

החוק השני של ניוטון

א. מטרת הניסוי:

לחקור את החוק השני של ניוטון.

ב. רקע תיאורטי

החוק השני של ניוטון: אם שקול הכוחות הפועלים על גוף מסוים ($\Sigma \vec{F}$) אינו מתאפס, הגוף ינוע

בתאוצה (\vec{a}). תאוצה זו:

(1) מכוונת בכיוון הכוח השקול.

(2) נמצאת ביחס ישר לכוח השקול.

(3) נמצאת ביחס הפוך למסת הגוף.

בשפת המתמטיקה, מבטאים את היחסים הנ"ל על ידי הקשרים הבאים:

$$(1) \quad \vec{a} \propto \Sigma \vec{F}$$

$$(2) \quad \vec{a} \propto \frac{1}{m}$$

כאשר m היא מסת הגוף. שים לב שיחס הפוך בין גודל A ל- B שקול ליחס ישר בין A וההופכי של B .

משני הקשרים (1) ו-(2) מתקבל הקשר הבא:

$$(3) \quad \vec{a} \propto \frac{\Sigma \vec{F}}{m}$$

קשר זה מגלם בתוכו את כל היחסים שבחוק השני של ניוטון (הניסוח למעלה). הוא למעשה הביטוי המתמטי לחוק השני של ניוטון. מהקשר האחרון מתקבל הקשר הבא:

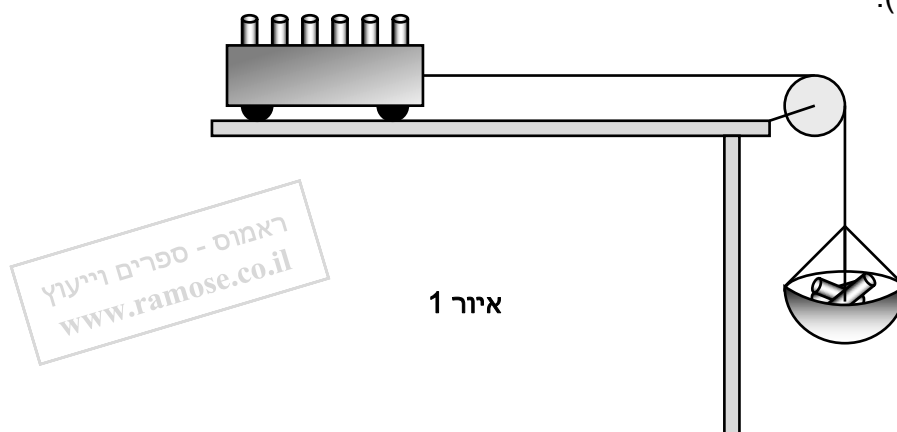
$$(4) \quad \Sigma \vec{F} \propto m \vec{a}$$

על סמך הקשר האחרון, הפיזיקאים הגדירו את הכוח השקול הפועל על גוף מסתו m ואשר נע בתאוצה \vec{a} בהשפעת כוח זה כ:

$$(5) \quad \Sigma \vec{F} = m \vec{a}$$

מביטוי זה נקבל שיחידת הכוח היא kg m/s^2 . יחידה זו נקראת ניוטון ומסומנת באות N .

בניסוי זה נחקור את היחסים בין הגדלים בחוק השני של ניוטון וזאת באמצעות המערכת המתוארת בתרשים הבא (איור 1).



מערכת זו מורכבת מעגלה הכוללת בתוכה מספר משקולות. העגלה מונחת על משטח אופקי, וקשורה לקצה חוט הכרוך מסביב לגלגלת אידיאלית. בקצה האחר של החוט קשור סל הכולל בתוכו

מספר משקולות. הסל נמצא באוויר.

