

מתקף ותנע

מילות מפתח:

תנע (Momentum), מתקף (Impulse), התנגשות אלסטית, התנגשות פלסטית.

הציוז הדרוש: מחשב, ממשק, חיישן כוח, חיישן תנועה, מסילת הרצה, 2 עגלות, 2 מסות מלבניות, 2 קפיצים.

מטרות הניסוי:

- להכיר את מערכת הניסוי: חיישן מרחק, חיישן כוח, ממשק למחשב ותוכנת ההפעלה.
- למדוד את הקשר בין מתקף ותנע בהתנגשות פלסטית.
- לבחון את אופי ההתנגשות בקפיץ.

1. תיאוריה

1.1 מתקף ותנע

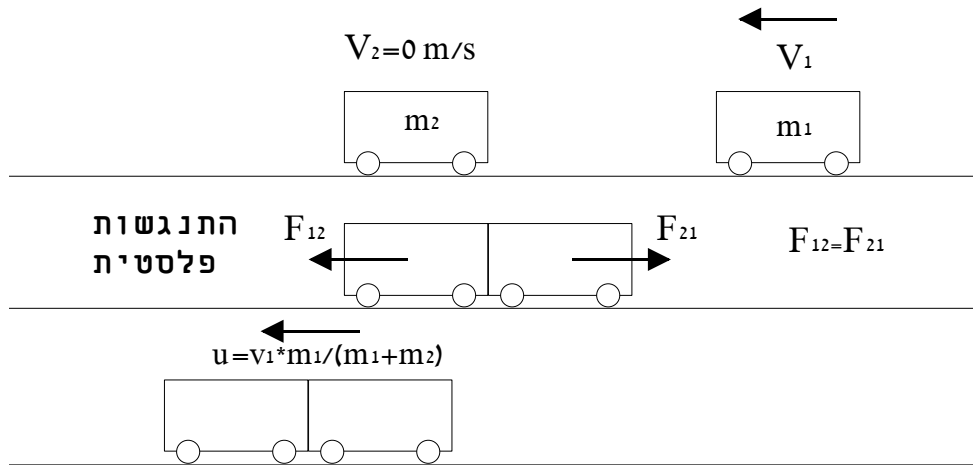
לפי החוק השני של ניוטון, כוח הפועל על גוף גורם לשינוי בתנע הגוף:

$$(1) \quad \vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}$$

כאשר הכוח פועל במשך זמן מסוים, האינטגרל על הכוח כפונקציה של הזמן נקרא מתקף: $\vec{J} = \int \vec{F} dt$, המתקף נמדד ביחידות של $N \cdot s$. תנע של הגוף, כידוע, הינו מכפלת מסה במהירותו: $\vec{p} = m\vec{v}$. מתקף מסוים יכול להיווצר ע"י הפעלת כוח גדול למשך זמן קצר (למשל מכת פטיש) או הפעלת כוח קטן אך למשך זמן ארוך (למשל לחיצה באמצעות מלחצת). צורתו האינטגרלית של החוק השני של ניוטון (1) מבטאת את הקשר שבין מתקף ותנע

$$(2) \quad \vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} d\vec{P} = \vec{P}(t_2) - \vec{P}(t_1) = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$$

1.2 התנגשות פלסטית



איור 1: שתי עגלות מעורבות בהתנגשות פלסטית.

באיור 1 ניתן לראות דוגמה של התנגשות פלסטית. עגלה ראשונה עם מסה m_1 נעה שמאלה במהירות קבועה v_1 ועגלה שניה נמצאת במנוחה. ברגע ההתנגשות העגלות האלה דוחפות אחת את השניה עם כוחות זהים בגודלם והפוכים בכיוונם (ראו איור 1). לאחר ההתנגשות שתי עגלות מתחברות ביחד וממשיכות לנוע הלאה כגוף אחד. מאחר והכוחות הפועלים זהים בגודלם, גם השינויים בתנע של העגלות יהיו זהים בגודלם (ראו נוסחה 2). כלומר התנע הכולל של המערכת בת שתי עגלות ($\vec{P}_1 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$) לפני התנגשות, יישאר ללא שינויים לאחר ההתנגשות ($\vec{P}_2 = (m_1 + m_2)\vec{u}$). היא מהירות משותפת של שתי עגלות לאחר ההתנגשות. אם נשווה את תנע של המערכת לפני ואחרי ההתנגשות ($\vec{P}_1 = \vec{P}_2$), נקבל ביטוי הנותן את גודל המהירות הסופית של \vec{u} והכיוון לאורך ציר ה-X:

$$(3) \quad u = \frac{m_1 V_1}{m_1 + m_2}$$

1.3 חקירת מתקף בהתנגשות עם חישן כוח

בניסוי זה נבחן את הקשר המופיע במשוואה (2) במהלך התנגשויות. בהתנגשות, בדרך כלל, משך הזמן בו פועל הכוח הוא קצר ביותר ולכן קשה לבחון את הכוח במשך ההתנגשות וכן קשה למצוא את המתקף. במערכת הניסוי בה נשתמש מותקן חישן כוח המודד את הכוח במרווחי זמן קצרים ביותר (בקצב של -500Hz כלומר 500 מדידות בשנייה) ומאפשר לנו לבחון את הכוח והמתקף במהלך ההתנגשות עצמה. בנוסף מותקן במערכת חישן מרחק המאפשר למדוד את מיקום הגוף המתנגש

במרווחי זמן קצרים וכך לאפשר לנו למדוד את שינוי התנע של הגוף. הנתונים מחיישן הכוח וחיישן המרחק מועברים דרך ממשק למחשב ועיבוד הנתונים נעשה באמצעות המחשב.

