

ניסוי "החוק השני של ניוטון" - איך ומתי?

כולל גירסה חדשה לניסוי החוק השני של ניוטון

לדי לאון, המחלקה לפיזיקה, מכון ויצמן למדע, רחוב, אושרד פחיוך אפרובא, ירושלים

תקציר: החוק השני של ניוטון מוצג בדרך-כלל על-ידי מערכת הכוללת קרונית הקשורה לסלסלה באמצעות חוט הכרוך סביב גלגלת (תרשים 1). זו מערכת מורכבת (שונה מאוד מגוף נקודתי), לכן אינה מתאימה לשמש לחקירה ראשונה של הקשר בין כוח שקול ובין תאוצה. קביעה זו מתבססת על ממצאים המראים כי רבים קבעו בצורה שגויה את כיוון הכוח השקול הפועל על המערכת, ואת כיוון התאוצה שלה. במאמר זה אנו מציעים רצף הוראה לניסויים העוסקים בקשר שבין שני גדלים אלה. הרצף כולל: ניסוי איכותי, גירסה חדשה לניסוי החוק השני של ניוטון, בעזרת קרונית מדחף ("עגלת מניפה" - Fan Cart), וכן את המקום שבו יש לשלב את הניסוי המתואר בתרשים 1.

מילות מפתח: ניסוי איכותי, החוק השני של ניוטון, קרונית מדחף (Fan Cart).

הקדמה

החוק השני של ניוטון אומר כי כאשר כוח שקול פועל על גוף, הגוף מואץ.

בין הכוח השקול והתאוצה מתקיימים הקשרים הבאים:

1. כיוון התאוצה שווה לכיוון הכוח השקול הפועל על הגוף.
2. גודל תאוצת הגוף פרופורציוני לגודל הכוח השקול.
3. קבוע הפרופורציה הוא הערך ההפכי של מסת הגוף.

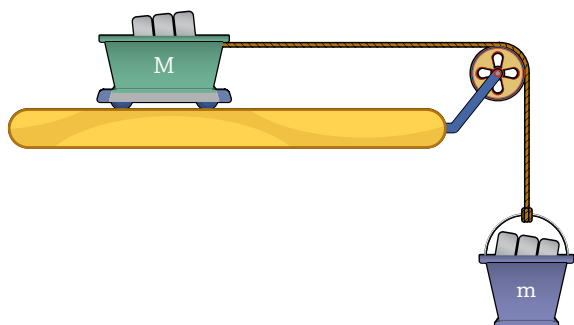
במאמר זה אתיחס לקשר בין הכוח השקול ותאוצת הגוף.

פיסקה (2) דלעיל מודגשת בהוראה. פיסקה (1), לעומת זאת, אינה זוכה בדרך-כלל לטיפול ראוי, וזאת למרות שתלמידים מגיעים ללמוד המכניקה עם תפיסה אינטואיטיבית שגויה האומרת כי "כיוון הכוח הפועל על גוף זהה לכיוון התנועה של הגוף" ולא לכיוון התאוצה. כלל שגוי זה נבנה, כנראה, כתוצאה מהתנסותם היום-יומית של התלמידים. על-פי ניסוי בהוראה, ועל-פי תוצאות מחקרים, טבוע כלל זה עמוק בתודעתם של תלמידים. הצגת החוק השני של ניוטון בעזרת מערכת המורכבת מקרונית הקשורה לסלסלה באמצעות חוט הכרוך סביב גלגלת (ראה לדוגמה זינגר(4), עמ' 11), אינה עוזרת לבניית כלל (1) דלעיל.

תוצאות מחקר לגבי הבנת המערכת המתוארת בתרשים 1

השאלה המופיעה להלן הוצגה לתלמידים שביצעו את הניסוי "החוק השני של ניוטון" בעזרת המערכת המתוארת בתרשים 1, וכן למספר מורים:

לפניך תרשים של מערכת ניסויית, שבה נעזרת כדי "לאשר" את החוק השני של ניוטון. כזכור, במערכת זו נחקר הקשר שבין הכוח השקול הפועל על המערכת המורכבת מן הקרונית, החוט והסלסלה, לבין תאוצתה של מערכת זו.



