

## תדריך ביצוע לניסוי אנרגיה וחיכוך.

### מטרות הניסוי :

- מדידת מעבר האנרגיה מאנרגיה פוטנציאלית לאנרגיה קינטית, ואימות עיקרון שימור האנרגיה.
- מדידת ההבדלים בשימור האנרגיה והתנע בין התנגשות אלסטית ופלסטית.
- חישוב העבודה של כוח החיכוך ומציאת מקדם חיכוך דינאמי.

### שאלות עזר להכנה :

- כיצד נחשב את העבודה של כוח החיכוך כאשר מתבצעת תנועה על משטח בעל חיכוך? אם מקדם החיכוך אינו ידוע לנו, מה יהיו צריכים להיות הגדלים שנצטרך למדוד?
- מהו חוק השימור המתאים להתנגשות פלסטית? מה הנוסחה שמתארת חוק זה?
- מהם חוקי השימור שמתאימים להתנגשות אלסטית?
- האם להערכתכם חוקי שימור האנרגיה יתקיימו במדידות במעבדה באופן מדויק? נסו לשער מה הסיבה לכך?
- כיצד ניתן לחשב קבוע של קפיץ? מהו הכוח שקפיץ מפעיל כתלות בהתארכות שלו? מה הביטוי לאנרגיה פוטנציאלית של קפיץ?
- כאשר מניעים עגלה על מישור, כיצד ניתן לפצות על איבודי אנרגיה כתוצאה מחיכוך?
- כאשר שני גופים (עגלה ומשקולת במקרה שלנו) קשורים ביניהם בחוט שאינו נמתח דרך סט של 3 גלגלות קבועות, מהו היחס בין התזוזה של גוף אחד לעומת התזוזה של הגוף השני? מהו היחס בין המהירויות של הגופים? למה? איזה גודל נשמר במערכת?
- מה יקרה כאשר גוף מתנגש התנגשות אלסטית בקו ישר עם גוף אחר שנמצא במנוחה, כאשר לשני הגופים מסות זהות? הוכח באמצעות נוסחה.

### רשימת ציוד

1. מסלול אלומיניום באורך 220 ס"מ
2. שתי עגלות התנגשות + גדר אופטית

3. סט משקולות לעגלות
4. שני מתאמים לחישנים
5. חישן מיקום (סונאר)
6. שני שערים אופטיים + מעמדים.
7. מגדל העברת אנרגיה.
8. שלוש גלגלות ( $I = 1.8 \times 10^{-6} [kg \times m^2]$ )
9. סט משקולות.
10. חוט
11. קפיץ שיגור + מעמד + מעמד כיוול.
12. בולם
13. פלס
14. סט נגררי חיכוך

#### תמונת המערכת

#### פירוט שלבי הניסוי

##### א' - כיוול המערכת

מטרת חלק זה של הניסוי היא לכייל את המערכת. עלינו לכייל את מכשירי המדידה, ולוודא שהמשטח שעליו נעות העגלות מכוון בשיפוע שיקזז בדיוק את החיכוך שנובע מתנועת העגלה על המשטח.

##### 1. כיוול השערים האופטיים :

לסרגל האופטי שנמצא על העגלה יש 4 שורות של שנתות. אנו צריכים למדוד ולספק לתוכנה את המרווח בין השנתות, בהתאם לשורה שאיתה נעבוד, נעשה זאת כפי שמצוין בהסבר על התוכנה. ניתן להניח שרוחב השנתות הוא קבוע ועל ידי כך לצמצם את שגיאות המדידה. באיזה שנתה שגיאת המדידה תהיה הנמוכה ביותר?

##### 2. כיוול חיישן התנועה :

כפי שכבר צוין, חיישן התנועה מחשב את מהירות הקול באוויר בעזרת הנתון של המרחק שאנו מזינים לו ולכן נתון זה צריך להיות מדויק. נשים לב כי חיישן התנועה אינו יושב על נקודת האפס של הסרגל הפרוס על גבי המסלול, על כן תחילה נעריך את המרחק אותו צריך להוסיף כדי להתאים בין קריאת החיישן למרחק על הסרגל. נכייל את החיישן כפי שמוסבר בהסברים על התוכנה ונוודא במקומות שונים מה הבדל בין קריאת החיישן לסרגל. אנו רוצים כי ההבדל יהיה קטן ככל האפשר וזהה לאורך כל טווח הקליטה של החיישן על כן נחזור על התהליך מספר פעמיים עד לתוצאה טובה.

חלק זה יתבצע בשיטה של ניסוי וטעייה עד שנראה שהכיוול מדויק. נסו לחשוב כיצד ניתן להקטין את השגיאה הנמדדת במהירות הקול שמחושבת על ידי הסנסור, על מנת שנוכל לכייל את המכשיר בקלות ובמהירות.