בניסוי זה נגרום להתנגשות בין עגלה ובין חיישן הכוח. כתוצאה מההתנגשות ישתנה התנע של העגלה, שינוי זה נמדוד באמצעות חיישן המרחק. את המתקף שמפעיל חיישן הכוח על העגלה במהלך ההתנגשות נמדוד באמצעות חיישן הכוח. נבצע את הניסוי כמה פעמים כאשר בכל פעם משתנה אופי ההתנגשות: התנגשות באמצעות קפיץ רך, קפיץ קשה, בלם גומי, פלסטלינה ודחייה מגנטית. בכל ניסוי נמדוד ונשווה את המתקף לשינוי בתנע העגלה וכן ננסה לבחון את אופי ההתנגשות.

התנגשות באמצעות קפיץ - הכוח שהקפיץ מפעיל על העגלה פרופורציוני לשינוי באורך הקפיץ, ההתנגשות מתחילה רק כאשר העגלה נוגעת בקפיץ. ע"י הצגת הכוח כפונקציה של המרחק נוכל לבחון האם אכן הקפיץ מקיים את חוק הוק: $F = -kx$ (הכוח פרופורציוני ישר להתארכות הקפיץ). באופן דומה ניתן לבחון את תלות הכוח במרחק עבור התנגשויות שונות בהן אופי ההתנגשות שונה (לדוגמא בדחייה מגנטית ההתנגשות מתחילה כבר ממרחק רב והכוח אינו תלוי באופן ליניארי במרחק).

1.4 חקירת ההתנגשות פלסטית בין שתי עגלות

מטרת המדידה הזאת היא לבדוק באופן ניסיוני את הנוסחה (3), כאשר אחת מהעגלות נמצאת במנוחה לפני ההתנגשות והשנייה נעה במהירות קבועה. לאחר האצה של העגלה הראשונה ניתן לה לפגוע בעגלה כבדה פי 3 ממנה ולהידבק אליה בעזרת בד נדבק (סקוטש). במהלך אנליזה של התוצאות, חשוב לשים לב כי אסור למדוד את המהירות של העגלות **מיד** לאחר ההתנגשות כמהירות סופית. בגרף המהירות ניתן לראות כי העגלות מבצעות כמה תנודות לאחר הפגיעה. זה נובע מהעובדה שמערכת של שתי עגלות אינה קשיחה לגמרי וברגע ההתנגשות פועלת כמו קפיץ.

1.5 מקדם תקומה

מקדם תקומה הוא גודל פיזיקלי המאפיין את מידת האלסטיות בהתנגשות בין שני גופים. מקדם התקומה הוא היחס בין הפרשי המהירות לאחר ההתנגשות לבין הפרשי המהירות לפני ההתנגשות.

$$(4) \quad e = - \left(\frac{u_2 - u_1}{v_2 - v_1} \right)$$

מתקף ותנע-

e - הינו "מקדם התקומה"

בהתנגשות פלסטית לחלוטין : $e = 0$.

בהתנגשות אלסטית לחלוטין : $e = 1$

בהתנגשות אלסטו – פלסטו : $0 < e < 1$.

מבחינת האנרגיה הקינטית:

בהתנגשות פלסטית לחלוטין : $E_{k(\text{התחלתית})} < E_{k(\text{סופית})}$ $\Delta E_k < 0$ האנרגיה הקינטית הופכת לחום.

בהתנגשות אלסטית לחלוטין : $E_{k(\text{סופית})} = E_{k(\text{התחלתית})}$ $\Delta E_k = 0$ האנרגיה הקינטית נשמרת.

בהתנגשות אלסטו – פלסטו : $E_{k(\text{סופית})} < E_{k(\text{התחלתית})}$ $\Delta E_k < 0$ האנרגיה הקינטית הופכת לחום.

❖ סרטוני הסבר :

<https://www.youtube.com/watch?v=fdeH6Ksedwk>

<https://www.youtube.com/watch?v=2FwhjUuzUDg>

1.6 שאלות הכנה

1. הגדר מהי התנגשות אלסטית לחלוטין. הוכח כי בהתנגשות אלסטית לחלוטין, היחס בין הפרשי המהירות לאחר ההתנגשות לבין הפרשי המהירות לפני ההתנגשות הוא 1.