תרשים 1

- א. סרטט את כיוון הכוח השקול \vec{F} הפועל על המערכת (קרונית, חוט וסלסלה).
- ב. סרטט את כיוון התאוצה \vec{a} של המערכת (קרונית, חוט וסלסלה).

תשובות הנבדקים מויינו לקטגוריות א - ה שבטבלה 1.

	א	ב	ג	ד
כיוון \vec{F}	↓	↓	↓	↘
כיוון \vec{a}	→	↓	↘	↘

טבלה 1

(התשובה הנכונה היא ה, כפי שיובהר בהמשך).

בטבלה 2 מתוארת התפלגות התשובות באחוזים של 104 תלמידים:

	א	ב	ג	ד
	71%	19%	10%	0%

טבלה 2

בטבלה 3 מתוארת התפלגות התשובות (באחוזים) של 16 מורים:

א	ב	ג	ד
38%	12%	32%	18%

מעיון בטבלאות 2 ו-3 מתברר כי רוב הנבדקים טעו בקביעת כיוון הכוח השקול, ורבים מהם סרטטו את הכוח ואת התאוצה בכיוונים שונים.

ביקורת על שימוש בניסוי לשם חקירה ראשונה של הקשר בין כוח שקול לבין תאוצה

המערכת הניסויית מורכבת מן הקרונית, החוט, והסלסלה. משנים את כוח הכובד F_G הפועל על הסלסלה (על-ידי העברת משקולות מן הקרונית אל הסלסלה) ומודדים בכל פעם את גודלו של כוח הכובד (ביחידות של מספר משקולות) ואת גודלה של התאוצה. לבסוף מגלים (או "מאשרים") כי גודל התאוצה a וגודל הכוח F_G פרופורציוניים זה לזה.

מערך ניסוי זה לוקה בחסרונות:

1. בנייתו הכוחות הפועלים על המערכת מתעלמים מן הכוח שהגלגלת מפעילה על החוט. התלמיד עלול להבין מכך שיש כוחות שנלקחים בחשבון, ויש כאלה שאינם נלקחים בחשבון.
2. הניסוי אינו מציג תמונה ברורה לגבי הקשר שבין כיוון הכוח השקול הפועל על גוף לבין כיוון התאוצה. עדות לכך היא העובדה שרוב הנחקרים סימנו את התאוצה ואת הכוח השקול בכיוונים שונים, ובכך "סתרו" את החוק השני של ניוטון, בניסוי שבו הם התיימרו "לאשר" אותו.

אעז אף לומר, כי לו נאלצתי לבחור בין שתי אפשרויות - האחת להציג את החוק השני של ניוטון בעזרת המערכת הניסויית שנדונה לעיל, והשנייה להציג את החוק ללא ניסוי, אלא בעזרת גיר ולוח (chalk and talk) - הייתי בוחר באפשרות השנייה.

אם כן, כיצד לדיף לחקור את הקשר שבין כוח שקול לבין תאוצה?

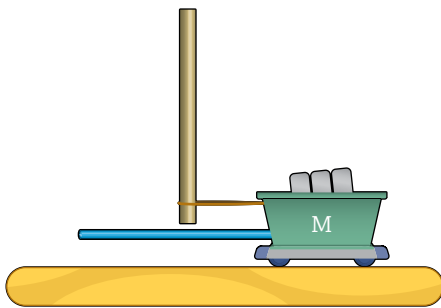
צעד ראשון: ניסוי איכותי מקדים, לגבי גוף יחיד (בתנועה חד ממדית)

מחקרים שנעשו בעשרים השנים האחרונות הביאו למודעות שלתלמידים יש תפיסות אינטואיטיביות קדם מדעיות. דבר זה הוביל לשינוי חשוב בהוראת המדעים, והוא ההכרה שהוראה טובה צריכה להביא בחשבון את קיומן של תפיסות אינטואיטיביות אלה, כיוון שהן משפיעות על בנייתן של התפיסות המדעיות של התלמידים.

