

החיכוך הקינטי

א. מטרת הניסוי

מדידת מקדם החיכוך הקינטי בין גוף למשטח

ב. רקע תיאורטי

כוח החיכוך הקינטי הוא כוח החיכוך הפועל בין הגוף ובין המשטח כאשר הגוף נמצא בתנועה. כוח זה מסומן ב- f_k מהלועזית kinetic friction.

על סמך הניסויים גילו הפיזיקאים שלרוב גודלו של החיכוך הקינטי קטן מהחיכוך הסטטי המקסימלי. במקרים אחדים הוא שווה לו. לכן ניתן לרשום ש- $f_k \leq f_{s,max}$.
על סמך הניסויים התקבל שהחיכוך הקינטי נמצא ביחס ישר לכוח הנורמלי המופעל על הגוף, כך שמתקיים:

$$(1) \quad f_k = \mu_k N$$

כאשר μ_k הוא מקדם הפרופורציה בין f_k ו- N . קבוע זה נקרא **מקדם החיכוך הקינטי**.
מתקיים:

(1) μ_k הוא גודל חסר יחידות.

(2) μ_k תלוי בסוגי החומרים מהם עשויים הגוף והמשטח עליו מונח הגוף.

(3) מכיוון שמתקיים ש- $f_k \leq f_{s,max}$, נקבל ש- $\mu_k \leq \mu_s$.

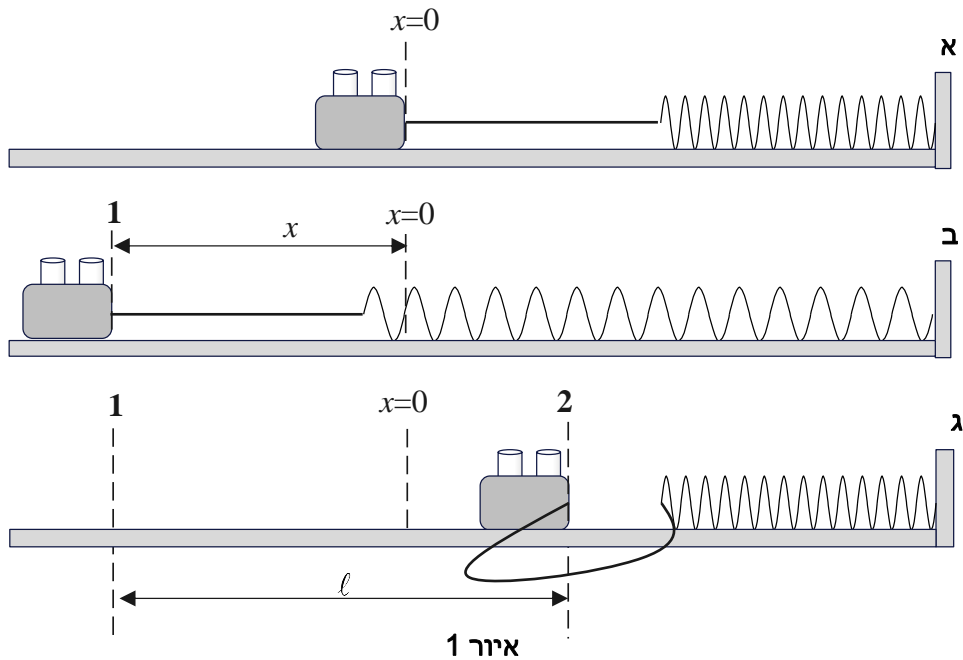
(4) ערכו של μ_k מתקבל באמצעות ניסויים.

באיור 1 שלפניך מתוארת מערכת הניסוי שבה נשתמש בניסוי זה. באיור זה מתואר קפיץ. קצה אחד של הקפיץ קשור לנקודה קבועה בקצה השולחן, והקצה השני שלו מחובר לקצה חוט. הקצה השני של החוט מחובר לקופסה שיש בתוכה משקולות. אם הקופסה נמצאת על השולחן בנקודה שמרחקה מקצה הקפיץ שווה לאורך החוט, החוט יהיה ישר והקפיץ רפוי (ראה איור 1א). אם נסמן נקודה זו ב- $x=0$, ונגרור את הקופסה בכיוון התארכות הקפיץ עד לנקודה 1 המרוחקת במרחק x מ- $x=0$ (כפי שמתואר באיור 1ב), ולאחר מכן נשחרר אותה ממנוחה, הקופסה תנוע בהשפעת כוח הקפיץ. במהלך תנועתה יפעל עליה כוח החיכוך הקינטי המכוון נגד כיוון תנועתה.

כוח הקפיץ פועל על הקופסה עד $x=0$, ולאחר מכן הוא מתאפס. לאחר $x=0$ ממשיך לפועל על הקופסה כוח החיכוך הקינטי וגורם לעצירתה בנקודה שנסמן אותה ב-2 (ראה איור 2ג). אם נסמן את המרחק בין נקודת ההתחלה לנקודות הסיום (הנקודות 1 ו-2 באיור 1) ב- ℓ , ניתן להוכיח על סמך משפט עבודה – אנרגיה שמתקיים הקשר הבא בין ℓ ו- x :

$$(2) \quad \ell = \left(\frac{k}{2\mu_k Mg} \right) x^2$$

כאשר M היא מסת הקופסה (עם המשקולות שבתוכה), k הוא קבוע הקפיץ ו- μ_k הוא מקדם החיכוך הקינטי שבין הקופסה למשטח.