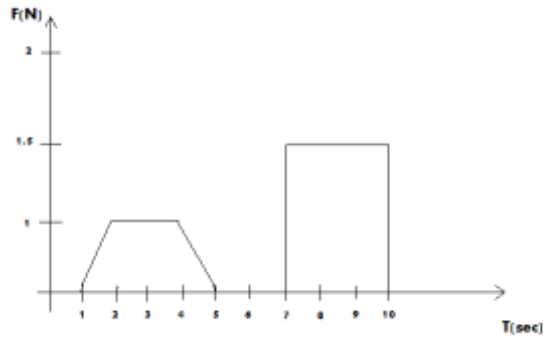
$$e = - \left(\frac{u_2 - u_1}{v_2 - v_1} \right) = 1$$

e - "מקדם התקומה"

2. הוכח כי בהתנגשות פלסטית לחלוטין מקדם התקומה $e = 0$. ואילו באופן כללי $0 < e < 1$.

3. בניסוי מתקף ותנע בוצעה הפעלת כוח פעמיים בהתאם לגרף המצורף. מסת הגוף $M = 2\text{Kg}$ בהנחה שמהירות ההתחלתית ב- $t = 0$ היא 1 מטר לשנייה מה תהיה מהירות הגוף כעבור 10 השניות הראשונות.

-מתקף ותנע-



4. גוף בעל $m = 400g \pm 1g$ מתנגש בקפיץ. מהירות הגוף לפני הפגיעה הינה :
 $v_1 = 0.60 \frac{m}{sec} \pm 0.05 \frac{m}{sec}$ ולאחר הפגיעה : $v_2 = 0.55 \frac{m}{sec} \pm 0.05 \frac{m}{sec}$ בכיוון
הנגדי.

i. חשב את המתקף והערך את השגיאה .

ii. האם ההתנגשות היא בקירוב פלסטית או אלסטית?

iii. מצא את מקדם האלסטיות e.

ב. נניח שאותו הגוף יתנגש בקפיץ אחר ומהירות הגוף לפני הפגיעה זהה.

המהירות שנמדדה לאחר הפגיעה היא : $v_2 = 0.40 \frac{m}{sec} \pm 0.05 \frac{m}{sec}$.

ענה על השאלה הקודמת עבור הנתונים האלו.

5. גוף בעל $m_1 = 100g \pm 1g$ ומהירות $v_1 = 0.60 \frac{m}{sec} \pm 0.05 \frac{m}{sec}$ מתנגש התנגשות

פלסטית בגוף אחר הנמצא במנוחה ומסתו הינה $m_2 = 600g \pm 1g$. מצא את

המהירות הסופית והערך את השגיאה.

6. תוך כדי התנגשות של גוף בקפיץ, הגלאי החכם במעבדה ביצע שתי מדידות

רציפות של הכוח שהגוף הפעיל על הקפיץ והמיקום של הגוף יחסית לגלאי.

להלן התוצאות :

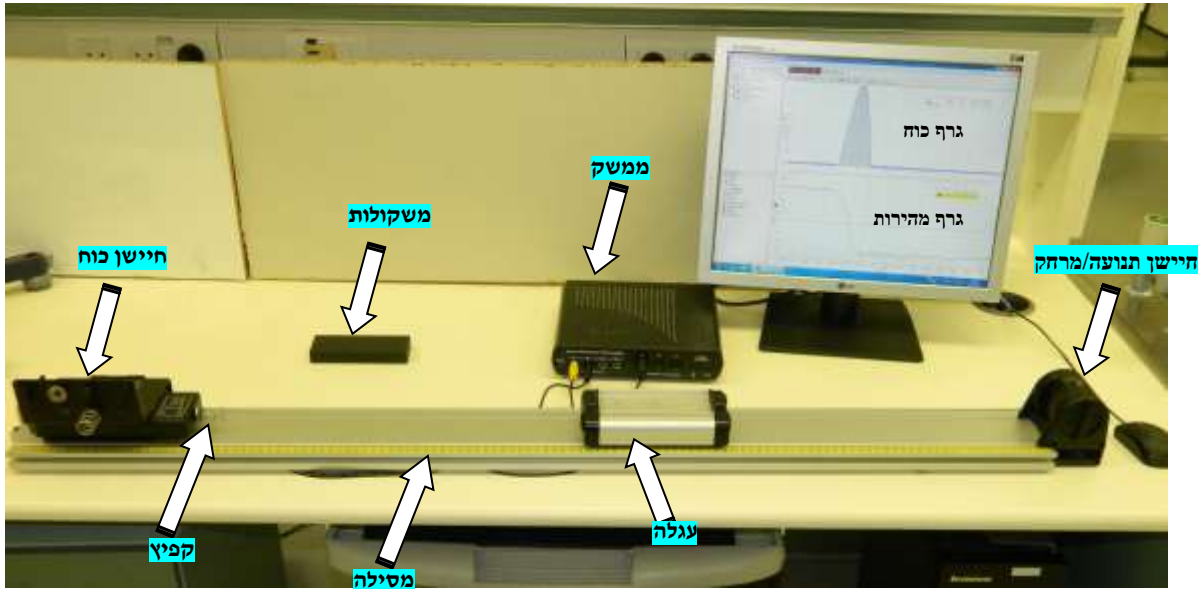
$$x_1 = 90cm \pm 0.01cm, F_1 = 10N \pm 0.1N$$

$$x_2 = 90.1cm \pm 0.01cm, F_2 = 25N \pm 0.1N$$

מצא את קבוע הקפיץ, הערך את השגיאה.