מחקרים מצביעים על כך שאחת התפיסות הקדם-מדעיות הרווחות בהקשר שלנו, היא "כוח קבוע גורם למהירות קבועה". לכן, לפני חקירה כמותית, חשוב שתהיה לתלמיד הבנה איכותית של הקשר בין כוח לבין תנועה. תלמיד עשוי לרכוש הבנה כזו אם הוא יתנסה וירגיש על גופו שכוח גורם לשינוי מהירות. לכן, מומלץ לבצע את הניסוי הבא, המבוסס על תכניות הלימודים של PSSC ושל Nuffield:

תיאור ניסוי איכותי

קושרים לקרונית גומיה וקשית, כמתואר בתרשים 2, ומניחים אותה על הרצפה.



תרשים 2

תלמיד מתבקש להסיע את הקרונית על הרצפה בעזרת מוט, כך שבמהלך התנועה אורך הגומיה יהיה קבוע (הקצה שלה יגיע למשל עד קצה הקשית) (תרשים 3).

הניסיון היום-יומי של התלמיד מורה לו כי כוח קבוע שבו הוא מושך שולחן למשל, גורם לשולחן לנוע במהירות קבועה. מהתנסויות כאלה, נבנה כנראה אצל התלמיד הקשר בין כוח קבוע לבין מהירות קבועה, המוזכר לעיל.

צעד שני: ניסוי כמותי לגבי גוף יחיד (בתנועה חד-ממדית)

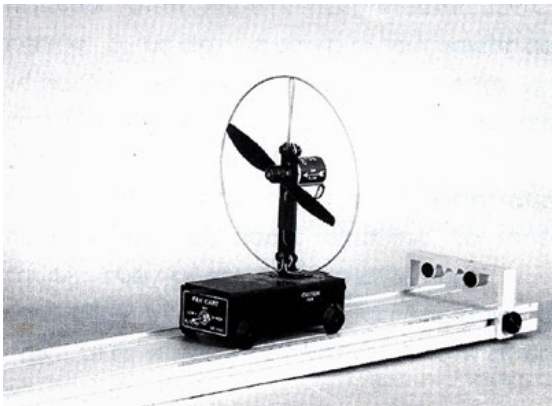
אפשר למיין את הניסויים העוסקים במדידה כמותית של כוח שקול ושל תאוצה לשתי קטגוריות: אלה שבהם מופעלים בזה אחר זה **כוחות קבועים**, ובכל פעם נמדדת התאוצה, וניסויים בהם **הכוח משתנה ברציפות** ובמקביל לכך משתנה התאוצה.

1. ניסוי שבו מפעילים כוחות קבועים, ומוודדים תאוצות קבועות

כיצד אפשר להפעיל על גוף כוח קבוע? התחבטנו הרבה בשאלה זו. אפשר לחבר למערכת המתוארת בתרשים 1 דינמומטר במצב אופקי בין הגלגלת לבין הקרונית, ולחקור את הקשר בין הכוח השקול הפועל על הקרונית בלבד (נמדד בעזרת הדינמומטר), לבין תאוצתה שתמדד במקביל. במערך ניסויי כזה אין מתייחסים למערכת הכוללת את הקרונית החוט והסלסלה. אולם, מסתבר כי הקפיץ של הדינמומטר מתנווד במהלך התנועה, וקשה מאוד לקרוא את הערך שהוא מורה. דרך אחרת, מוצעת בניסוי המתואר להלן - גירסה חדשה לחוק השני של ניוטון.

רשימת הציוד:

- א. קרונית עם מדחף (FAN CART של חברת פסקו (PASCO), מס' קטלוגי ME-9485) (תרשים 4).
- ב. מסילת הרצה (של חברת פסקו, מס' קטלוגי ME-9435A) (תרשים 4).
- ג. קפיץ של חברת פסקו (שייך לערכה של המסילה; קבוע הכוח שלו הוא 3 - 4 ניוטון למטר).
- ד. מערכת חד-ממדית של V-scope (יתכן שאפשר להסתפק ברשם זמן - לא בדקנו את העניין. נשמח אם מישהו מן הקוראים יבדוק ויפרסם).
- ה. סרגל שאורכו לפחות 30 cm.



