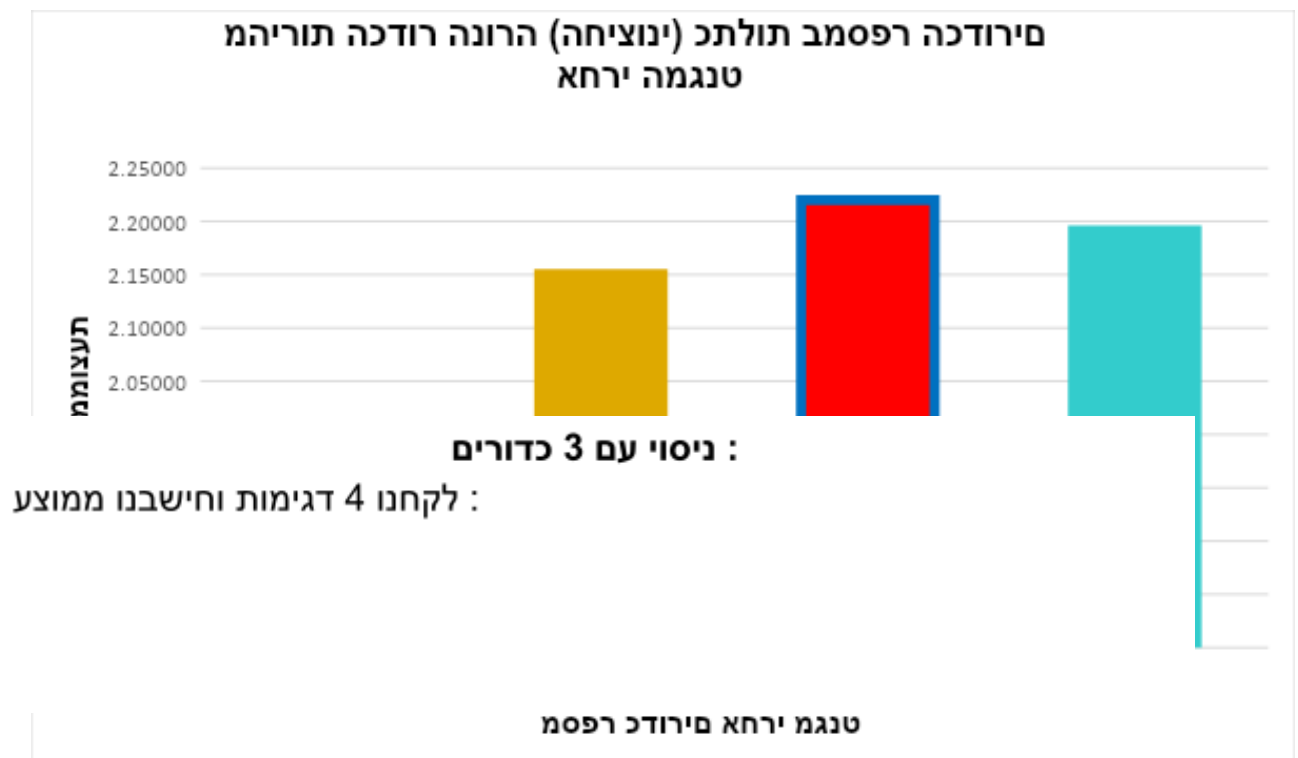
4 כדורים			
זמן (sec) תוצאות		מהירות (m/sec) תוצאות	
t_1	0.09100	v_1	2.19780
t_2	0.00896	v_2	2.23210
t_3	0.00899	v_3	2.22470
t_4	0.00899	v_4	2.22470
t (ממוצע)	0.00898	v (ממוצע)	2.21983



ניסוי עם 5 כדורים

5			
כדורים			
זמן (sec) תוצאות		מהירות (m/sec) תוצאות	
t_1	0.00901	v_1	2.21975
t_2	0.00910	v_2	2.19781
t_3	0.00914	v_3	2.18818
t_4	0.00918	v_4	2.17864
t (ממוצע)	0.0091075	v (ממוצע)	2.19610





אחרי שסיימנו ניסויים בעזרת תוכנה MultiLab וקיבלנו תוצאות החלטנו לאחד אותן כך שניתן לראות את כל התוצאות של מהירות ממוצעת. בעזרת הגרף ניתן לראות שמהירות מקסימלית התקבלה מתצורה של 4 כדורי אחרי מגנט. גם בניסויים הקודמים (ירייה במאונך וירייה באופק) מהירות הכי הגולה התקבלה גם מ-4 כדורים אחרי מגנט.

התחלנו ניסוי מ-2 כדורים אחרי מגנט וחזרנו על כל ניסוי 4 פעמים ובנינו טבלה וגרף עם תוצאות ניסוי :

עבור כל סט (2 , 3 , 4 , 5 כדורים אחרי מגנט) לקחנו 4 דגימות. ומכל סט חישובנו ממוצע.

סיכום ומסקנות מהניסויים.

המטרה הראשונה שלנו הייתה למצוא מהו המספר האופטימלי של כדורי הברזל שיש להציב אחרי המגנט כדי לקבל מהירות ירייה מקסימלית של הכדור הנורה. ערכנו

שני ניסויים מקדימים שבדקו זאת ע"י מסלולי ירייה שונים בכיוונם:

1. יריית כדור בזווית של 90 מעלות (במאונך) לאופק

בניסוי זה חיפשנו את מהירות הירייה ע"י גלגולי אנרגיה (מאנרגיה פוטנציאלית לאנרגיה קינטית).

2. יריית כדור בזווית 0 מעלות ביחס לאופק

בניסוי זה חיפשנו את מהירות הירייה ע"י שימוש בנוסחאות התנועה הבליסטית.

בניסויים אלו הנחנו שהאנרגיה הפוטנציאלית הופכת אך ורק לאנרגיה קינטית. נאלצנו להזניח אנרגיית קול, חום וחיכוך. מניסויים אלו נוכל להסיק שמספר הכדורים האידיאלי שיש להניח לאחר המגנט, הגורם למהירות ירייה מקסימלית של הכדור הנורה הוא 4.

ניסוי ראשי 3:

מיקום אופטימלי של תחנה השנייה

חיפשנו למקם את תחנה השנייה מהנחה.
התחלנו ממרחק 1cm .