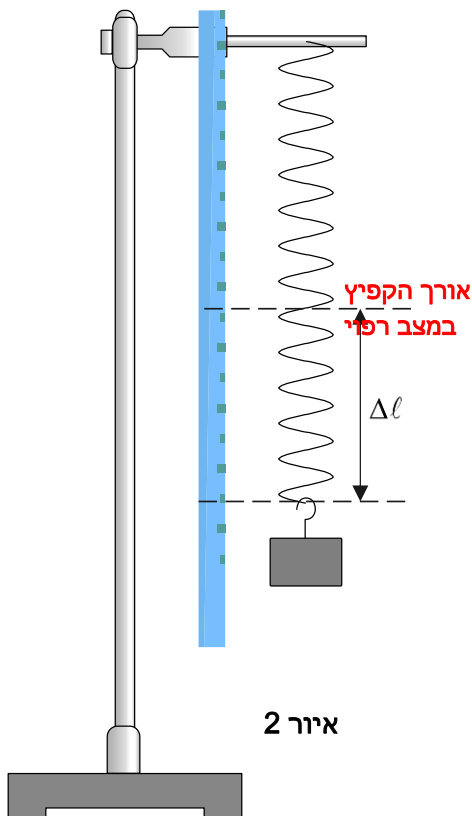
ג. מכשור וציוד

קפיץ, משקולת, חוט, סרגל ומאזניים.

ד. הניסוי (בניית המערכת וביצוע הניסוי)

חלק ראשון: מדידת קבוע הקפיץ.

- (1) קשור קצה אחד של הקפיץ לנקודה קבועה במוט אופקי המקובע על סטנד, ולקצה השני שלו קשור וו (ראה איור 2).
- (2) הצמד סרגל לסטנד כפי שמתואר באיור 2, וסמן עליו את הנקודה שבה נמצא הקצה החופשי של הקפיץ כשהוא במצב רפוי (ראה איור 2).
- (3) חבר משקולת אחת לוו, ומדוד באמצעות הסרגל את התארכות הקפיץ (Δl). רשום ערך זה, וגם את כוח הכובד $F_G = mg$ הפועל על המשקולת כאשר m היא מסת המשקולת ו- $g = 9.8 \text{ m/s}^2$.
- (4) חזור על הפעולה שבסעיף הקודם מספר פעמים, כך שבכל פעם יש להוסיף משקולת נוספת.
- (5) קבץ את התוצאות בטבלה שמתארת את Δl כפונקציה של F_G .



חלק שני: מדידת מקדם החיכוך הקינטי:

- (1) שים משקולת אחת או יותר בתוך הקופסה ומדוד באמצעות מאזניים את מסת הקופסה ביחד עם המשקולות (M). רשום ערך זה. את הערך המומלץ עבור M תלוי בחוזק הקפיץ, ניתן לנסות בהתחלה מסות שונות בתחום 200-600 גרם.
- (2) קשור קצה אחד של הקפיץ לנקודה קבועה בקצה השולחן (ניתן לדוגמה להדק קליבה בקצה

- השולחן ולקשור את קצה הקפיץ לקליבה).
- (3) קשור חוט לקצה החופשי של הקפיץ (באורך של כ 60 ס"מ), ולקצה השני של החוט קשור את הקופסה. תניח את הקופסה על השולחן במרחק מקצה הקפיץ השווה לאורך החוט. במצב זה החוט יהיה ישר והקפיץ רפוי (ראה איור 1א). סמן את מיקום קצה הקופסה במצב זה ב- $x=0$.
- (4) גרור את הקופסה בכיוון התארכות הקפיץ עד למרחק x מסויים, 10 ס"מ לדוגמה, כפי שמתואר באיור 1ב. רשום ערך זה. לאחר מכן שחרר את הקופסה ומדוד את המרחק ℓ שעוברת הקופסה מנקודת ההתחלה ועד לנקודת העצירה (ראה איור 1ג).
- (5) חזור על המדידה הקודמת (4) מספר פעמים, כך שבכל פעם יש להגדיל את x , ולמדוד את ℓ המתקבל.
- (6) קבץ את התוצאות בטבלה הכוללת שתי עמודות. בעמודה הראשונה רשום את ערכי x ובשנייה את ערכי ℓ :

$x(m)$	$\ell(m)$
x_1	ℓ_1
x_2	ℓ_2
\vdots	\vdots

ה. עיבוד התוצאות

החלק הראשון:

שרטט גרף המתאר את התארכות הקפיץ ℓ כפונקציה של כוח הכובד ($F_G = mg$). באמצעות גרף זה מצא את קבוע הקפיץ.

החלק השני:

שרטט גרף המתאר את הגודל ℓ כפונקציה של x^2 . על סמך הגרף והקשר (2), מצא את מקדם החיכוך הקינטי.



ו. שאלות הכנה

- הסבר מה מבטא קבוע הקפיץ, וקבע מהי יחידת גודל זה.
- הוכח את הקשר (2).
- העזר במשפט עבודה – אנרגיה, ומצא את מהירות הקופסה כשהיא עוברת בנקודה $x=0$. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים x , k ו- μ_k .
- קבע היכן לאורך מסלול הקופסה, המהירות שלה היא מקסימלית. בטא את תשובתך באמצעות הגדלים: M , g , μ_k ו- k .
- בטא את המהירות המקסימלית של הקופסה באמצעות הגדלים: x , M , g , μ_k ו- k .