תרשים 4



תרשים 3

כאשר התלמיד מנסה להסיע את הקרונית כך שאורך הגומיה יישאר קבוע, הוא מגלה כי הוא צריך להגביר את מהירותו במהלך התנועה. בשלב מסוים הוא אף אינו מסוגל לרוץ במהירות הנדרשת כדי לשמור על האורך הקבוע של הגומיה. כך עשוי התלמיד ללמוד, "דרך הרגליים", כי **כוח גורם לתאוצה**. אם מעוניינים להרחיב את הניסוי האיכותי, אפשר לבקש מתלמיד למשוך את הקרונית באמצעות שתי גומיות (המחוברות "במקביל") במצב שבו הקצוות של שתיהן מגיעות לקצה הקשית; כאן התלמיד עשוי לחוש, כי כוח כפול הפועל על הקרונית משנה את מהירותה בקצב גדול יותר. הרחבה נוספת יכולה להיות בהסעת הקרונית על-ידי כוח קבוע, בשעה שהיא נושאת משקולות.

הרעיון לפתוח נושא בעזרת ניסוי איכותי, ורק אחר-כך לבצע ניסוי כמותי, מהווה בעיני **אסטרטגיית הוראה כללית**.

מהלך הניסוי ותוצאות המדידות

בטבלה 5 מופיעות תוצאות המדידות. בעמודה השמאלית מתואר מצב המדחף: האותיות H ו-L שבעמודה זו מסמנות את מצבי HIGH ו-LOW בהתאמה. בנוסף לכך סומנו בעמודה השמאלית הזוויות שבין קווי פעולת הכוח שהאוויר הפעיל על המדחף, לבין קווי התנועה של הקרונית (לא עשינו שימוש בערכים אלה).

בכל אחד מששת המצבים שבהם נעשה הניסוי, נערכו מדידות אלה:

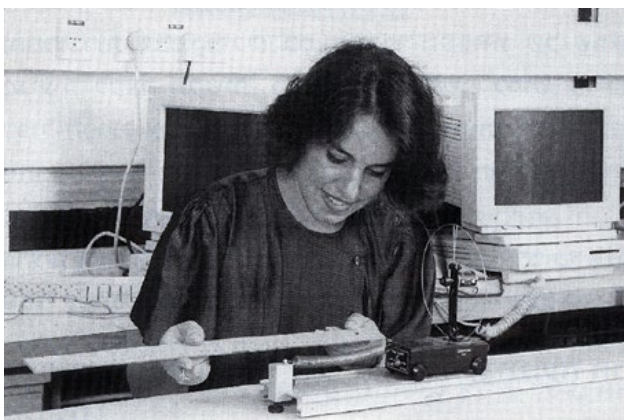
א. מדדנו את אורך הקפיץ כשהוא עוצר את הקרונית (מדידה I בטבלה 4), (תרשים 5).

ב. שחררנו את הקרונית שלוש פעמים, ובכל פעם עקבנו בעזרת V-scope חד-ממדי אחר תנועתה, כשעל צג המחשב נבנה גרף של מהירות הקרונית כפונקציה של הזמן (חשוב להקפיד על כך שהמסילה תהיה אופקית).

ג. מדדנו שנית את אורך הקפיץ, במצב שהוא עוצר את הקרונית כדי לוודא שהוריית הקפיץ חוזרת על עצמה. (מדידה II בטבלה 4).