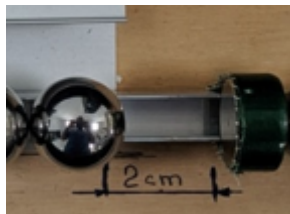
ביצענו מספר ניסיונות כאשר תחנה השנייה הייתה היית במרחקים הבאים :
1cm , 2cm , 3cm , 4cm , 6cm
קיבלנו תוצאות מהירות מכל ניסוי .



זמן סוף מדידה (s)	זמן תחילת מדידה תנועה (s)	זמן תנועת הכדור (s)	מרחק התנועה (קוטר הכדור) (m)	מהירות תנועת הכדור (m/s)	;	מהירות ממוצעת בכל הניסוי (m/s)	מרחק לפני תחנה (cm)
$t_{stop}(s)$	$t_{start}(s)$	$t=t_2-t_1$ (s)	$x(m)$	$v=x/t(m/s)$			
1.31325	1.306335	0.006915	0.02	2.892263196			1
1.451357	1.443775	0.007582	0.02	2.637826431		2.823755366	
0.344535	0.337735	0.0068	0.02	2.941176471			
t_{stop}	t_{start}	$t=t_2-t_1$	x	$v=x/t$			2
1.727875	1.72117	0.006705	0.02	2.98284862		3.04246822	
1.278175	1.27194	0.006235	0.02	3.207698476			
1.17125	1.16444	0.00681	0.02	2.936857562			
t_{stop}	t_{start}	$t=t_2-t_1$	x	$v=x/t$			3
0.83305	0.826	0.00705	0.02	2.836879433			

מתוצאות הניסויים אפשר לסכם שמהירות הכי מקסימלית מתרחשת ממרחק

2cm עד תחנה השנייה



ניסוי ראשי 4

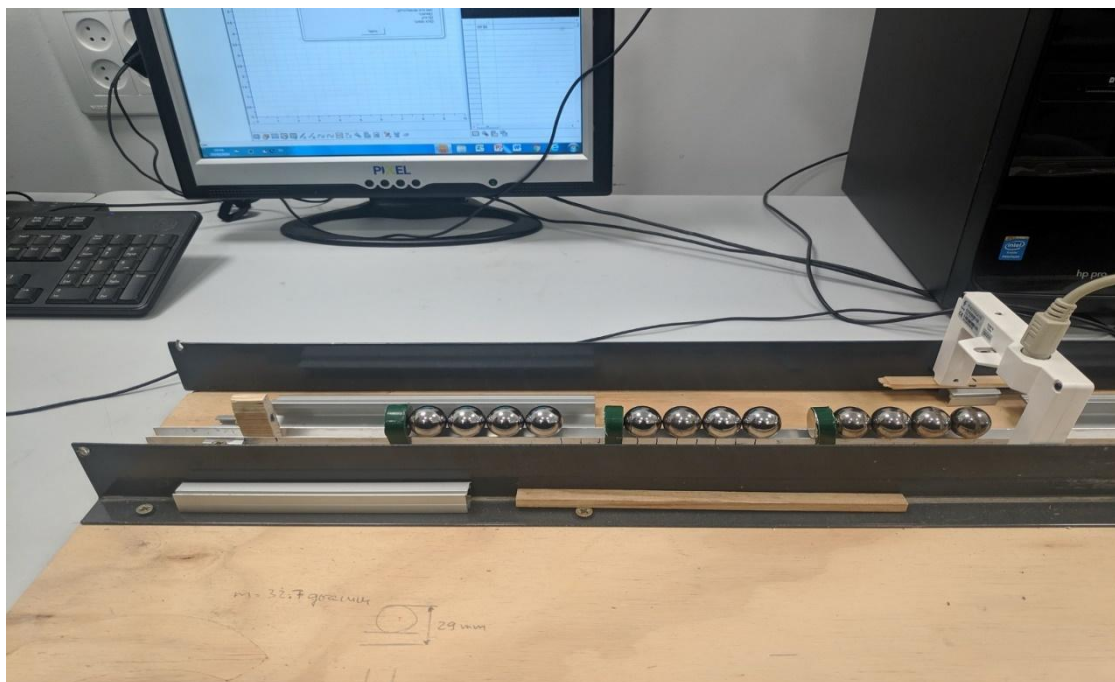
מציאת מספר תחנות אידיאלי לקבלת מהירות מקסימלית.

(* נספח 2)

כל המחקר מתבסס על חיפוש מספר תחנות ומרחק בינם כדי למצוא מהירות יציאה כדור חיצוני מתחנה האחרונה .

1. מהירות מקסימלית של כדור יוצא מתחנה 2 הוא שווה 3.042468 m/s בתנאי שתחנה השנייה (מגנט) ממוקמת במרחק 2 ס"מ מכדור שיוצא מתחנה ראשונה.
2. לפי סעיף הקודם הוחלט שכל תחנה הבאה תהיה ממוקמת באותו מרחק 2 ס"מ
- 2.1 ניתן לראות 3 תחנות וניסויים המרוכזים בטבלה

ניסוי עם 3 תחנות :



	$v=x/t$	x	$t=t_2-t_1$	t_{start}	t_{stop}
1	3.34448	0.02	0.00598	1.44347	1.44945
2	3.26797	0.02	0.00612	1.60352	1.60964
3	3.5752	0.02	0.00559	3.143735	3.149329

מהירות ממוצעת מתחנה 3 :

$$v = 3.395884 \text{ m/s}$$

ניסוי עם 4 תחנות :

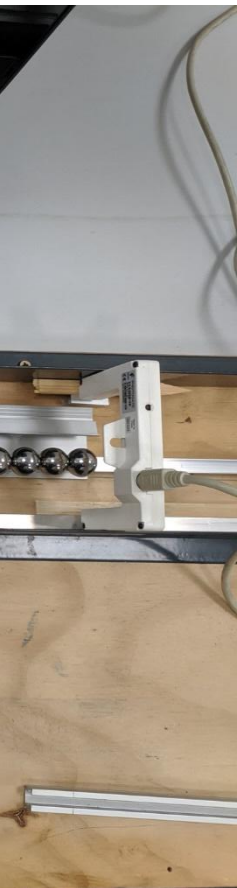


	$v=x/t$	x	$t=t_2-t_1$	t_{start}	t_{stop}
1	3.44716	0.02	0.0058	1.1095531	1.115355
2	3.4632	0.02	0.00577	1.32726	1.333035
3	3.5263	0.02	0.00567	3.0452833	3.050955