אם משחררים את המערכת ממנוחה, המערכת תנוע בתאוצה. ניתן להוכיח שאם כוחות החיכוך זניחים, תאוצת המערכת נתונה על ידי הביטוי הבא:

$$(6) \quad a = \frac{mg}{m+M} = \frac{mg}{\Sigma m}$$

כאשר m היא מסת הסל (כולל המשקולות שבתוכו), M היא מסת העגלה (כולל המשקולות שבתוכה), ו- Σm היא המסה הכוללת של המערכת ($\Sigma m = m + M$).

ג. מכשור וציוד

- (1) עגלה.
- (2) משקולות.
- (3) סל.
- (4) קליבה.
- (5) מסילה שבקצה שלה מהודקת גלגלת.
- (6) רשם זמן וספק מתח חילופין, או חיישן למדידת מהירות.
- (7) סרט נייר לרשם זמן ונייר דבק.

ד. מהלך הניסוי (הרכבת המערכת, וביצוע הניסוי)

בניסוי זה קיימים שני חלקים. בחלק הראשון בודקים את הקשר בין תאוצת המערכת (a) והכוח השקול הפועל על המערכת (ΣF) בזמן שמסת המערכת קבועה. בחלק השני בודקים את הקשר בין תאוצת המערכת a , ובין המסה הכוללת של המערכת (Σm) בזמן שהכוח השקול הפועל על המערכת קבוע.

חלק ראשון: התאוצה כפונקציה של הכוח השקול כשמסת המערכת קבועה.

בדרך כלל המשקולות בניסוי זה הן משקולות גליליות שמסת כל אחת מהן 300g, ומסת העגלה כשהיא ריקה 600g ומסת הסל 300g. אם במערכת הניסוי שברשותך המסות שונות מערכים אלה, רשום את ערכי המסות במערכת זו.

- (1) הנח המסילה על השולחן לאורך הקצה שלו והדק אותה באמצעות קליבה.
- (2) שים על המסילה רשם זמן בקצה הרחוק שלו (לא בקצה שבו מחוברת הגלגלת), והדק אותו או באמצעות קליבה או נייר דבק. חבר את רשם הזמן לספק (אל תפעיל את הספק בשלב זה).
- (3) הנח על המסילה את העגלה ושים בתוכה משקולות (6 משקולות לדוגמה של 300g כל אחת). רשום את מסת העגלה כולל המשקולות שבתוכה.
- (4) חבר סרט נייר לעגלה והעבר אותו במקום המיועד לכך ברשם הזמן.
- (5) חבר לקצה השני של העגלה חוט. העבר את החוט על הגלגלת, וקשור לקצה השני את הסל (אם מסת הסל פחות מ-300g שים בתוכה משקולת כך שמסתה תהיה 300g).
- (6) החזק את העגלה על המסילה במנוחה, ושחרר את הסל באוויר (ראה איור 1). הפעל את רשם הזמן ושחרר את העגלה. המערכת תנוע בתאוצה, ואיתה גם סרט הנייר. כתוצאה מהפגיעות של הראש המתכתי ברשם הזמן מתקבלות על סרט הנייר נקודות המתארות את תנועת המערכת. רשום על סרט הנייר את הגדלים הבאים: מספר המדידה (n), מסת הסל (m) והמסה הכוללת

של המערכת (Σm) שהיא גודל קבוע.

(7) חזור על המדידה הקודמת (6) מספר פעמים, כך שבכל פעם יש לחבר סרט נייר חדש לעגלה, ולהעביר משקולת אחת מהעגלה לסל. בכך מסת הסל גדלה, אבל המסה הכוללת של המערכת לא משתנה. כאמור, רשום על הסרט המתקבל בכל פעם את מספר המדידה (n), מסת הסל (m) והמסה הכוללת של המערכת (Σm) שהיא גודל קבוע.

(8) בסוף חלק זה של הניסוי מתקבלים מספר סרטי נייר השווה למספר המדידות שבוצעו.

חלק שני: התאוצה כפונקציה של מסת המערכת כשהכוח השקול הפועל על המערכת קבוע

(1) בנה את המערכת המתוארת באיור 1 כך שמסת הסל קבועה (600g לדוגמה). ובתוך העגלה נמצאת משקולת אחת בלבד.