מצב המדחף	תאוצת הקרונית (מ"ש')			אורך הקפיץ (ס"מ)	
	מדידה III	מדידה II	מדידה I	מדידה II	מדידה I
H 0°	0.57	0.59	0.57	16.3	16.2
H 15°	0.53	0.55	0.52	15.8	15.9
H 30°	0.51	0.49	0.47	14.9	15.0
H 45°	0.39	0.38	0.40	13.2	12.8
H 60°	0.24	0.24	0.25	10.7	10.5
L 60°	0.19	0.18	0.19	9.6	9.5

טבלה 4



תרשים 5

כמה מילים על ה-FAN CART של PASCO: כאשר המדחף מסתובב - הוא "זורק" אוויר ל"אחור", וכתגובה האוויר מפעיל עליו כוח "קדימה". (הבנת הפעולה של ה-Fan Cart מבוססת על ההנחה שהחוק השלישי של ניוטון נלמד קודם לכן). לקרונית זו יש גלגלים המותאמים לחריצים שבמסילת פסקו, והיא יכולה לנוע לאורך המסילה בקו ישר, עם חיכוך קטן.

לקרונית מחובר מדחף (פרופלור) המופעל על-ידי ארבע סוללות בנות 1.5 וולט כל אחת, המותקנות בתוך הקרונית. ניתן להפעיל את המדחף בעזרת מתג בעל שני מצבי הפעלה: מצב HIGH - המדחף מסתובב במהירות גבוהה, ומצב LOW - המדחף מסתובב במהירות נמוכה יותר.

ניתן לסובב את העמוד האנכי שאליו מחובר המדחף כך שהעמוד הוא ציר הסיבוב; כאשר מישור הסיבוב של המדחף ניצב לכיוון התנועה - האוויר מפעיל על המדחף כוח בכיוון התנועה של הקרונית (הזווית, שאותה ניתן לקרוא על סקלה שעל הקרונית, שווה במצב זה ל-0°). במצב זה תאוצת הקרונית היא מרבית. כאשר מסובבים את מישור הסיבוב (הזווית יכולה להשתנות מ-0° עד 90°), רק רכיב של הכוח מאיץ את הקרונית (החריצים שבלוח ההרצה מאלצים את הקרונית לנוע בכיוון מוגדר), ותאוצתה קטנה יותר. באופן כזה ניתן לשנות ברציפות את הכוח השקול הפועל על הקרונית, מערך מרבי המתקבל כאשר המתג במצב HIGH, והזווית שווה ל-0°, עד למצב בו רכיב הכוח בכיוון התנועה שווה לאפס.

שיטת מדידה של הכוח המאיץ את הקרונית

ניתן למדוד את רכיב הכוח שהאוויר מפעיל על הקרונית בכיוון תנועתה כך: עוצרים את הקרונית בעזרת דינמומטר, בשעה שהמדחף פועל. כיוון שהקרונית במנוחה, הוריית הדינמומטר נותנת את גודל הכוח שהאוויר מפעיל על הקרונית. בשיטת מדידה זו מניחים כי הכוח שהאוויר מפעיל על המדחף במצב סטטי שווה לזה שבמצב דינמי. אולם, במדידות חוזרות ונשנות של הכוח בעזרת דינמומטר (בקצב סיבוב מסוים של המדחף) קבלנו פיזור רחב מדי של קריאות. הדבר נבע כנראה מן החיכוך שבין ציר הדינמומטר המחובר לקפיץ לבין מסגרת הדינמומטר. לכן, החלטנו להשתמש בקפיץ לא מכוויל, במקום דינמומטר.

בחרנו בקפיץ של חברת פסקו, כי קבוע הכוח שלו קטן. תחילה מדדנו את קבוע הכוח שלו ומצאנו כי ערכו, בדיוק של 2%, הוא:

$$k = 3.33 \text{ N/m}$$

$$m = \frac{1}{1.72} = 0.581 \text{ kg}$$

מסת הקרונית שנמדדה ישירות, בדיוק של 0.2%, היא:

$$m = 0.597 \text{ kg}$$

הפער בין שני ערכי המסה שנמדדו קטן מ- 3%.