מהירות ממוצעת מתחנה 4 :

$$v = 3.478889 \text{ m/s}$$

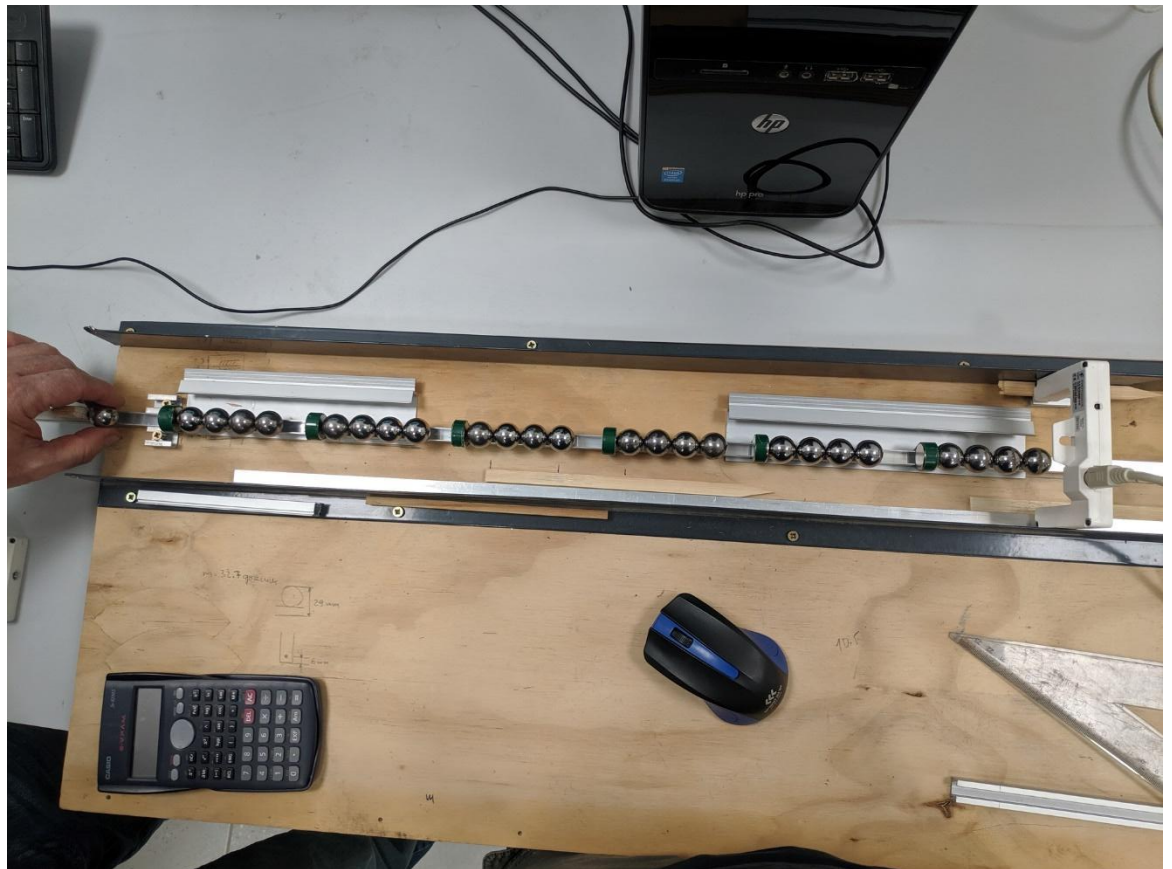
ניסוי עם 5 תחנות :



	$v=x/t$	x	$t=t_2-t_1$	t_{start}	t_{stop}
1	3.4462	0.02	0.0058	0.37642	0.382224
2	3.58423	0.02	0.00558	1.08698	1.09256
3	3.89067	0.02	0.00514	1.770837	1.775978

מהירות ממוצעת מתחנה 5 :

$$v = 3.64037 \text{ m/s}$$

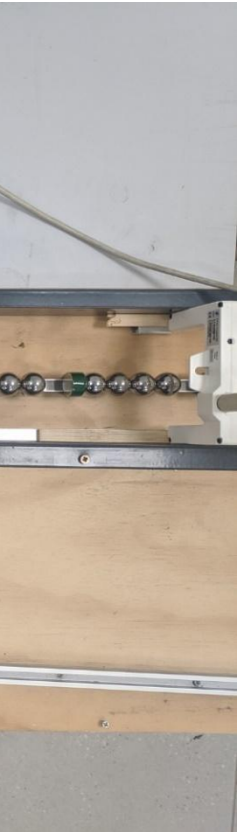


	$v=x/t$	x	$t=t_2-t_1$	t_{start}	t_{stop}
1	3.64133	0.02	0.00549	0.4573575	0.46285
2	3.89024	0.02	0.00514	2.4977464	2.502888
3	4.12797	0.02	0.00485	0.798935	0.80378

מהירות ממוצעת מתחנה 6 :

$$v = 3.88651 \text{ m/s}$$

ניסוי עם 7 תחנות :

