

אנו מאמנים לזיכור קוראינו

אז פסח כשר ושמח!

לחג האביב

חוטים ומיתרים המשמשים בניסויים בדינמיקה

ד"ר רופן, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, ומשרד החינוך והתרבות, ירושלים

תוצאות המדידות

בכל אחת מארבע הריצות, בחרתי בנקודה הרביעית שנרשמה על סרט הנייר על-ידי רשם הזמן, כראשית של ציר מקום ($x = 0$) שלאורכו נעה הקרונית. את הרגע $t = 0$ בחרתי כרגע בו הקרונית חלפה בראשית.

לא בחרתי את הנקודה הראשונה על סרט הנייר כראשית של ציר המקום משתי סיבות:

א. המרווחים בין הנקודות בתחילת הסרט קטנים, והשגיאה היחסית במדידת מרחקים עלולה להיות גדולה.

ב. מרווח הזמן בין הנקודה הראשונה (זו הנוצרת מהקשות רבות, כשהקרונית עדיין במנוחה) לבין הנקודה השנייה אינו מוגדר - הוא יכול להיות כל ערך בין אפס לבין 0.02 שניות (מאחר ואיננו יודעים את מקומו של "פטיש" רשם הזמן ברגע שיחרור הקרונית).

מדתני את מרחקה של כל נקודה מהראשית (כלומר את שיעורי מקומות הקרונית בכל 0.02 שניות).

בעמודה A שבטבלה 1 (פלט מגליון אלקטרוני) רשומים הזמנים בהם נרשמו הנקודות על ידי רשם הזמן. מקומותיה של הקרונית בכל אחת מארבע הריצות מופיעים בעמודות B, D, F ו-H.

חוטים משמשים לעיתים במערכות ניסויים, כמתווכים להעברת כוחות. הניסוי "החוק השני של ניוטון" (זינגר ד., 1989, עמ' 11) הוא דוגמה לכך. לעיתים קרובות, ההצגה הגרפית של התאוצה כפונקציה של הכוח בניסוי זה סוטה מלינאריות במידה רבה. במאמר זה אתייחס לאחד הגורמים - החוט המקשר בין הקרונית והמשקולת.

כדי לבחון את השפעת סוג החוט על מידת הדיוק של תוצאות הניסוי, העמדתי את מערכת הניסוי "החוק השני של ניוטון" והרצתי את הקרונית ארבע פעמים - **בכל פעם עם חוט שונה**. תנאים אחרים של הניסוי לא השתנו. מסת הקרונית (כולל מטענה) היתה 1458 גרם, ומסת הסלסלה עם המשקולות שבתוכה - 970 גרם.

ארבעת החוטים שנבחנו:

א. חוט דייגים דק (על האריזה רשום: "המשקל המרבי שהחוט יכול לשאת הוא 3 ק"ג"). זהו ככול הנראה נתון שבאמצעותו מאפיינים חוט דייגים).

ב. חוט דייגים עבה (המאופיין על-ידי "המשקל המרבי שהחוט יכול לשאת הוא 14 ק"ג").

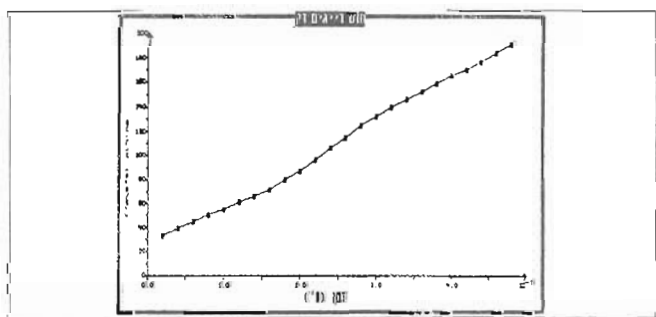
ג. חוט משיחה.