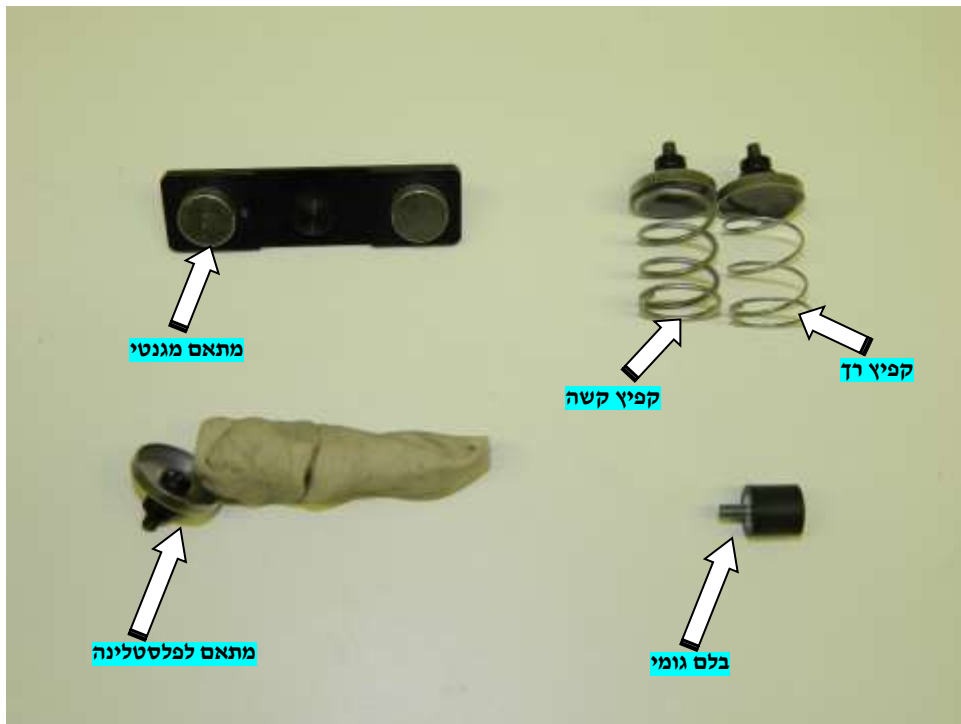
2. מהלך הניסוי

מערכת הניסוי כוללת: מסילה, עגלות בעלות גלגלים דקים (מעט חיכוך), חיישן מרחק, חיישן כוח, ממשק למחשב, תוכנת הפעלה DataStudio. המערכת מתוארת באיור 2.



איור 2: מערכת למדידת מתקף ותנע

כמו כן ישנם מספר מתאמים של חיישן כוח המתוארים באיור 3



איור 3: מתאמים לחיישן כוח

מסילה - המסילה ניתנת לפילוס באמצעות בורג הנמצא בקצה המסילה. ניתן להעמיד את המסילה בשיפוע ע"י הרמת קצה אחד של המסילה.

עגלה - העגלה הינה בעלת גלגלים דקים ולכן החיכוך בין העגלה לבין המסילה קטן. ניתן להניח על העגלה משקולות.

חיישן מרחק - חיישן המרחק מתבסס על גלי קול (בתחום האולטרא סאונד), החיישן שולח פולס של גל קול, הפולס מתקדם פוגע בעצם ומוחזר אל החיישן. החיישן מודד את משך הזמן עד שהפולס נקלט בחזרה ומתוך ידיעת מהירות הקול, מחשב את מרחק העצם. החיישן מסוגל לעבוד בקצב מקסימלי של 120Hz כלומר 120 פולסים בשניה. נתוני המרחק מועברים מהחיישן אל הממשק באופן דיגיטלי.

חיישן כוח - חיישן הכוח מתבסס על גביש פיזואלקטרי, גביש זה מייצר מתח חשמלי פרופורציוני לכוח המופעל על הגביש. המתח מועבר באופן אנלוגי אל בממשק אשר מתרגם את המתח לכוח.

ממשק המעבדה - הממשק מאפשר קליטת הנתונים מהחיישנים והעברתו אל המחשב, שם מעובדים הנתונים באמצעות תוכנת DataStudio.

תוכנת DataStudio - התוכנה מאפשרת: הגדרת מערך החיישנים ונתוני המדידה, הפעלת ועצירת ניסוי, הצגת הנתונים בצורת טבלה, גרף וכד' ועיבוד הנתונים.