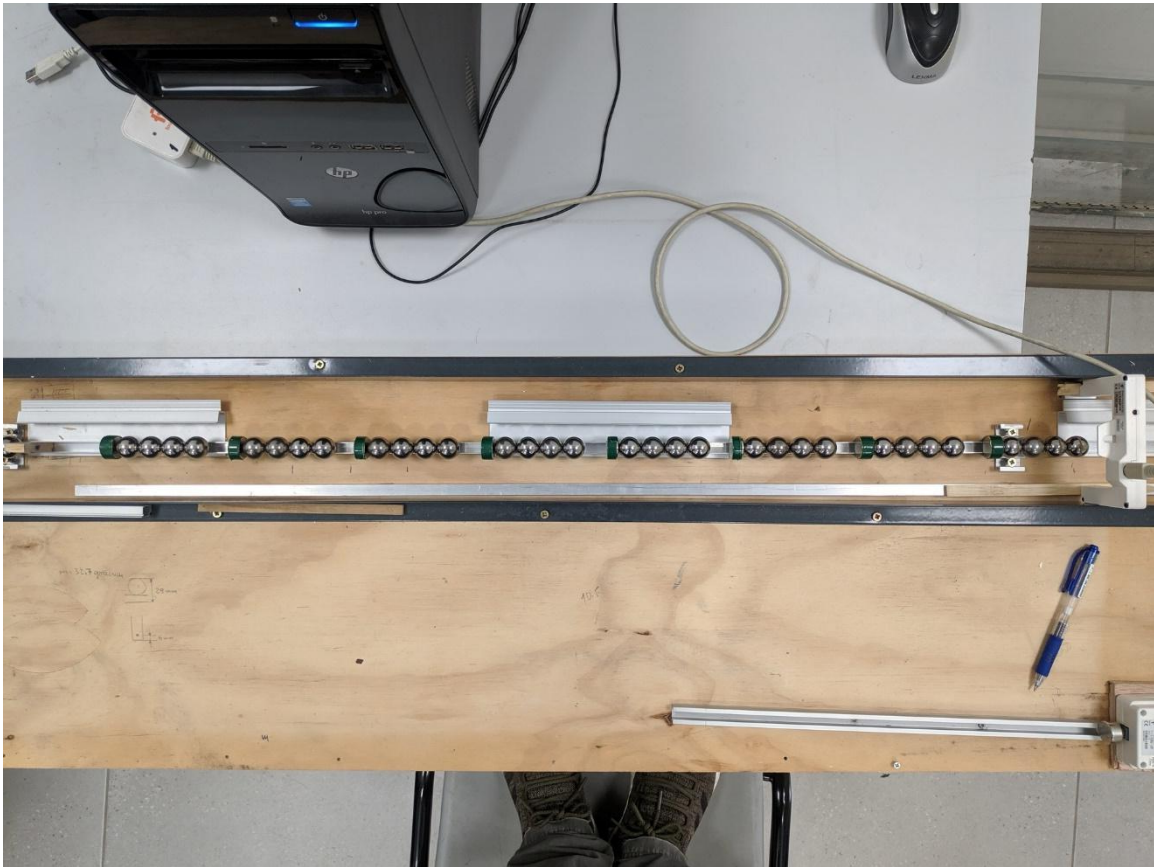


	$v=x/t$	x	$t=t_2-t_1$	t_{start}	t_{stop}
1	3.91007	0.02	0.00511	2.05638	2.06149
2	3.89024	0.02	0.00514	2.49775	2.50289
3	3.84689	0.02	0.0052	1.51505	1.52025

מהירות ממוצעת מתחנה 7 :

$$v = 3.8824 \text{ m/s}$$

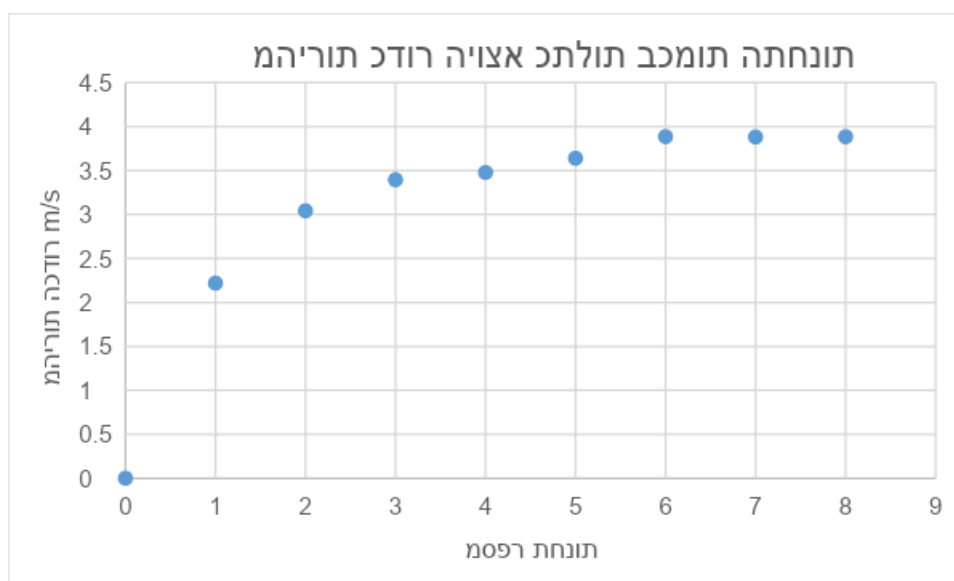
ניסוי עם 8 תחנות :



	t_{stop}
5	3.02848
7	2.4028876
2	1.32024

מהירות ממוצעת מתחנה 8 :

$$v = 3.8852 \text{ m/s}$$



התחלנו מתחנה אחת בלבד .

החלטנו לדייק במדידות על-ידי סבב ניסויים . כאשר בכל סבב הוספנו תחנה נוספת באותו מרחק (עד 6 תחנות סה"כ) .

התחלנו מ – 1cm בין כדור יוצא למגנט , סיימנו כאשר בסבב האחרון היה מרחק בין כדור היוצא למגנט 6cm .

בכל סבב ביצענו 3 ניסויים . בכל ניסוי באותו סבב היה מרחק זהה בין כדור יוצא בכל תחנה למגנט .



סיכום :

מטרתנו הייתה להגיע בסופו של דבר למהירות שחרור מקסימלית של כדור מהמערכת בהתאם לקריטריונים המשפיעים בשאלת החקר שלנו.

מצאנו בניסויים שיש לשים אחרי המגנט הראשון במערכת את ארבעה כדורים על מנת שמהירות שחרור הכדור האחרון תהיה מקסימלית.

על פי התאוריה הראשונית היה מובן שנוכל ליצור מערכת שתגרום לכדור להגיע למהירות גבוהה מאוד עם הוספת מספר רב של מגנטים (תחנות) . לשם כך – הגענו למציאת מרחק שצריך להיות בין כל שני מגנטים כדי שמהירות שחרור הכדור האחרון – הנמצא בסמוך למגנט השני תהיה מקסימלית.

הגענו למספר מקסימלי של המגנטים כאשר מהירות יציאת הכדור הפסיקה לעלות (מהירות נשאר קבועה) וכל הוספת מהירות מקסימלית עם הוספת תחנות נוספות אחרי תחנה 6 נשארה קבוע :

$$v = 3.88 \text{ m/s}$$

2. מקורות מידע

1. <https://www.hayadan.org.il> הידען

2. [/https://davidson.weizmann.ac.il](https://davidson.weizmann.ac.il) מכון דוידסון
3. יסודות הפיזיקה א' / יורם קירש
4. [/https://ptc.weizmann.ac.il](https://ptc.weizmann.ac.il) המרכז הארצי למורי הפיזיקה, משרד החינוך
5. http://www.eng.tau.ac.il/~vaad/back/TK_Tests_Folder/0542/0542.1810.pdf מכניקה של חלקיקים, אגודת הסטודנטים אוניברסיטת תל אביב
6. http://genphys.phys.msu.ru/rus/edu/elmag/elmag_book/?C=M;O=A
7. http://genphys.phys.msu.ru/rus/edu/elmag/elmag_book/Glava_10_book_2010.pdf
8. http://scask.ru/r_book_clel.php?id=62