2. ניסוי שבו מפעילים כוח המשתנה ברציפות חזרה לתחילת המאמר

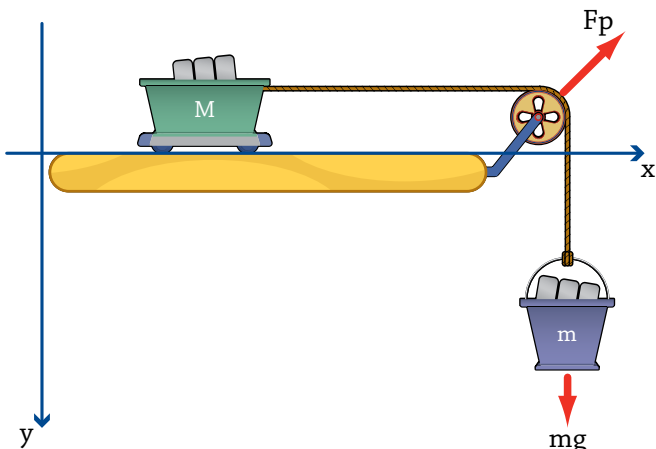
ניסוי זה מתואר במקורות שונים (שוורץ(4), רוזן וקרקובר(2) עמ' 173 - 172) לכן הוא אינו מתואר כאן. אנו מזכירים אותו רק לצורך הצגה רחבה של הפעילויות האפשריות.

צעד שלישי: ניסוי כמותי לגבי גוף יחיד, בתנועה דו-ממדית חזרה לתחילת המאמר

גם ניסוי זה מתואר במקורות שונים (למשל, רוזן וקרקובר(2) עמ' 174 - 173), ולכן אינו מתואר כאן.

החוק השני של ניוטון במערכת דו-גופית חזרה לתחילת המאמר

תחילה נראה כי במערכת הדו-גופית (תרשים 7) כיווני הכוח השקול והתאוצה שווים. אנו מניחים כי אין חיכוך בין הגלגלת ובין החוט, וכי מסת החוט זניחה ביחס למסות האחרות.



תרשים 7

הכוחות החיצוניים הפועלים על מערכת הכוללת את הקרונית, החוט והסלסלה הם: הכוח F_p שהגלגלת מפעילה על החוט, וכוח הכובד $F_G = mg$ שהארץ מפעילה של הסלסלה. נמצא את כיוון השקול לשני כוחות אלה:

עבור כל ריצה של הקרונית מדדנו את שיפוע גרף מהירות-זמן של הקרונית בעזרת שתי נקודות שעליו. כדי להגביר את הדיוק בחישוב התאוצה עדיף להעביר את הנתונים לגליון אלקטרוני, ולקבוע את התאוצה על-פי שיפוע הישר המתאים ביותר. אולם, כאמור, לא נקטנו בשיטה זו.

אורך הקפיץ, כשהוא במצב אופקי ורפוי: $l_0 = 8.3 \text{ cm}$

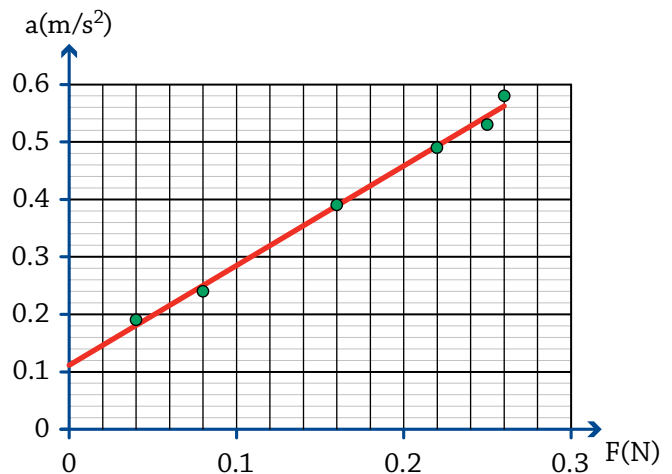
ניתוח התוצאות

על-פי קבוע הכוח של הקפיץ ועל-פי ממוצעי ההתארכויות שלו, חישבנו את הכוחות שפעלו על הקרונית. כמו כן, חישבנו את ממוצע התאוצות בכל ריצה. התוצאות רשומות בטבלה 5.

ממוצע התאוצות a (מ'²/מ²)	ממוצע הכוחות F (ניוטון)
0.58	0.26
0.53	0.25
0.49	0.22
0.39	0.16
0.24	0.08
0.19	0.04

טבלה 5

על-פי ערכי טבלה 5, סורטט הגרף שבתרשים 6.