ד. מיתר (המשמש לקשירת מצנחים).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	זמן	מקום	מהירות	מקום	מהירות	מקום	מהירות	מקום	מהירות
2	(ש')	(ס"מ)	(ס"מ/ש')	(ס"מ)	(ס"מ/ש')	(ס"מ)	(ס"מ/ש')	(ס"מ)	(ס"מ/ש')
3		חוט דייגים דק		חוט דייגים עבה		חוט משיחה		מיתר	
4	0	0		0		0		0	
5	0.02	0.6	32.50	0.55	28.75	0.4	25.00	0.35	23.75
6	0.04	1.3	38.75	1.15	32.50	1	32.50	0.95	31.25
7	0.06	2.15	45.00	1.85	38.75	1.7	38.75	1.6	37.50
8	0.08	3.1	50.00	2.7	47.50	2.55	45.00	2.45	45.00
9	0.10	4.15	55.00	3.75	55.00	3.5	52.50	3.4	52.50
10	0.12	5.3	61.25	4.9	62.50	4.65	61.25	4.55	60.00
11	0.14	6.6	66.25	6.25	72.50	5.95	66.25	5.8	66.25
12	0.16	7.95	71.25	7.8	80.00	7.3	71.25	7.2	72.50
13	0.18	9.45	80.00	9.45	87.50	8.8	76.25	8.7	81.25
14	0.20	11.15	87.50	11.3	95.00	10.35	82.50	10.45	90.00
15	0.22	12.95	96.25	13.25	100.00	12.1	90.00	12.3	95.00
16	0.24	15.0	106.25	15.3	105.00	13.95	95.00	14.25	102.50
17	0.26	17.2	115.00	17.45	112.50	15.9	100.00	16.4	108.75
18	0.28	19.6	125.00	19.8	120.00	17.95	107.50	18.6	115.00
19	0.30	22.2	132.50	22.25	127.50	20.2	116.25	21.0	123.75
20	0.32	24.9	140.00	24.9	136.25	22.6	123.75	23.55	131.25
21	0.34	27.8	146.25	27.7	145.00	25.15	131.25	26.25	138.75
22	0.36	30.75	152.50	30.7	152.50	27.85	137.50	29.1	146.25
23	0.38	33.9	158.75	33.8	160.00	30.65	143.75	32.1	152.50
24	0.40	37.1	165.00	37.1	166.25	33.6	152.50	35.2	160.00
25	0.42	40.5	170.00	40.45	172.50	36.75	158.75	38.5	167.50
26	0.44	43.9	176.25	44.0	178.75	39.95	165.00	41.9	172.50
27	0.46	47.55	183.75	47.6	183.75	43.35	172.50	45.4	180.00
28	0.48	51.25	191.25	51.35	192.50	46.85	205.00	49.1	187.50
29	0.50	55.2		55.3		51.55		52.9	

ניתוח הממצאים

לגבי כל ריצה, חישבתי את מהירות הקרונית בכל רגע בו נרשמה נקודה על סרט הנייר (ליתר דיוק את המהירות הממוצעת מנקודה שלפני הנקודה הנדונה עד לנקודה שאחריה). המהירויות בכל אחת מארבע הריצות מופיעות בטבלה 1 בעמודות C, E, G ו-I. תרשימים 1 - 4 הם גרפי "מהירות - זמן" של הקרונית בארבע הריצות:



תרשים 1

בגליות הגרף הנובעת מתנודות, אם כי עוצמתן קטנה יותר. תרשים 3 - ניסוי עם חוט משיחה: קשה להבחין בתנודות ממש. פיזור הנקודות נראה דומה לזה שבגרף הקודם. תרשים 4 - ניסוי עם מיתר: לא ניתן להבחין בתנודות. הגרף נראה ישר, למעט סטיות אקראיות שאופייניות לגדלים נמדדים.

תרשים 1 - ניסוי עם חוט דייגים דק: הקו נראה גלי. **הדבר נובע לדעתי מתנודות - ההכווצות והתארכות של החוט המתנוד.** בדקתי את שיעור התארכותו של חוט דייגים דק כתוצאה מהפעלת כוחות על קצותיו: תליתי את המשקולת של מערכת הניסוי (970 גרם) על חוט דייגים דק שאורכו 240 ס"מ - החוט התארך כתוצאה מכך ב - 17 ס"מ. תרשים 2 - ניסוי עם חוט דייגים עבה: גם כאן ניתן להבחין

סוג חוט	מדד לסטייה מלינאריות
חוט דייגים דק	3.54
חוט דייגים עבה	1.84
חוט משיחה	1.88
מיתר	0.83

טבלה 2

הערכים בטבלה 2 שהתקבלו מחישוב סטטיסטי מאשרים את המסקנה הנובעת מהתבוננות בגרפים: פיזור הנקודות בגרף המתאים לחוט דייגים דק הוא רב, לחוט דייגים עבה ולחוט משיחה מידת פיזור בינונית, ולמיתר מתאים פיזור נקודות קטן.