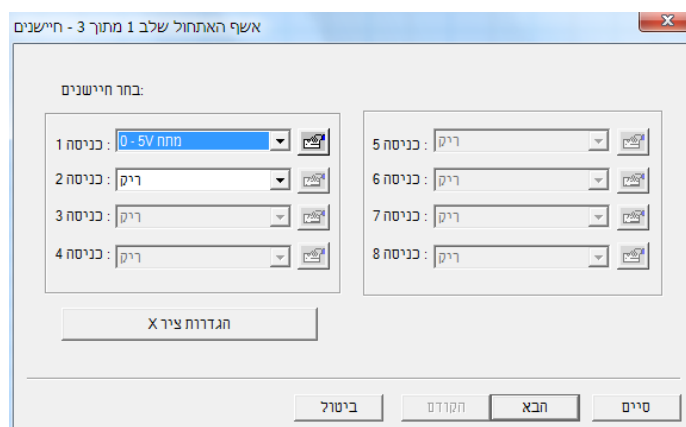
נספח 1 :

הכנת סט Multilab לניסוי

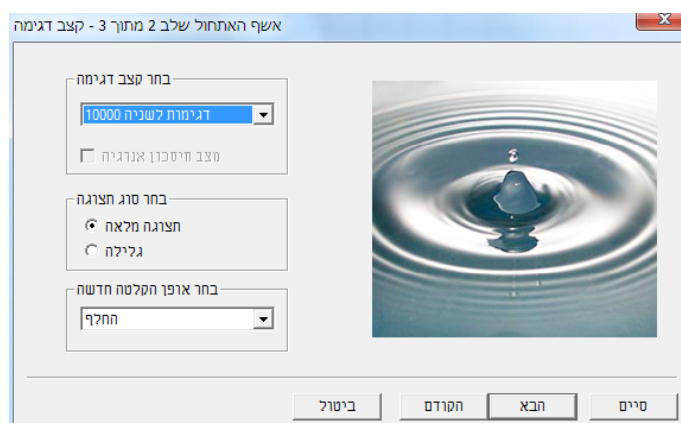
סט מולטילב זה שילוב חומרה ותוכנה למימוש ניסויים. קיים בקר עם 4 ערוצים כאשר בקר עצמו מתחבר באמצעות USB למחשב ול-4 ערוצים אפשר לחבר חיישנים שונים. אנחנו עובדים עם חיישן photogate (חיישן אור).

סדר פעולות להכנת ערכה Multilab :

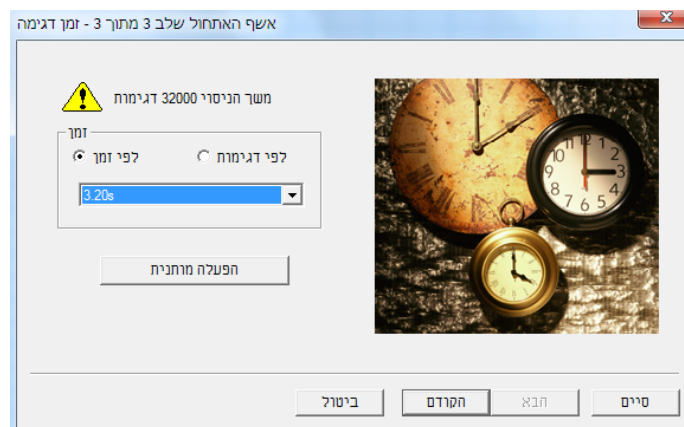
1. חיבור בקר עצמו לכניסה USB והמתנה עד לזיהוי מוחלט שלו על-ידי מערכת ההפעלה.
2. חיבור חיישני אור לכל הערוצים של הבקר
3. הפעלת ממשק
4. בחירת רזולוציה לניסוי בהגדרות של התוכנה
- 4.1 בוחרים מתח עבודה לחיישני אור (5V) :



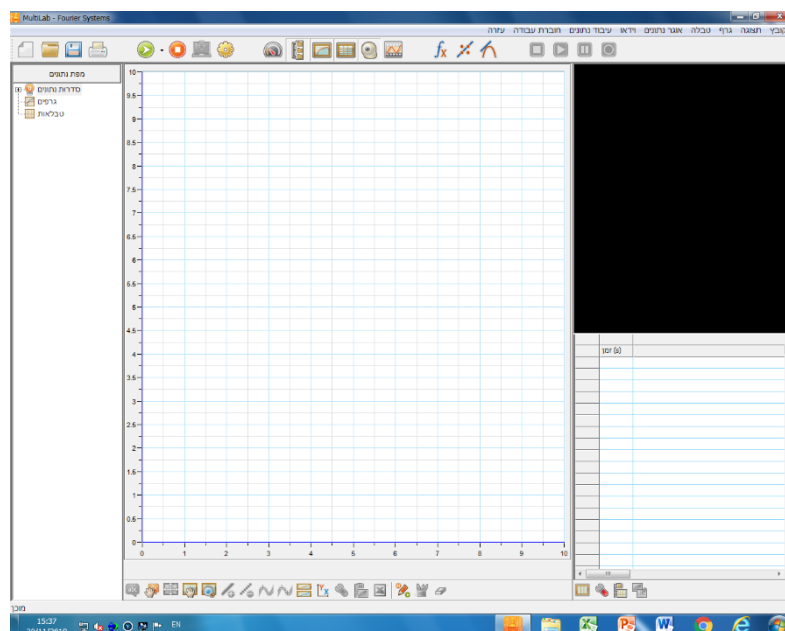
- 4.2 בחירת מספר דגימות לשנייה. יוצא כך ש 10000 דגימות לחיישן אחד או 2500 דגימות לכל 4 חיישני אור לפי הצורך עתידי:



5. בחירת זמן לניסוי : 3.2 שניות לניסוי :