### 3. כיול הקפיץ :

על מנת שנוכל לחשב את האנרגיה הפוטנציאלית האגורה בקפיץ נצטרך לחשב את קבוע הקפיץ. נמדוד את התארכות הקפיץ עבור משקלים שונים ונחשב את קבוע הקפיץ. באיזו משוואה אנו משתמשים?

בשלב זה יש לבנות גרף של הכוח שהקפיץ מפעיל כפונקציה של ההתארכות שלו, ולקבוע את קבוע הקפיץ מתוך גרף זה.

### 4. פלוס המשטח :

באופן עקרוני אנו רוצים כי המסלול עליו נעות העגלות יהיה מפולס לחלוטין (למה?). אך למרות שהמערכת הינה יחסית חלקה עדיין ישנו חיכוך שיגרום לעיבוד אנרגיה, על כן נסיט קלות את המסלול כך שיווצר שיפוע קל לכיוון קצה המסלול שיקזז באופן מושלם את כוח החיכוך. כל המסלולים מפולסים כבר בצורה זאת, יש לוודא זאת על ידי הסעת עגלה על המשטח ומדידת המהירות לאורך התנועה. נרצה להגיע למצב שבו המהירות תהיה זהה וקבועה בשערים האופטיים ובחיישן התנועה. איך נוודא זאת? כמו כן נשתמש בפלס כדי לוודא שאין שיפוע רוחבי במסלול.

הערה : בשלב זה נדרשים כיוולים עדינים ביותר, אם בכלל. רצוי לוודא שיש בעיה עם שיפוע המשטח לפני שמשנים אותו. יש להתייעץ עם המדריך או עם לביא לפני כל שינוי במערכת.

התוצאה של שלב זה הינה גרף של מיקום כנגד הזמן של כל אחד מן המכשירים כאשר בעזרת הגרף יש להראות את הצלחת הפילוס וכן את חישובי המהירויות ושגיאותיהן.

### ב' - חוק שימור אנרגיה – משקולת

בחלק זה של הניסוי, אנו מאמתים את חוק שימור האנרגיה כאשר האנרגיה הפוטנציאלית הינה אנרגית כובד. כעת לאחר שוידאנו כי המערכת מכוילת לשביעות רצוננו נוכל להשתמש בתצוגת המחשב כמכשיר המדידה – כיצד נעריך את השגיאות?

בחלק זה אנו ממירים את האנרגיה הפוטנציאלית (אנרגית גובה) של המשקולת לאנרגית קינטית המתבטאת בתנועת העגלה והמשקולת. נחבר בקצה אחד של החוט משקולות על פי בחירתנו, והקצה השני של החוט מחובר לעגלה. המערכת בנויה באופן כזה שכאשר נזיז את העגלה לאחור על המשטח, המשקולת תתרומם בהתאם למרחק. נוכל למדוד את הגובה ההתחלתי של המשקולת על פי המרחק שבו הזזנו את העגלה. לאחר קביעת הגובה יש להפעיל את המדידה ולשחרר את העגלה.

נוודא באמצעות הנתונים שהתקבלו האם האנרגיה של המשקולת הומרה כולה לאנרגיה קינטית. שימו לב מהם כל חלקי המערכת שנמצאים בתנועה בתהליך זה.

נחזור על תהליך זה מספר פעמים בגבהים או משקלים שונים כדי לקבל קשר בין האנרגיה ההתחלתית לסופית הראו קשר זה. האם הצלחנו להראות את חוק שימור האנרגיה?

שימו לב שאופן שחרור העגלה גורם לשגיאת מדידה. נסו לקחת מספר כזה של מדידות שיאפשר את הקטנת השגיאה.

הערה : נסו לחשוב האם יש מעברי אנרגיה נוספים שהתעלמנו מהם והאם הם משמעותיים. שימו לב כי מדדתם את כל הגדלים הנחוצים.

#### ג' - שימור אנרגיה – קפיץ

חלק זה דומה לחלק הקודם של הניסוי, אך כעת האנרגיה שמסופקת לעגלה מקורה בקפיץ. נוודא את חוק שימור האנרגיה במעבר מאנרגיה פוטנציאלית אלסטית של הקפיץ לאנרגיה קינטית של העגלה.

תחילה יש לקבע את הקפיץ לתחילת המסלול, ולקבוע את מידת התארכות הקפיץ על ידי התפס מהי האנרגיה הנאגרת ע"י הקפיץ? לאחר שחרור העגלה נמדוד את המהירות שלה ונשווה את האנרגיה הקינטית, עם האנרגיה שסופקה לעגלה על ידי הקפיץ. מהו המשתנה הקובע את כמות האנרגיה האגורה בקפיץ? שנו אותו וחזרו על תהליך שיגור העגלה מספר פעמים. הראו את הקשר בין האנרגיה ההתחלתית לסופית. האם הצלחנו להראות את חוק שימור האנרגיה?