(2) רשום את המסה הכוללת של המערכת.

(3) חבר לעגלה סרט נייר והעבר אותו ברשם הזמן. הפעל את רשם הזמן ושחרר את המערכת ממנוחה. על סרט הנייר המתקבל רשום את הגדלים הבאים: מספר המדידה (n) והמסה הכוללת של המערכת (Σm) (מסת הסל והעגלה ומסת המשקולות). שים לב שמסת הסל נשארת קבועה לאורך כל הניסוי.

(4) חזור על השלב הקודם מספר פעמים, כך שבכל פעם יש להוסיף לעגלה משקולת (מסת הסל נשארת קבועה). כאמור, רשום על סרט הנייר בכל פעם את מספר המדידה (n) והמסה הכוללת של המערכת (Σm).



ה. עיבוד התוצאות

עיבוד תוצאות החלק הראשון של הניסוי

(1) מצא, באמצעות סרטי הנייר שקיבלת בחלק זה של הניסוי, את תאוצת המערכת בכל אחת מהמדידות. על מנת לבצע זאת, יש להכין מכל אחד מהסרטים טבלה המתארת את המהירות הרגעית כפונקציה של הזמן, לשרטט גרף המתאר מהירות זו כפונקציה של הזמן, ובאמצעות הגרף לחשב את תאוצת המערכת.

(2) הכן טבלה הכוללת 3 עמודות: בעמודה הראשונה רשום את ערך התאוצה (a), בשנייה את מסת הסל (m) ובשלישית את הכוח הפועל על המערכת שהוא כוח הכובד הפועל על הסל ($F_G = mg$).

(3) שרטט, על סמך הטבלה שבסעיף הקודם, גרף אשר מתאר את תאוצת המערכת (a) כפונקציה של הכוח הפועל על המערכת (F_G).

(4) חשב את שיפוע הגרף, ומצא באמצעותו את מסת המערכת והשווה את התוצאה לערך שמדדת בניסוי.

עיבוד תוצאות החלק השני של הניסוי

(1) מצא, באמצעות סרטי הנייר שקיבלת בחלק זה של הניסוי, את תאוצת המערכת בכל אחת מהמדידות. על מנת לבצע זאת, יש להכין מכל אחד מהסרטים טבלה המתארת את המהירות הרגעית כפונקציה של הזמן, לשרטט גרף המתאר מהירות זו כפונקציה של הזמן, ובאמצעות הגרף לחשב את תאוצת המערכת.

(5) הכן טבלה הכוללת 3 עמודות: בעמודה הראשונה רשום את ערך התאוצה (a), בשנייה את

- המסה הכוללת של המערכת (Σm) ובשלישית את הגודל ($1/\Sigma m$).
- (6) שרטט, על סמך הטבלה שבסעיף הקודם, גרף אשר מתאר את תאוצת המערכת a כפונקציה של $1/\Sigma m$.
- (7) חשב את שיפוע הגרף, והשווה לערך שקבעת אותו בניסוי.

ו. שאלות הכנה:

- (1) הוכח את הקשר (6).
- (2) בטא את המתיחות בחוט באמצעות נתוני הבעיה.
- (3) שרטט באופן איכותי את הגרפים שתקבל בניסוי זה (התאוצה כפונקציה של ΣF והתאוצה כפונקציה של $1/\Sigma m$).
- (4) אם נמשיך ונגדיל את מסת הסל בניסוי זה תוך שמירה על מסת העגלה קבועה, האם תאוצת המערכת תמשיך לגדול ללא גבול, או שהיא תגיע לערך מקסימלי מסוים? הסבר את תשובתך.
- (5) אם נערוך את הניסוי הזה על פני הירח, קבע איזה תוצאות ישתנו ואיזה לא ישתנו. הסבר את תשובתך.