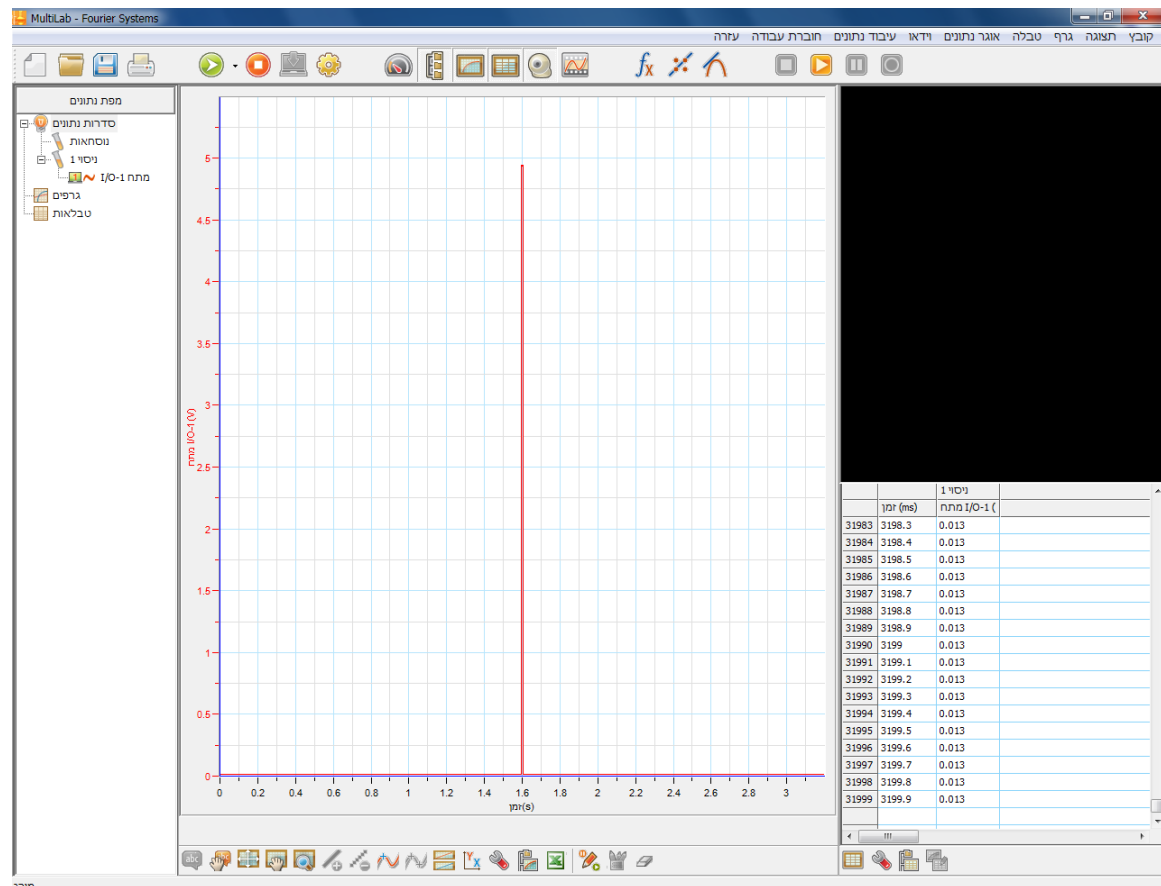
6. אחרי סיום מתקבל ממשק להצגת תוצאות :



תחילת לקיחת תוצאות לפני חישוב

אנחנו התחלקנו בתת תפקידים בזמן ניסוי :
 אחד מכניס כדור לתנועה - שני מפעיל את התוכנה כאשר מי שמפעיל
 את התוכנה אמור להפעיל אותה כמה מלישניות לפני כנסת כדור לפעולה של
 בן-זוג

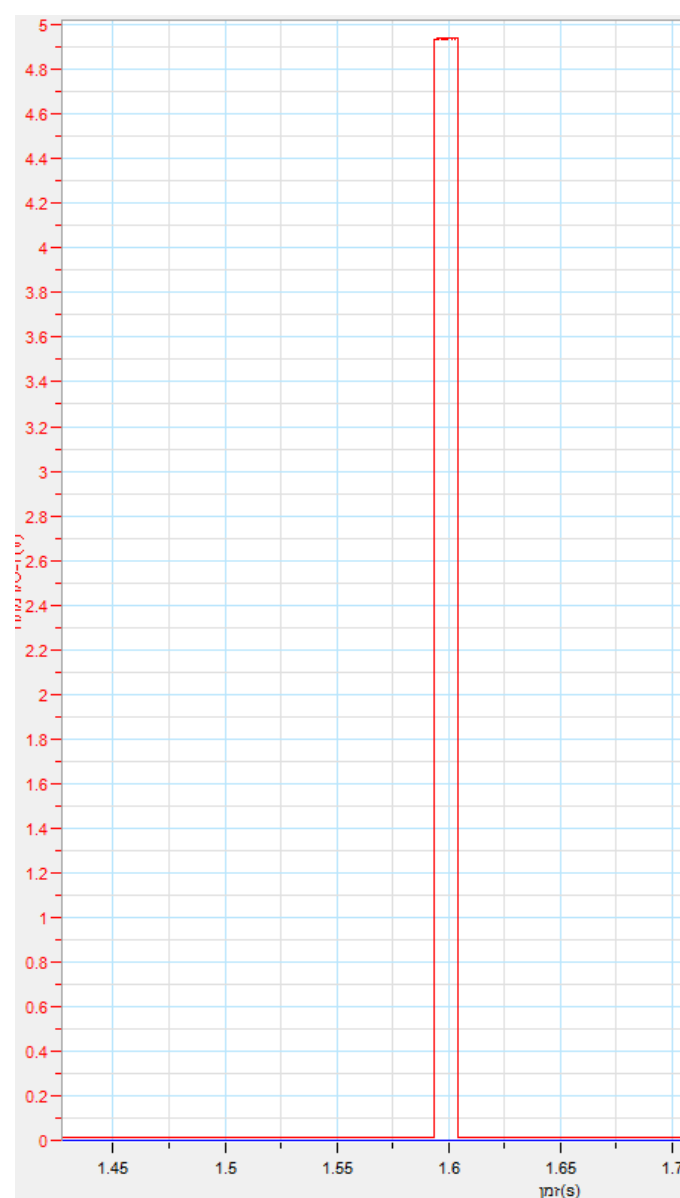
חיישן מספיק לזהות העברת כדור מולו ומציג גרף בממשק התוכנה :