הערה : נסו לחשוב האם יש איבוד אנרגיה בתהליך, וכיצד ניתן לצמצם אותו.

#### ד' - התנגשויות (אלסטית ופלסטית)

בחלק זה של הניסוי נאמת את חוקי שימור האנרגיה והתנע בהתנגשות פלסטית (שימור תנע) ואלסטית (שימור תנע ואנרגיה).

נשים לב שלעגלות יש שני צדדים שונים. באחד הצדדים קיים מגנט, וכאשר העגלה תתקרב לעגלה נוספת הן ידחו אחת את השנייה. הצד השני יגרום להצמדות העגלות לאחר התנגשות בעזרת הסקוצ'ים.

הניסוי יתבצע באופן הבא :

נניח עגלה אחת באזור מרכז המסילה בין שני השערים האופטיים. נסיע עגלה נוספת כך שתתנגש בה ונמדוד את מהירות העגלות לפני ואחרי ההתנגשות. נשים לב איזה תוצאות שייכות לאיזה עגלה ובאיזה חלק של התנועה.

את התוצאות נאמת מול חוקי שימור האנרגיה ושימור התנע.

יש לשים לב שאנו לא מאבדים אנרגיה בזמן ההתנגשות עצמה (בעיקר בהתנגשות האלסטית – יש להקפיד שהעגלה הראשונה עוצרת לגמרי לאחר ההתנגשות). ניתן לצמצם זאת על ידי בחירת מהירות מתאימה לעגלה. אם נשמור על יחס המסות קבוע, ונשגר במהירויות שונות מה יהיה היחס בין המהירויות? הצג זאת בגרף.

#### ה' - חיכוך

עד כה עסקנו בשימור אנרגיה בחלקו האחרון של הניסוי נראה מערכת בה האנרגיה אינה נשמרת. המערכת תפסיד חלק מן האנרגיה שלה בגלל העבודה שעושה כוח החיכוך. בחלק זה נרצה למצוא את מקדם החיכוך בין המסלול שעשוי מאלומיניום למשטח פרספקס בנגרר החיכוך.

תחילה נעריך את מקדם החיכוך ע"י משוואת האנרגיה כך שנמדוד את כמות האנרגיה שהולכת לאיבוד ע"י העבודה שמבצע החיכוך. נשווה זאת לערך שנקבל מההתאמה של התנועה למשוואת הכוחות.

הניסוי יתבצע באופן הבא :

בחלק הראשון ניקח את העגלה שמחוברת להתקן החיכוך, ונניח אותה במרכז המסלול. נשגר את העגלה הנוספת באחת הצורות מהחלקים הראשונים (משקולת או קפיץ) ונניח לה להתנגש לאחר שנמדוד את מהירותה בהתנגשות אלסטית בעגלה הראשונה ונמדוד את המרחק שלאורכו עבודת כוח החיכוך "העלימה" את האנרגיה.

נתחיל את פעולת המערכת במספר מצבים שונים (באנרגיה שונה). מתוך השוואה של אנרגיית המערכת לפני ההתנגשות, לעבודה שביצע כוח החיכוך, נוכל לחשב את מקדם החיכוך. יש להקפיד בחלק זה שהמסות של העגלות זהות כדי שההתנגשות תהיה "נקייה". מה נעשה עם העגלה ממשיכה לנוע לאחר ההתנגשות?.

בחלק השני נדחוף את העגלה מספר פעמים, בתנאים שונים של מהירות וכוח חיכוך, נמדוד את ההאטה מתוך גרף המיקום כפונקציה של הזמן שמודד חיישן המיקום. את התוצאות המתקבלות נשווה לתנועה בתאוצה קבועה. מפרמטרי ההתאמה נחלץ את מקדם החיכוך, ונוודא שגודלו אינו משתנה במדידות השונות.