2.1 הכנת והכרת מערכת הניסוי

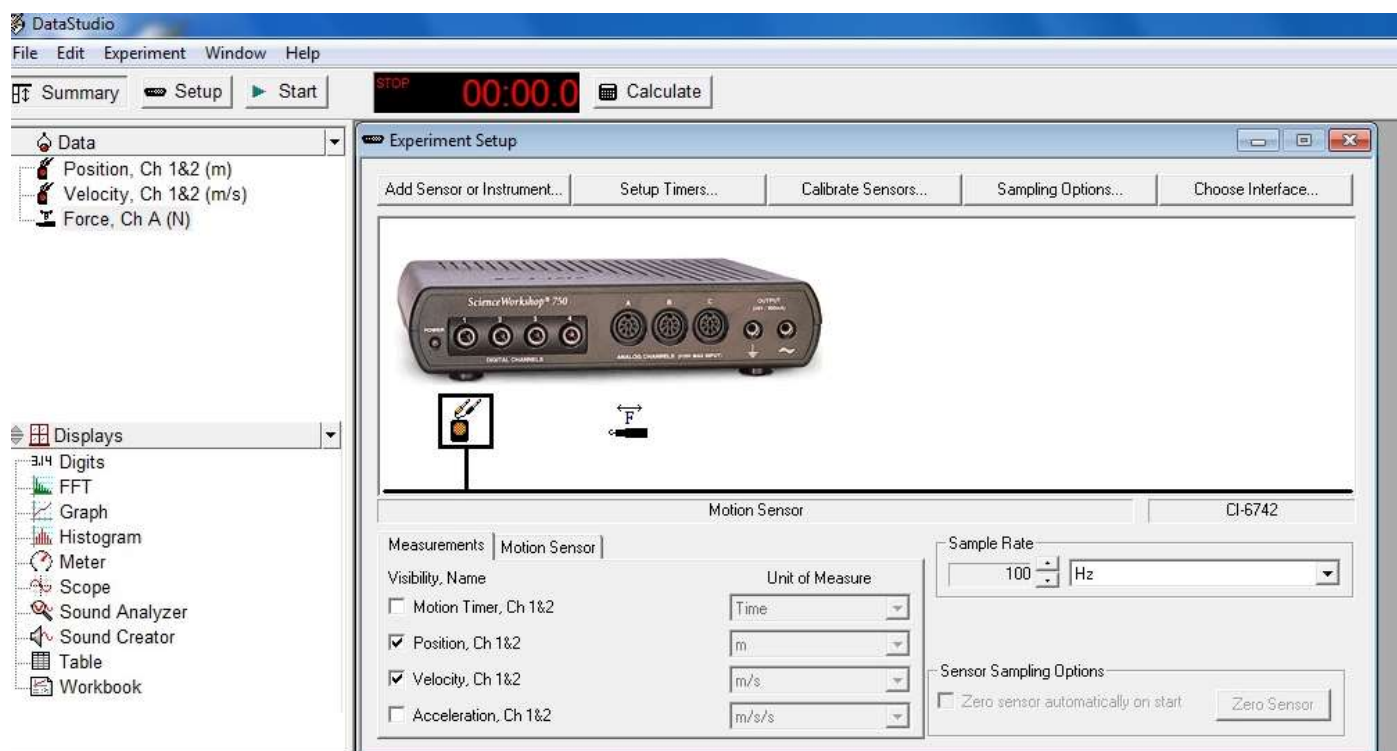
- וודאו שמסילת ההרצה מונחת על השולחן, בקצה אחד מחובר חיישן המרחק ובקצה השני חיישן הכוח על גבי מתאם. וודאו שחיישן המרחק נמצא במצב 0 כלומר פונה בכיוון אופקי.

- הניחו עגלה על גבי המסילה, פלס את המסילה בעזרת הבורג שבקצה כך שהעגלה לא תזוז.

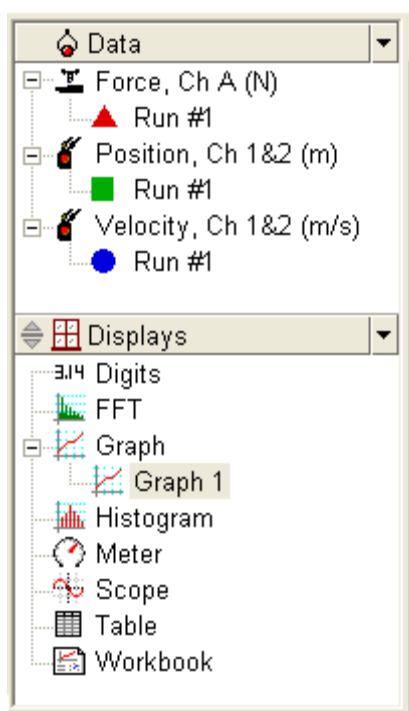
- במידה והמחשב עדיין לא עובד, הפעילו את ממשק המעבדה ואח"כ הפעילו את המחשב, תפתחו את תוכנת .

- תבחרו את האפשרות "Create Experiment", ייפתח חלון Experiment Setup, עליכם להגדיר את החיישנים בהם תשתמשו. ליחצו על שקע A ותבחרו חיישן כוח Force Sensor. ליחצו על השקעים 1 או 2 ותבחרו חיישן המרחק/תנועה Motion Sensor. המצב מתואר באיור 4.