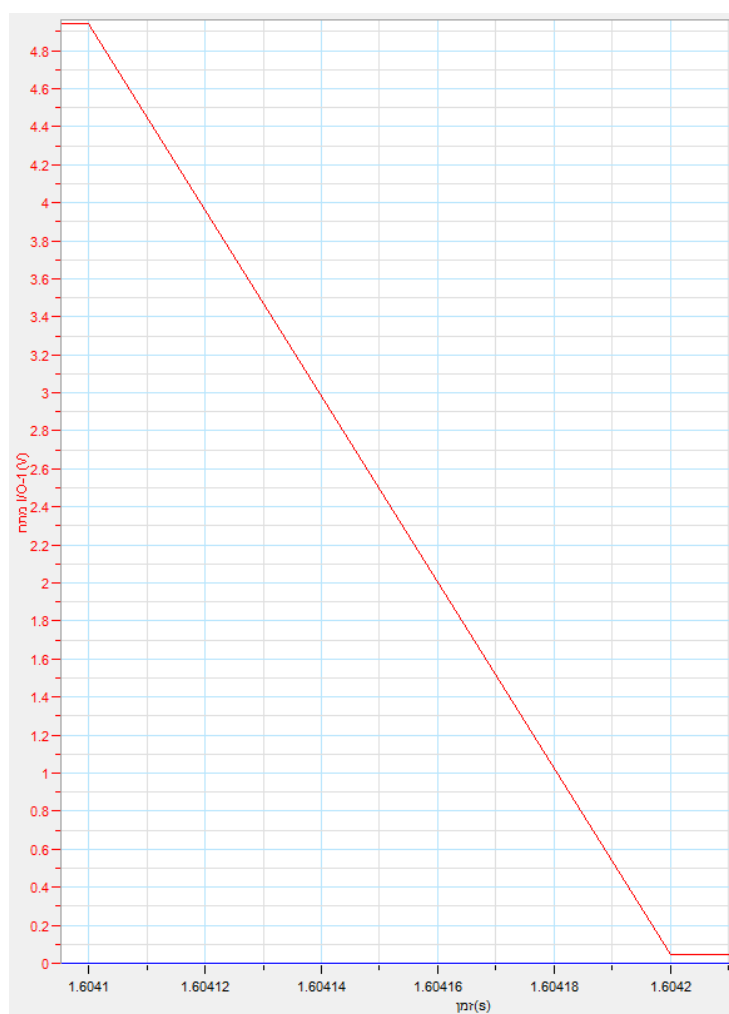
לקבלת תוצאות מדויקות מהגרף יש להגדיל אותו על-ידי זכוכית מגדלת שיש
 בממשק :



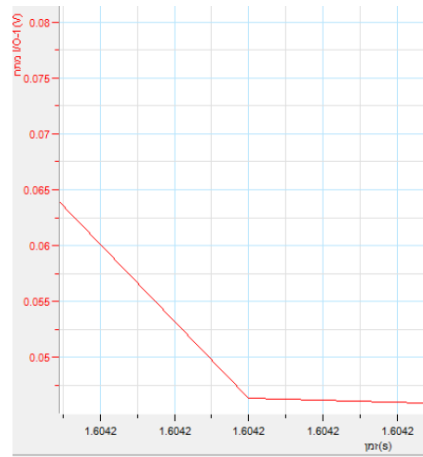
אנחנו החלטנו להגדיל גרף עד לרזולוציית מספר הכי גבוהה (5 מספרים אחרי
 0)
 הגדלה זאת נעשית במספר הגדלות עד שמגיעים לרזולוציה הכי גבוהה (5
 ספרות אחרי 0) :



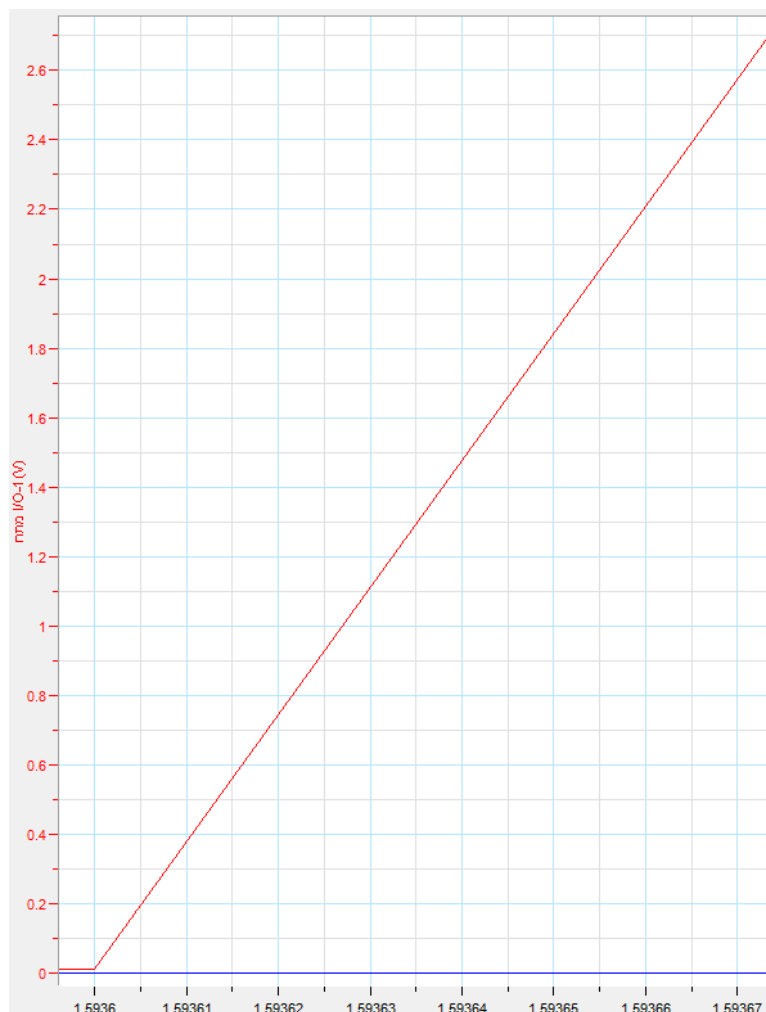
המשך להגדלת רזולוציה הנדרשת :



נקודה הכי ימנית בגרף – זה זמן יציאת הכדור מקרן אור :



נקודה הכי שמאלית זה זמן כניסה כדור לקרן אור :



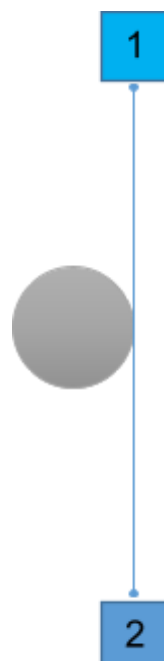
הפרש בין הנקודות (יציאה – כניסה) – זה זמן שכדור עובר דרך הקרן האור .
מסלול שעובר כדור מהווה גם קוטר שלו והוא תמיד קבוע : 20 מ"מ :



כיוון שכדור בזמן כניסה ויציאה מקרן אור מהווה גם גורם הפרעות בגלל צורה החלטנו לקחת תוצאות מגרף מציר Y (ציר מתח) בגובה שמתאים ל 2.5 וולט . 2.5 וולט זה אמצע של הגרף בציר Y .
התחלנו ניסוי מ-2 כדורים אחרי מגנט ועשינו 4 דגימות , בנינו טבלה וגרף עם תוצאות ניסוי : לכל סט (2 , 3 , 4 , 5 כדורים אחרי מגנט)
נספח 2 :

חיפוש מהירות מקסימלית של כדור היוצא מתחנה אחרונה כתלות במספר תחנות .