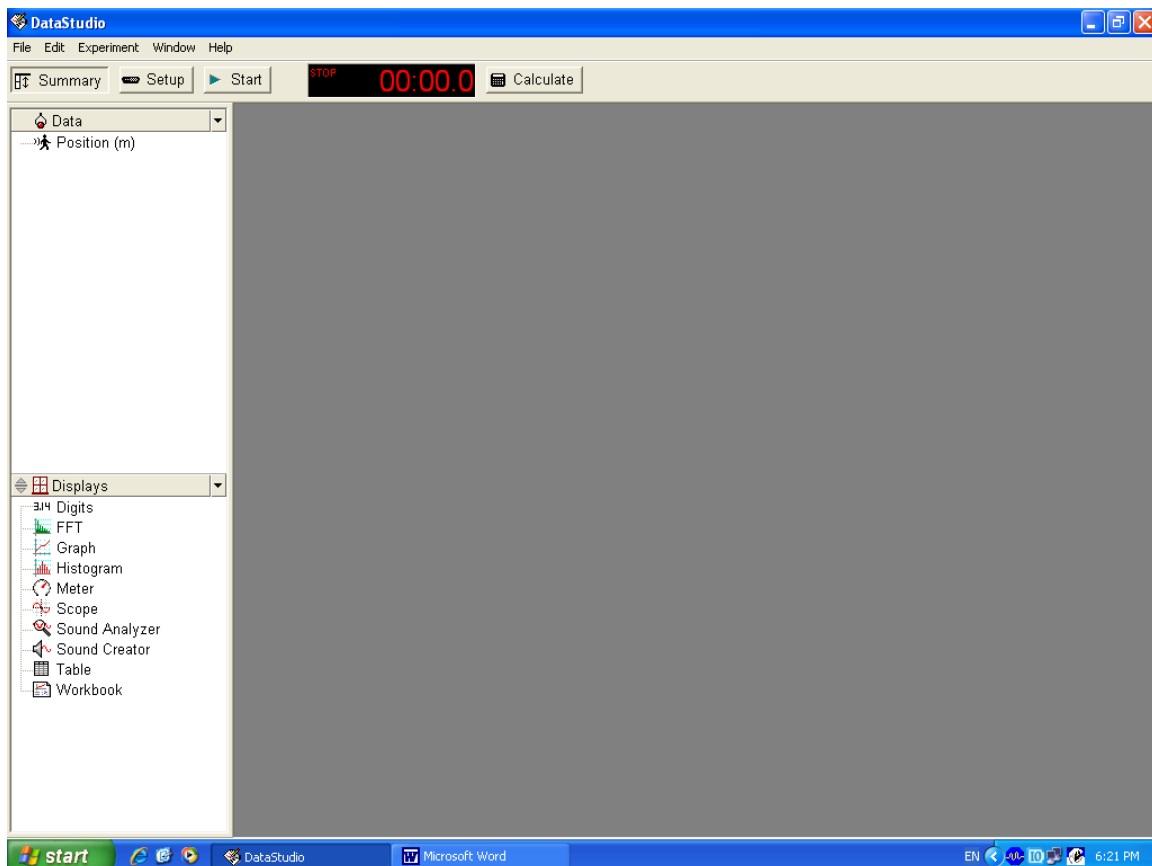
נשווה את הערכים לערך התיאורטי של חיכוך סטטי בין פרספקס לפלדה  $\mu = 0.4$

## נספח א' – תוכנת Data Studio

סביבת העבודה בה אנו עובדים בניסוי זה הינה התוכנה data studio שהינה התוכנה הייעודית להפעלת החישנים של חברת PASCO בהם נשתמש. ע"מ לפתוח את התוכנה יש להקיש על האיקון "data studio" הנמצא על שולחן העבודה.

כעת יופיע חלון עם 4 אפשרויות ואנו נבחר באפשרות העליונה מצד ימין `create experiment`.

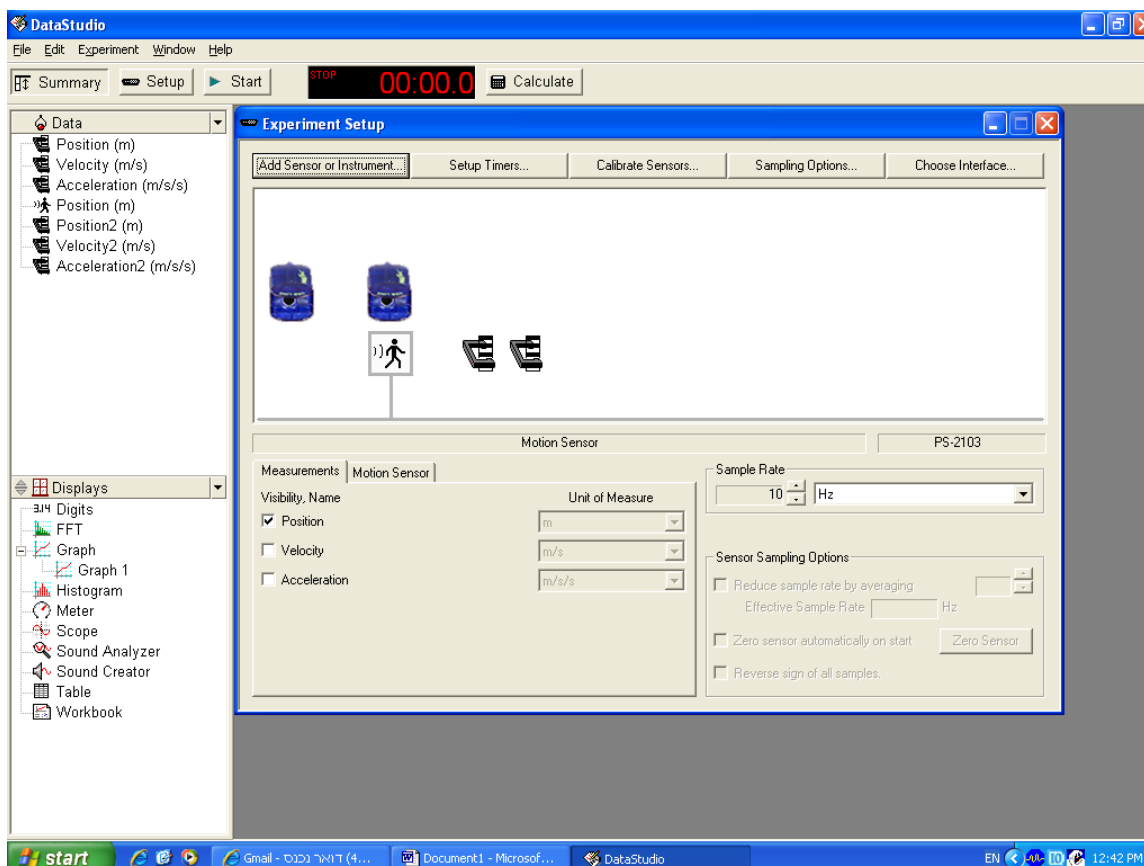
נלחץ על `cancel` בחלון בחירת ההתקנים שנפתח אוטומטית וכעת אנו נמצאים בסביבת העבודה שלכם המכילה שלושה אזורים, Data בו אנו רואים איזה חישנים מחוברים ואיזה נתונים אנו אוספים מהם, Display בו מוצגות האפשרויות לכלים ותצוגה ואזור רק בו יופיעו הגרפים והטבלאות:



תמונה 1 : מראה כללי של האזורים השונים בתוכנה

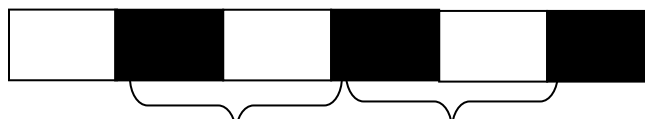
## הוספת חיישנים

באופן רגיל יופיע בחלונית Data מכשיר אחד המסומן באיקון של אדם הולך (  ). זהו חיישן המיקום אם איקון זה לא מופיע נוסף אותו בהמשך. כעת נוסיף את שני החיישנים האחרים, נעשה זאת ע"י לחיצה על כפתור ה- Setup בשורת הכפתורים העליונה. בחלון שיפתח אנו רואים את כלל הדברים המחוברים למחשב (ושיכים לתוכנה) כך מופיעים שני המתאמים המחוברים למחשב (בכחול) וכן איקון האדם המתרחק המציין כי חיישן המיקום מחובר. אם הוא אינו מחובר נלחץ לחיצה כפולה על אחד המתאמים או על כפתור Add Sensor or Instrument בחלק העליון של החלון. בתפריט שיפתח נבחר את ההתקן motion sensor. כעת נוסיף את שני החיישנים הנוספים ע"י בחירה של כפתור setup timers בשורת הכפתורים העליונה בחלון ונבחר את החיישן photo gate and picket fence מהתפריט שמופיע, נחזור על זה שוב לקבל גם את החיישן השני מאותו הסוג. זוהי התצורה הרצויה של החלון לאחר הבחירות :



תמונה 2 : חלון Setup לאחר הוספת החיישנים

כדי לשנות את ערכי החיישנים נבחר את אחד מהם ע"י לחיצה על האיקון שלו בתוך החלון, וחלקו התחתון של החלון ישתנה לאפשרויות של החישה הנבחרת. כך ע"י לחיצה על האיקון של השער האופטי ובחירה של לשונית Constants נוכל להגדיר את המרווח בין השנתות בו תשתמש התוכנה (המרווח בין תחילת פס שחור לתחילת הפס השחור הבא בהתאם לשנתות שבחרנו להשתמש בהן בהתאם לגובה קרן הלייזר).