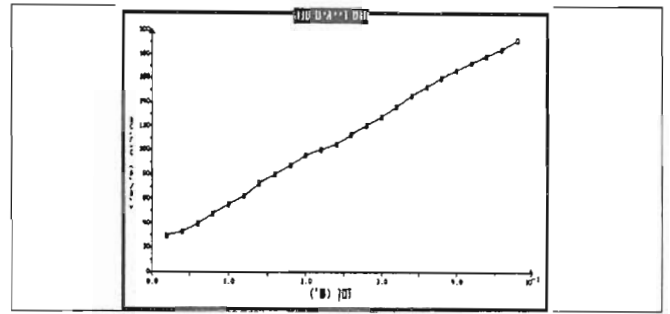
מסקנות

- בניסויים בהם משתמשים בחוטים כמתווכים להעברת כוחות - חוט דייגים דק הוא מתווך גרוע, בגלל התנודות העצמיות החזקות שלו. התנודות אמנם הולכות ודועכות, עם חלוף הזמן, אך דעיכה זו מתרחשת בשלב שהמשקולת כבר קרובה לרצפה, לכן קשה לנצל קטע זה של הגרף לצורך ביצוע מספר ראוי של מדידות.
- התנודות של חוט דייגים עבה ושל חוט משיחה משפיעות פחות מתנודות של חוט דייגים דק.
- תנודות של מיתר, אף אם הן קיימות, אינן נראות בגרף "מהירות - זמן". למיתר יתרון נוסף, הנובע מעמידותו לשימוש חוזר במעבדה; חוט משיחה למשל, צריך להחליף מדי פעם, משום שהוא נפרם ומתבלה. מאידך גיסא מיתר זמין פחות מחוט משיחה, ומחירו גבוה יותר (אם כי מדובר בסכומים זעומים - שקל אחד עבור מיתר שאורכו מטר, במחירי תחילת 1994).

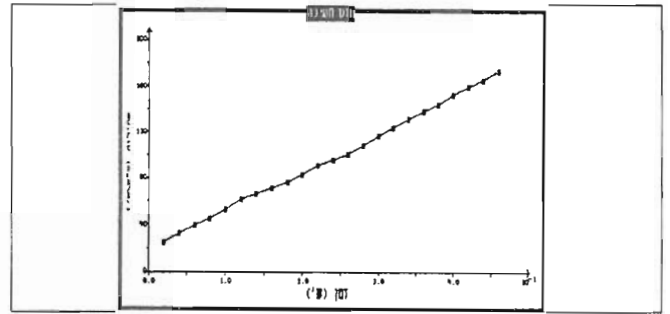
המשך בחינת תכונות החוטים

הבחינה שערכתי היא ראשונית בלבד, ונדרשות כמובן בדיקות נוספות. אני מציע למורים להטיל על קבוצות שונות של תלמידים לבצע את ניסוי "החוק השני של ניוטון" - כל קבוצה עם חוט שונה, ולפרסם ב"תהודה" גרפי תאוצה כפונקציה של הכוח עבור הסוגים השונים של החוטים. ניתן לבדוק את התנודות גם באמצעות מד טווח על-קולי כגון V-Scope, וכדאי לבדוק עניין זה.

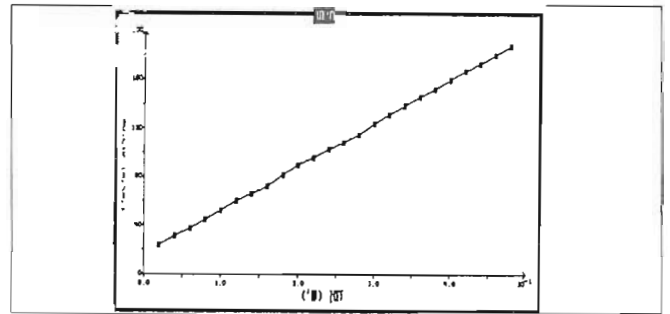
תהודה



תרשים 2



תרשים 3



תרשים 4

תלמידים המבצעים את הניסוי "החוק השני של ניוטון" עורכים בדרך כלל מדידות לצורך חישוב מהירויות בתחום בו הפרש המרחקים בין שתי נקודות עוקבות על סרט הנייר משתנה בערך מ-1.5 ס"מ עד כ-2.5 ס"מ. בתרשים 1, תחום זה נמצא במרכז הגרף. שיפוע קטע הגרף בתחום זה עלול להיות שונה במידה משמעותית מהשיפוע של הגרף שניבנה על פי כל הנקודות שנרשמות על סרט הנייר. ואכן, שיפוע קטע הגרף בין הנקודה השמינית (נרשמה ברגע $t = 0.16$ s לבין הנקודה הארבעה עשר (ב- $t = 0.28$ s) הוא 4.5 m/s^2 , בעוד ששיפוע הגרף בכל התחום בו נעשו המדידות הוא 3.6 m/s^2 . לאחר שבניתי (באמצעות גליון אלקטרוני) את "הישר המתאים ביותר" בכל אחד מארבע הגרפים, לכל גרף חושב מדד לסטיית הנקודות מהקו הישר המתאים ביותר. תוצאות החישוב מוצגות בטבלה 2.