כדי לדעת מהי מהירות כדור שנמצא בתנועה ניתן לדעת על-ידי חישן אור שמודת זמן תנועת כדור :





משדר

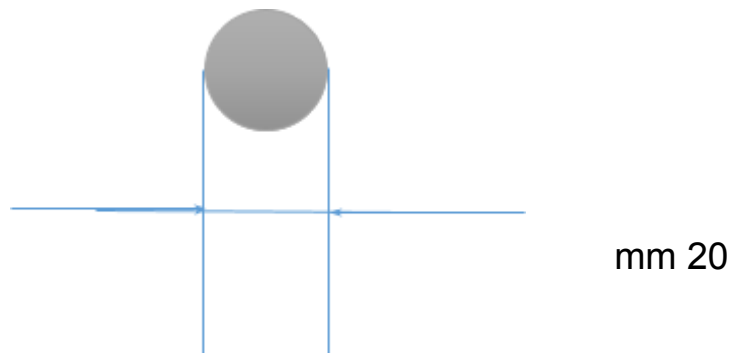
1

מקלט

2

כל הרעיון מתבסס על מדידת זמן ניתוק בין משדר לקלט . כאשר כדור עובר בינם הוא מנתק קשר בין משדר למקלט . אנחנו מקבלים את הזמן בעזרת תוכנה Multilab ומחשבים מהירות תנועת כדור .

מידה גאומטרית של הכדור : קוטר = 20mm

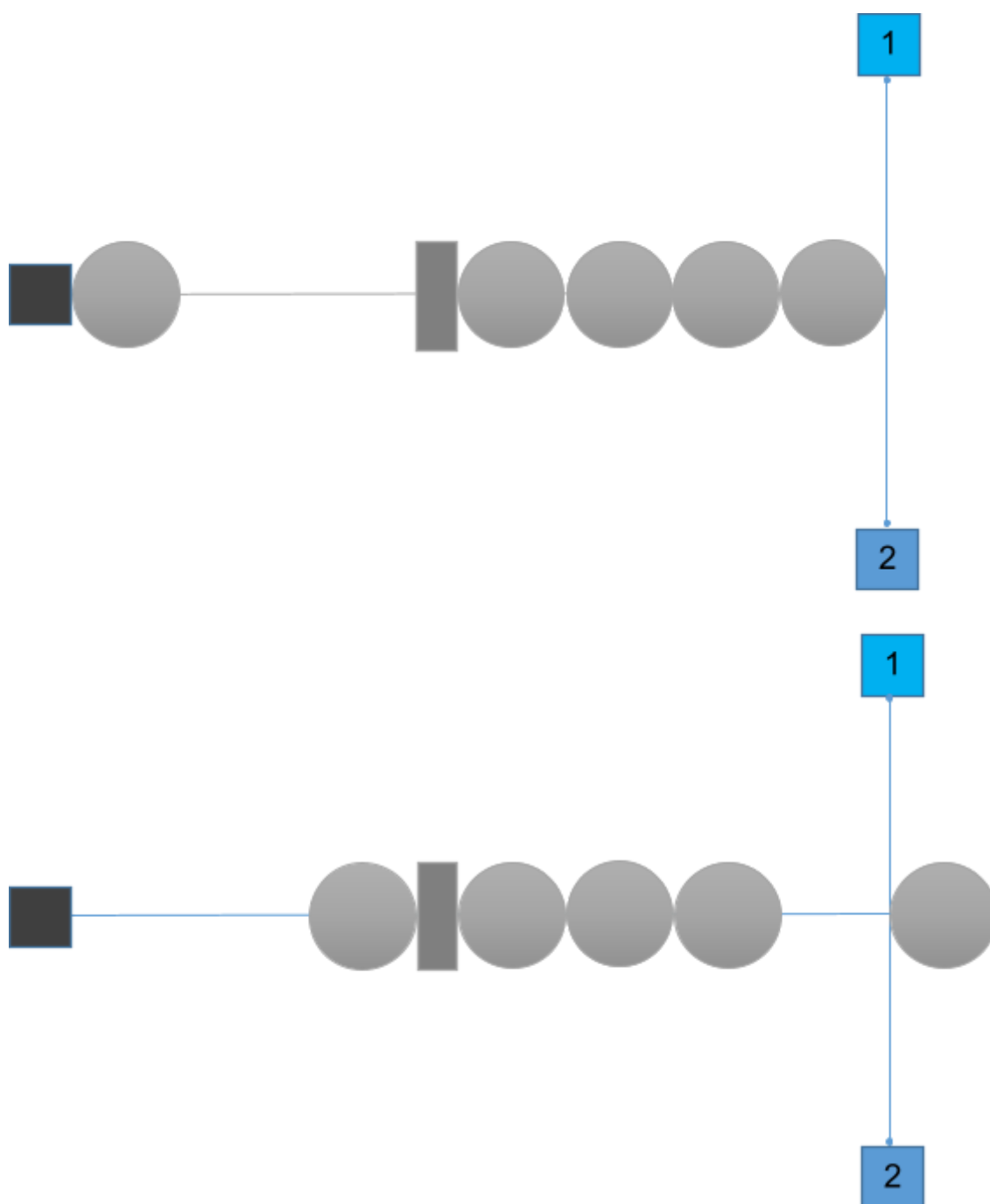


$$v = \frac{L}{t}$$

כאשר :

L - אורך מסלול (קוטר)
 t - זמן תנועה (זמן ניתוק בין משדר למקלט)
 v - מהירות תנועת כדור

במהלך ניסויים החלטנו למקם תחנה ראשונה במרחק של 1cm
מהכדור היוצא מתחנה 0 :



- סטופר לכדור המתקרב למגנט הראשון



- מגנט



תחנה כוללת מגנט + 4 כדורים מאחוריו :



מסילות לתנועת כדור :