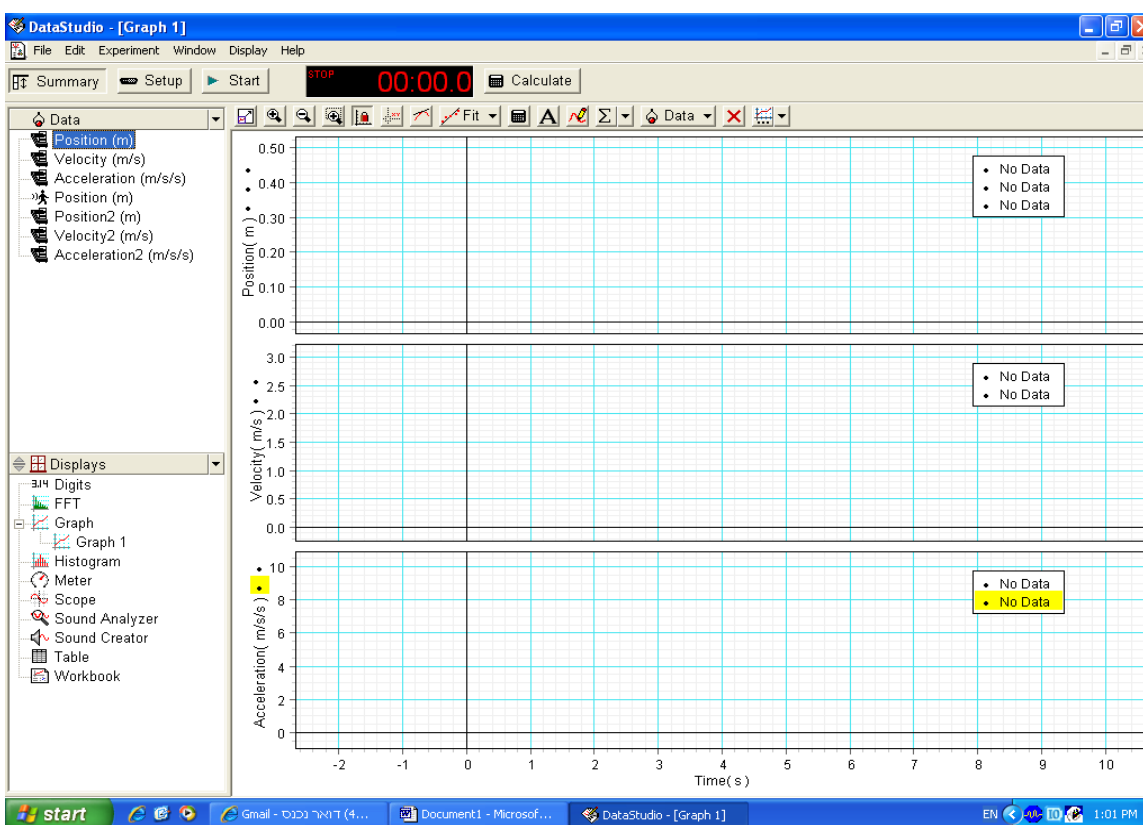
שרטוט 1 : המרווח בין השנתות של הגדר

כאשר נבחר את האיקון של חיישן המיקום, אנו יכולים לשנות שני דברים, הראשון הינו לבחור את קצב הדגימה בצד ימין של החלון והשני הינו לבצע כיוול לסונאר תחת הלשונית Motion Sensor. כדאי לכייל את הסונאר נזין במדויק את המרחק לעצם שחיישן המיקום רואה בשדה "Standard Distance" ונאשר. נשים לב כי החיישן עצמו אינו נמצא בדיוק בנקודת האפס של הסרגל. הערה – החיישן למעשה מחשב את מהירות הקול (שהיא אינה גודל קבוע) על בסיס המרחק שאנו נותנים לו, ולכן אם אנו נותנים לו מרחק שגוי זה יגרום לסטיות גדולות במדידה ככל שהמרחק מהחיישן קטן.

שימו לב, לפני שסוגרים את חלון Setup, ודאו שיצאתם מלשונית Motion Sensor, והחיישן הפסיק להשמיע קליקים.