-מתקף ותנע-





איור 4 : חלון Experiment Setup





בחלקו השמאלי של חלון העבודה ישנם שני חלונות, העליון Data מכיל את הנתונים מהניסויים השונים (כרגע מופיעים בו כוח Force, מקום Position ומהירות Velocity).




החלון התחתון מכיל את אפשרויות התצוגה, בניסוי זה נשתמש ב-Digits - תצוגה ספרתית, Graph - תצוגה בגרף ו Table - תצוגה בטבלה.

- ליחצו על חיישן הכוח  וקיבעו בחלון מתחת לתמונת הממשק את קצב המדידה ל-500Hz.

• ליחצו על חיישן המרחק  וקיבעו בחלון מתחת לתמונת הממשק את קצב המדידה ל-100Hz.

• לצורך הדגמה: תפתחו תצוגה ספרתית ותבחרו להציג את הכוח. הרכיבו את בלם הגומי על ראש חיישן הכוח, ליחצו על כפתור Tare הנמצא על חיישן הכוח (לשם כך עליכם להשחיל את אצבעך בין החיישן והמתאם). ליחצו בתוכנה על כפתור , הפעילו כוח על בלם הגומי ושימו לב כיצד משתנה התצוגה הדיגיטלית.

ליחצו על  לעצירת הניסוי. שימו לב שבחלון הנתונים מופיע הסימן Run #1 מתחת לכל גודל נמדד. למחיקת הנתונים תפתחו את תפריט Experiment ותבחרו Delete last data run, הנתונים יימחקו. תסגרו את התצוגה הדיגיטלית (תבחרו את חלון התצוגה וליחצו על Delete).



• תפתחו תצוגת גרף ותבחרו להציג את המקום. ליחצו בתוכנה על כפתור , דחפו את העגלה כך שתנוע לאורך המסילה. ליחצו על  לעצירת הניסוי. בגרף מופיע המרחק כפונקציה של הזמן. כדי לראות את המהירות, תגררו את Velocity מחלון הנתונים לתוך הגרף, חלון הגרף יתחלק לשני חלקים ויופיע גרף המהירות כפונקציה של הזמן. כדי ללכד את שני צירי הזמן ליחצו על המנעול  שבסרגל הכלים. למחיקת הנתונים תפתחו את תפריט Experiment ותבחרו Delete last data run, הנתונים יימחקו. תסגרו את תצוגת הגרף (תבחרו את חלון התצוגה וליחצו על Delete).







2.2 מדידת מתקף ותנע

2.2.1 התנגשות בקפיץ רך, מסילה אופקית

• וודאו שהמסילה אופקית, הרכיבו את הקפיץ הרך בראש חיישן הכוח, ליחצו על Tare בחיישן הכוח. ראו איור 2,3.

• הניחו את העגלה על המסילה, תדחפו את העגלה בעדינות לכוון חיישן הכוח, התחילו את המדידה ע"י לחיצה על , לאחר ההתנגשות ליחצו על . זו הרצה #1. (במידה וההרצה לא הצליחה, תמחקו ותנסו שוב).

• תציגו בגרף את הכוח ואת המהירות, לכדו את צירי הזמן  וליחצו על כפתור קנה המידה האוטומטי .

- תזוהו בגרפים את אזור ההתנגשות, ליחצו בסרגל הכלים על כפתור המיקוד  וסמנו בעזרת העכבר מסגרת סביב אזור ההתנגשות. הגרף יתמקד סביב אזור זה, הנקודות יסומנו בצבע צהוב.
- תמדדו את משך הזמן שבו התרחשה ההתנגשות ואת הכוח המקסימלי.
- למציאת המתקף, כלומר השטח שמתחת לגרף $\int \vec{F}(t)dt$, תבחרו בכפתור הסטטיסטיקה  שבסרגל הכלים ותבחרו ב Area, השטח יופיע על גבי הגרף ביחידות של N*s. ניתן להזניח את השגיאה בשטח המתקבל בתוכנה.
- למציאת השינוי בתנע, התבוננו בגרף המהירות. תמצאו את נקודות הזמן בהן החלה והסתיימה ההתנגשות (בהתאמה עם גרף הכוח). תמדדו מתוך הגרף בעזרת הכלי החכם  את המהירות לפני ואחרי ההתנגשות. במידה וגרף המהירות רועש (עם הרבה קפיצות), ניתן למדוד את המהירות מתוך גרף ההעתק (position). המהירות הינה השיפוע של גרף ההעתק. התבוננו בגרף ההעתק, תבחרו באמצעות העכבר תחום נקודות לפני ההתנגשות והתאם קו ישר באמצעות אפשרות Linear מתוך תפריט . קראו מתוך הנתונים את משוואת הקו הישר ואת הערכת השגיאה בפרמטרים. השיפוע של הקו הוא המהירות והשגיאה בשיפוע היא השגיאה במהירות. בצעו חישוב דומה עבור הנקודות אחר ההתנגשות על מנת להעריך את השגיאה במהירות הסופית.
- הערה: את השגיאות במדידות נקבע לפי הספרה האחרונה של התוצאות המוצגות בעזרת הכלי החכם.
- תבדקו את מידת האלסטיות של ההתנגשות ואת סוגה בעזרת חישוב מקדם התקומה.
- תשמרו את הגרפים. ניתן לשמור את הגרפים כתמונה דרך התפריט display->Export picture, או כמידע לפתיחה ב-Excel: display->Export data
- תמדדו את מסת העגלה בעזרת מאזניים ותחשבו את השינוי בתנע העגלה במהלך ההתנגשות.
- השוו בין המתקף לבין השינוי בתנע, הסבירו את ההבדלים אם ישנם.
- תגררו מתוך חלון  את מדידת המרחק  Position, Ch 1&2 (m) לכוון הציר האופקי של גרף הכוח על מנת לקבל גרף המתאר את הכוח כפונקציה של המרחק.