תרשים 6

התקבל ישר שמשוואתו: $a = 1.72F + 0.12$

(ריבוע מקדם המיתאם הוא $R^2 = 0.9977$).

ההופכי של שיפוע הגרף שווה למסה ("מסה אינרציאלית") של הקרונית, וערכו, בדיוק של 2% הוא:

קל להוכיח כי גודל מתיחות החוט הוא:

$$T = \frac{Mmg}{M+m}$$

נבחר מערכת ייחוס המתוארת בתרשים 7. רכיב ה-x של הכוח השקול הוא הרכיב האופקי של F_p . רכיב זה שווה בגודלו למתיחות החוט T:

$$\Sigma F_x = F_{p,x} = T = \frac{Mmg}{M+m}$$

הרכיב האנכי של הכוח השקול:

$$\Sigma F_y = mg - F_{p,y} = mg - T = mg - \frac{Mmg}{M+m} = \frac{m^2g}{M+m}$$

הזווית α_F (תרשים 8) בין הכוח השקול לבין הכיוון האנכי מקיימת:

$$(1) \quad \tan \alpha_F = \frac{\Sigma F_x}{\Sigma F_y} = \frac{Mmg / M+m}{m^2g / M+m} = \frac{M}{m}$$

תאוצת המערכת היא תאוצת מרכז המסה שלה. נחשב את הכיוון של תאוצה זו.

הביטוי לתאוצת מרכז המסה:

$$(2) \quad \vec{a}_{c.m.} = \frac{Ma \cdot \hat{i} + ma \cdot \hat{j}}{M+m}$$

כאשר: $\vec{a}_{c.m.}$ - תאוצת מרכז המסה;

a - גודל תאוצת המערכת;

\hat{i} - וקטור יחידה בכיוון הציר x;

\hat{j} - וקטור יחידה בכיוון הציר y.

קל לראות כי גודל תאוצת המערכת הוא:

$$a = \frac{mg}{M+m}$$

על-פי ביטוי (2), רכיב ה-x של תאוצת מרכז המסה:

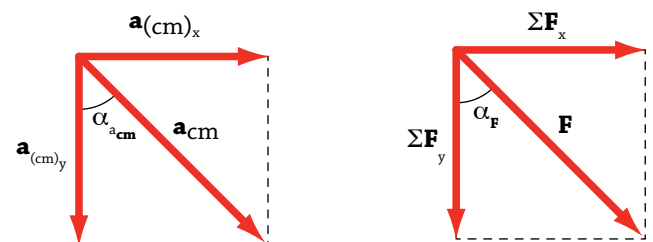
$$a_{c.m.,x} = \frac{Ma}{M+m} = \frac{M}{M+m} \cdot \frac{mg}{M+m} = \frac{Mmg}{(M+m)^2}$$

רכיב ה-y של תאוצת מרכז המסה:

$$a_{c.m.,y} = \frac{ma}{M+m} = \frac{m}{M+m} \cdot \frac{mg}{M+m} = \frac{m^2g}{(M+m)^2}$$

הזווית $\alpha_{a.c.m.}$ (תרשים 9) בין תאוצת מרכז המסה לבין הכיוון האנכי מקיימת:

$$(3) \quad \tan \alpha_{a.c.m.} = \frac{a_{c.m.,x}}{a_{c.m.,y}} = \frac{Mmg / (M+m)^2}{m^2g / (M+m)^2} = \frac{M}{m}$$



תרשים 9

תרשים 8

ממשוואות (1) ו-(3) נובע כי $\alpha_F = \alpha_a$.

כלומר: **במערכת הדו-גופית הנדונה - כיוון הכוח השקול (כולל הכוח שהגלגלת מפעילה על החוט) וכיוון התאוצה של מרכז המסה שווים זה לזה.** הכיוון המשותף נקבע על-ידי יחס המסות M/m .