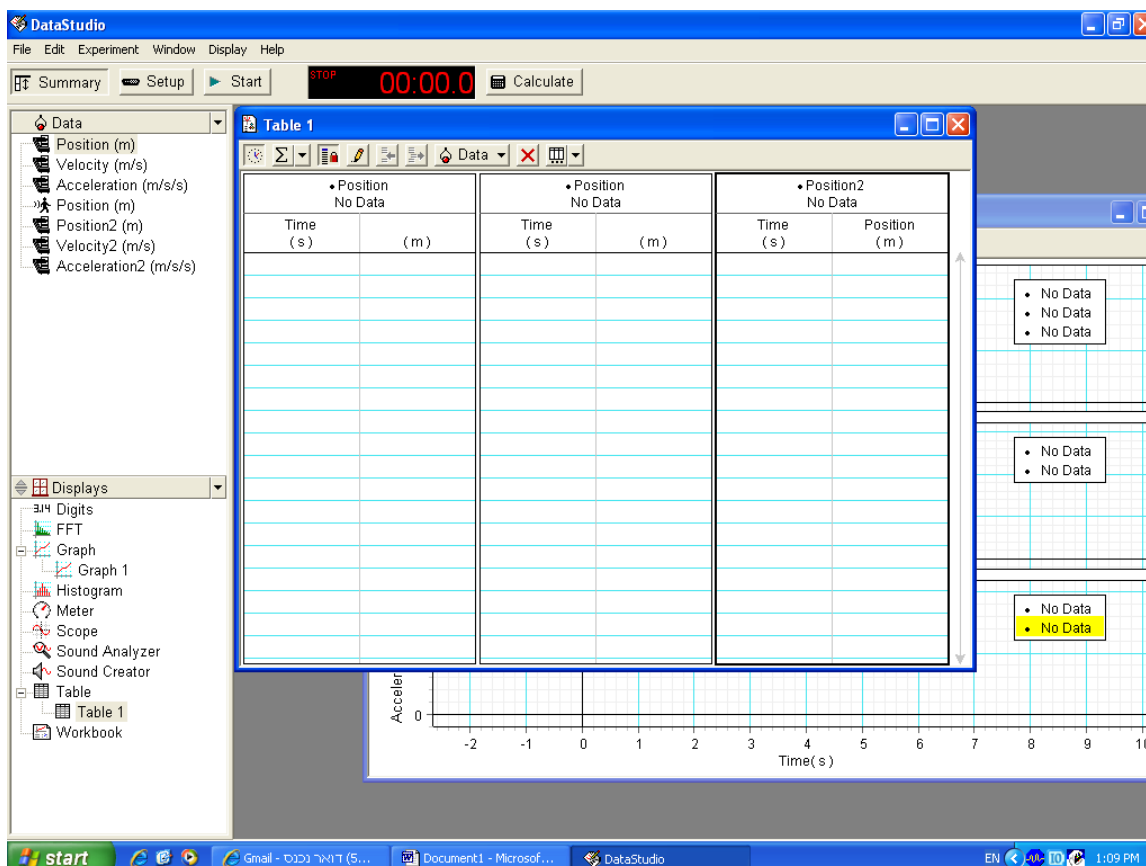
### הוספת טבלה

ברירת מחדל כל החישנים יוצגו ע"י גרף, בזמן ריצה יובדלו הנתונים מהחישנים השונים ע"י סימנים וצבעים שונים בגרף. כדי לבחור הצגה אחרת (לדוגמה טבלה) עבור הנתונים (כולם או חלקם) ניבחר את הכלי המבוקש בצד שמאל למטה של המסך הראשי בחלון Display. כדי להוסיף טבלת נתונים, יש ללחוץ על Table ולבחור את הנתון הראשון שיופיע בטבלה. לאחר שנוצרה הטבלה (או הגרף החדש) ניתן להציג בה נתונים נוספים ע"י בחירתם בחלונות ה- Data וגרירתם לתוך הטבלה.



תמונה 3 : התוכנה לאחר סיום הגדרת המכשירים.





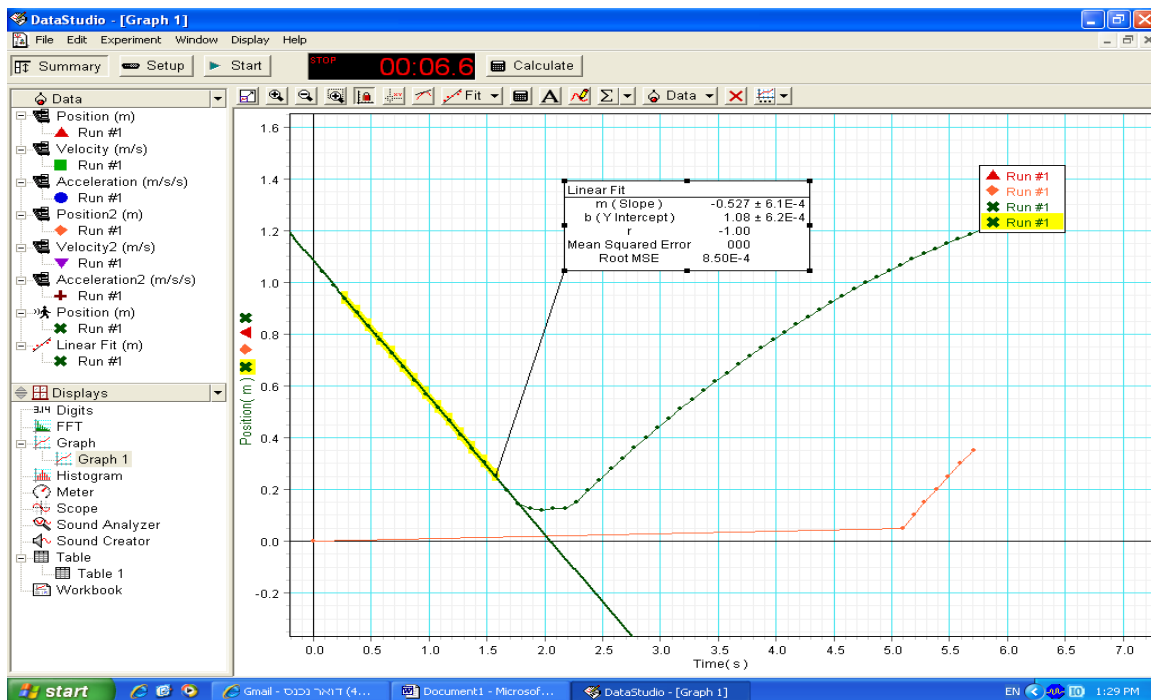
תמונה 4: התוכנית לאחר הוספת טבלה והוספה של שני משתנים נוספים לתוך הטבלה.