-מתקף ותנע-

- מקדו את הגרף סביב אזור ההתנגשות, בחנו האם אכן בהתנגשות מתקבל קו ישר $F(x)=-kx$. תמדדו את השיפוע ותחשבו את קבוע הקפיץ.

2.2.2 התנגשות בקפיץ קשה, מסילה אופקית

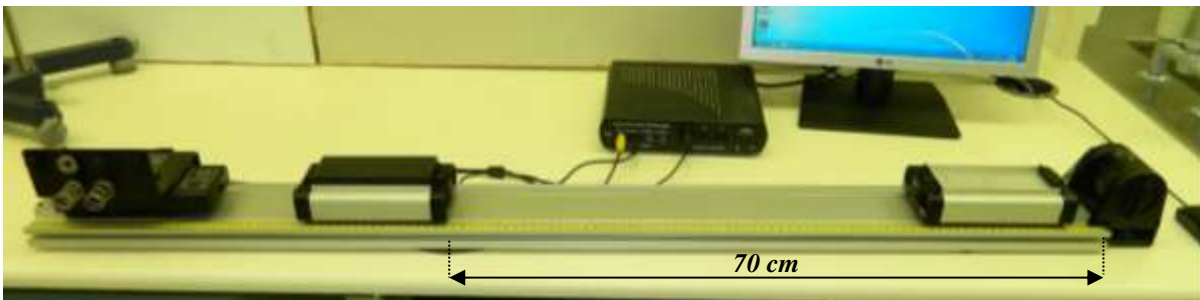
- החליפו את הקפיץ הרך בקפיץ קשה ותחזרו על הפעולות של הסעיף הקודם (2.2.1)

2.2.3 אופי התנגשות

- תציגו בגרף את הכוח כפונקציה של המרחק עבור כל אחת מההתנגשויות, תזהו את הקפיצים (תלות לינארית) ותמצאו את קבוע הקפיצים. תשמרו את הגרף והסבירו את התוצאות שהתקבלו.

2.2.4 מדידת מהירויות עגלות לפני ואחרי התנגשות פלסטית

- וודאו שהמסילה אופקית והניחו עליה שתי עגלות. על העגלה שתישאר במנוחה לפני התנגשות שים שתי משקולות זהות ותרחיק אותה בערך ב- 70 ס"מ מחיישן המרחק.
- את העגלה השנייה העמד מול חיישן המרחק כמתואר באיור 5, וודאו כי כתמי סקוטש שמודבקים לקצוות של העגלות נמצאים אחד מול השני.



איור 5: מיקום העגלות לניסוי התנגשות פלסטית

- תגררו את תג המהירות "Velocity" מהחלון **Data** והניחו אותו לתוך "Graph" שנמצא בחלון **Displays**, ליחצו על לחצן **Start**  להפעלת המדידה, האיכו (על ידי דחיפה קלה) את העגלה הראשונה (ללא המשקולות), כך שתתנגש ותיצמד לעגלה השנייה, ליחצו על **Stop**  לעצירת הניסוי לאחר ההתנגשות. בגרף

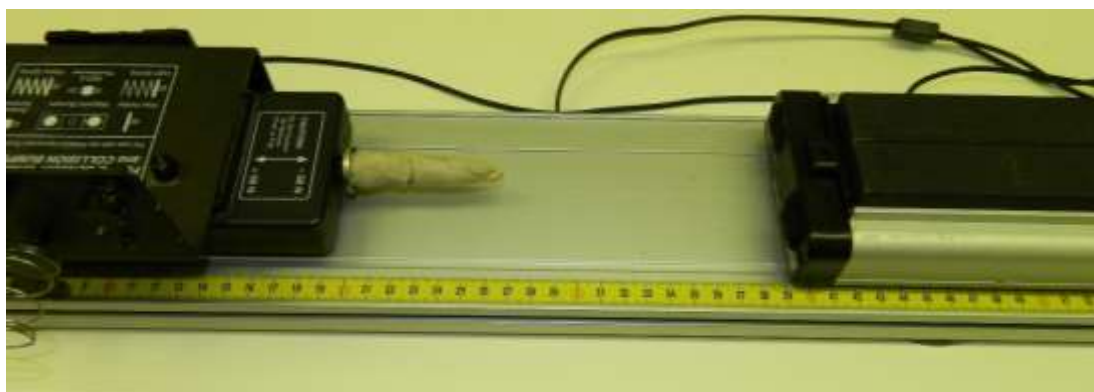
-מתקף ותנע-

מופיעה המהירות של העגלה הראשונה כפונקציה של הזמן. תמדדו את המהירויות של העגלה הראשונה לפני ואחרי הפגיעה בעזרת השיפוע של גרף ההעתק. תבדקו האם הן מתאימות לנוסחה (3).