מסקנה זו היא מקרה פרטי של הכלל האומר שכוח שקול הפועל על גוף שאינו נקודתי, שווה למכפלת מסת הגוף בתאוצת מרכז המסה שלו (למשל, רוזן וקרקובר (3) עמ' 42):

$$\Sigma F_{ext.} = M_{a.c.m.}$$

לגלגלת שבמערכת הניסויית יש חלק בקביעת כיוון הכוח השקול ובקביעת כיוון התאוצה: הגלגלת מפעילה על החוט כוח (בכיוון ניצב לתנועת החוט כאשר אין חיכוך בין הגלגלת לבין החוט). כוח זה אינו משנה אמנם את גודל המהירות של המערכת, אך הוא משנה את **כיוון** המהירות, ולכן הוא משפיע על כיוון תאוצת מרכז המסה. כוח זה שייך למערך הכוחות הפועלים על המערכת.

בבתי הספר מוצאים קשר בין הכוח הגורם לשינוי גודל המהירות (mg) ובין גודל התאוצה של הגופים, ולא בין הכוח השקול ובין תאוצת המערכת, **לכן הניסוי אינו ראוי לשמש לחקירה ראשונה של החוק השני של ניוטון.**

סיכום

אנו מציעים כי החוק השני של ניוטון יוצג בשלבים:

א. ניסוי איכותי (סעיף ג לעיל).

ב. החוק השני של ניוטון חל על **גופים נקודתיים**. כאשר רוצים לבצע ניסוי כדי "לגלות" או "לאשר" את החוק מן הראוי לעשות זאת עם גוף המתנהג כ"גוף נקודתי".

לכן, לאחר ההצגה האיכותית, יוצג הניסוי הכמותי לגבי גוף "נקודתי" (ולא מערכת גופים) בתנועה חד-ממדית, כך שניתן למדוד לא רק את גודל הכוח השקול ואת גודל תאוצת הגוף, אלא גם לזהות בקלות את הכיוונים של גדלים וקטוריים אלה בכל רגע במהלך התנועה (תואר או הוזכר בסעיפים 1ד ו-12 לעיל).

ג. נוסף לניסוי חד-ממדי, ייבחן החוק השני של ניוטון בתנועה דו-ממדית (שגם בה יהיה קל לזהות את כיווני הווקטורים הנדונים) (סעיף ה לעיל).

ד. לאחר תרגול השימוש בנוסחת החוק השני של ניוטון במערכות בהן יש גוף יחיד, יערכו דיונים ויערך ניסוי במערכות דו-גופיות.

אין כמובן הכרח לערוך עם התלמידים את הניתוח שלעיל לגבי כיוון הכוח השקול וכיוון התאוצה של מרכז המסה. אך

יש לציין במפורש כי מטרת הניסוי למציאת קשר בין גודל התאוצה לבין גודל הכוח mg, המשנה את גודל מהירות. אנו מציעים לכנות ניסויים שבהם התלמיד חוקר את הקשר בין וקטור הכוח לבין וקטור התאוצה לגבי "גופים נקודתיים" בשם "החוק השני של ניוטון", וניסויים העוסקים במערכות דו-גופיות (כגון זו המתוארת בתרשים 1 או "מכונת אטווד") בשם "יישום החוק השני של ניוטון במערכת דו-גופית".

שלמי תודה

תודה למשה פרידמן על העזרה בהפעלת ה-V-scope בניסוי עם המדחף, ועל הערותיו המועילות לניסוי זה.

מראי מקום

1. זינגר, ד., (1988). לקט ניסויים בפיסיקה. מכון ויצמן למדע, המחלקה להוראת המדעים.
2. רוזן, ע. וקרקובר, ז., (1997). מכניקה ניוטונית כרך א. מכון ויצמן למדע, המחלקה להוראת המדעים.
3. רוזן, ע. וקרקובר, ז., (1996). מכניקה ניוטונית כרך ב. מכון ויצמן למדע, המחלקה להוראת המדעים.
4. שוורץ, ר., (1994). תנועתו של גוף בהשפעת כוח משתנה. תהודה, (2) 16, עמ' 25-20, מכון ויצמן למדע.
5. הקטלוג של PASCO Scientific 1997/1998, עמ' 61 ו-65.