## מידה

כדי להתחיל את המדידה יש ללחוץ על כפתור Start ולהפסיקה על ידי לחיצה על Stop. כדי למחוק את הנתונים הקודמים, יש לבחור את הלשונית Experiment, ולמחוק את כל הנתונים הקודמים או את נתוני הניסוי האחרון בהתאם לרצוננו. כל הנתונים המופיעים בחלונית Data נרשמו ובמקרה שהם לא מוצגים יש לגרור אותם לתוך אחד מחלונות התצוגה (טבלה או גרף).

## ביצוע התאמה לגרפים המתקבלים:

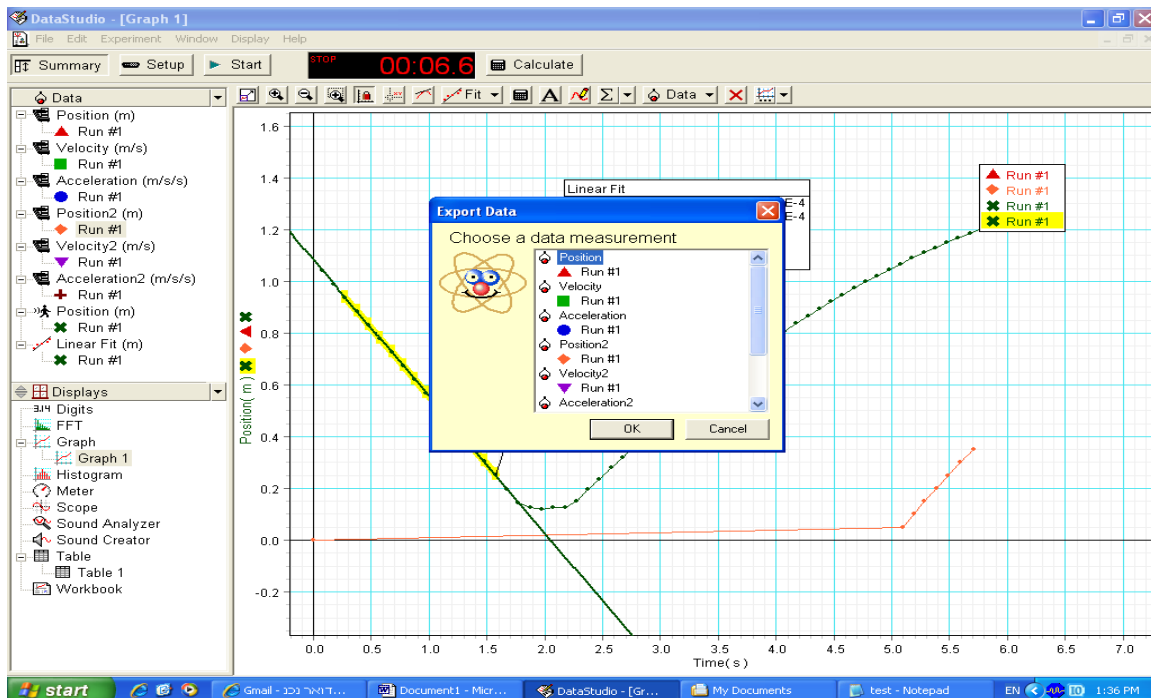
על מנת להתאים את הנקודות שמתקבלות לפונקציות מתמטיות נסמן בתוך שטח הגרף בעזרת העכבר, את הנקודות שלהם אנו רוצים לבצע את ההתאמה. לאחר שהנקודות סומנו בצורה נלחץ על כפתור Fit שנמצא בחלון הגרפים, ומהרשימה שנפתחת נבחר את הפונקציה שברצוננו להתאים לנתונים. כעת תופיע מסגרת בתוך חלונית הגרפים עם שם הפונקציה הפרמטרים ונתוני ההתאמה המחושבים, כמו כן תופיע בלשונית Data בצידו הימני של המסך שורה נוספת עם שם הפונקציה.



תמונה 5 : גרף (בירוק) בו נבחרו רק חלק מהנקודות ולחם בוצעה התאמה ליניארית

## יצוא הנתונים

כדאי לשמור את הנתונים מחוץ לתוכנה נגש לתפריט File ובחר את האופציה Export Data. רק הנתון שנבחר ישמר בקובץ TXT.



תמונה 6 : חלונית בא ניתן לבחור איזה נתון ליצא לקובץ txt