- תבדקו את מידת האלסטיות של ההתנגשות ואת סוגה בעזרת חישוב מקדם התקומה.

2.2.5 התנגשות בפלסטלינה (ניסוי הרחבה, יבוצע על פי דרישת המדריך)

- ודאו שהמסילה אופקית, הרכיבו מתאם לפלסטלינה בראש חיישן הכוח והדבקו פלסטלינה על המתאם, ראו איור 6. ליחצו על Tare בחיישן הכוח.
- חזרו על הפעולות של הסעיף 2.2.1 (ללא מדידת קבוע הקפיץ)

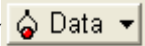



איור 6 : פלסטלינה בראש חיישן הכוח


2.2.5 התנגשות מגנטית (ניסוי הרחבה, יבוצע על פי דרישת המדריך)

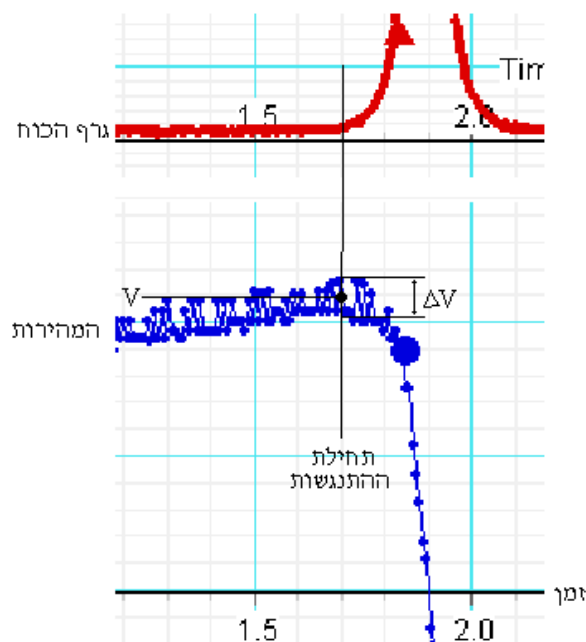
- ודאו שהמסילה אופקית, הרכיבו מתאם מגנטי בראש חיישן הכוח. ליחצו על Tare בחיישן הכוח.
- חזרו על הפעולות של הסעיף 2.2.1 (ללא מדידת קבוע הקפיץ)

3. עיבוד התוצאות

- עבור כל התנגשות בנפרד תציגו בגרף את הכוח ואת המהירות כפונקציה של הזמן. (לבחירת הנתונים שיוצגו בגרף השתמשו בתפריט ). מתוך גרף הכוח תמדדו את משך ההתנגשות, הכוח המקסימלי ותחשבו את המתקף (חישוב שטח מתוך תפריט ).

-מתקף ותנע-

- במידה ומוודדים את המהירויות מגרף המהירות (ולא משיפוע הגרף של ההעתק), תמדדו את המהירויות לפני ואחרי ההתנגשות באמצעות הכלי החכם , במידה וישנן קפיצות בגרף המהירות, העריכו את השגיאה ע"י הערכת הקפיצות בגרף המהירות. ראו לדוגמא איור 7.



איור 7: הערכת השגיאה במהירות

- השוו בין המתקף לשינוי בתנע עבור כל התנגשות.
- תבדקו את מידת האלסטיות של ההתנגשויות. היחס בין המהירות לאחר ההתנגשות לבין המהירות לפני ההתנגשות קובע את מידת האלסטיות. שימו לב להתנגשויות הבאות:
- בהתנגשות בפלסטלינה ישנו כוח שלילי לאחר ההתנגשות. חשבו מהו כוח זה? האם יש להביאו בחשבון בחישוב המתקף?
- בהתנגשות במגנטים הכוח שונה מאפס כבר בתחילת התנועה, חשבו כיצד יש לבחור את משך ההתנגשות? האם ניתן לציין נקודת זמן שבה הכוח גדל באופן משמעותי? תמצאו נקודה זו, תמצאו מתוך נתוני המרחק את המרחק בין צמדי המגנטים שבו הכוח המגנטי הופך משמעותי השוו מרחק זה למרחק שבין המגנטים על גבי חיישן הכוח, הסבירו.
- השוו בין ההתנגשויות השונות מבחינת משך ההתנגשות, הכוח המקסימלי, סוג ההתנגשות, השוואה בין מתקף ותנע והסיקו מסקנות.