

פיזיקה 1 להנדסת אלקטרוניקה 3 שעות שבועיות

פרק 6 - דינמיקה - חוקי ניוטון

תוכן העניינים

1. חוקי ניוטון..... 1

חוקי ניוטון:

רקע:

כוחות נפוצים:

כוח הכובד:

סימון: W (קיצור של Weight).

מופעל ע"י כדור הארץ.

כיוון: למרכז כדור הארץ (או לכיוון האדמה).

גודל: mg .

נורמל:

סימון: N .

מופעל ע"י משטח.

כיוון: תמיד מאונך למשטח ודוחף (מהמשטח כלפי חוץ).

גודל: לא ידוע, תלוי בבעיה (לא שווה ל- mg).

מתיחות:

מופעל על ידי חוט או חבל.

סימון: T (קיצור של Tension).

כיוון: תמיד מושך את הגוף לכיוון החוט.

הערה, חוט תמיד מושך משני צדדיו.

חוט אידיאלי – חוט חסר מסה שאינו משנה את אורכו (לא אלסטי).

בחוט אידיאלי המתיחות אחידה לאורך החוט.

החיכוך:

חיכוך סטטי - f_s :

פועל כאשר אין תנועה יחסית בין המשטחים.

מופעל ע"י המשטח.

כיוון: משיק למשטח (נגד כיוון השליפה לתנועה).

גודל: $f_s \neq \mu_s N$ (בד"כ נעלם לא ידוע).

μ_s - מקדם חיכוך סטטי (תלוי בחומר וקבוע).

$f_s \leq \mu_s N$ - החיכוך הסטטי תמיד קטן מ- $\mu_s N$.

$f_{s \max} = \mu_s N$.

לשים לב שאפשר להציב $f_{s \max} = \mu_s N$ רק אם ידוע שהמערכת על סף החלקה.

חיכוך קינטי - f_k :

פועל כאשר יש תנועה יחסית בין המשטחים.
 מופעל ע"י משטח.

כיוון: משיק למשטח (נגד כיוון התנועה היחסית).

$$\text{גודל: } f_k = \mu_k N$$

μ_k - מקדם החיכוך הקינטי – תלוי בסוגי החומרים. בד"כ קבוע.

N - נורמל שמפעיל אותו משטח.

חוק ראשון של ניוטון – התמדה:

אם גוף נע בקו ישר ובמהירות קבועה (בהתמדה) סכום הכוחות עליו שווה לאפס.
 מקרה פרטי של תנועה במהירות קבועה הוא מנוחה. לכן, אם גוף נמצא במנוחה סכום הכוחות עליו הוא אפס.

חוק שלישי – עקרון פעולה תגובה:

לכל כוח שגוף A מפעיל על גוף B יש כוח תגובה שגוף B מפעיל חזרה על גוף A.
 כוח התגובה שווה בגודלו והפוך בכיוונו.
 שימו לב: הכוחות פועלים על גופים שונים ולכן אף פעם לא יופיעו באותו תרשים כוחות.

חוק שני של ניוטון:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

בפועל רושמים את הנוסחה לכל ציר בנפרד.

חוק הוק – הכוח של קפיץ:

$$F = -k\Delta x$$

$$\Delta x = x - x_0$$

x - מיקום הגוף.

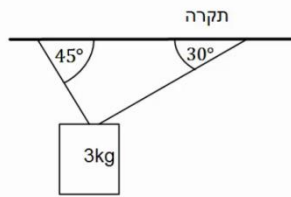
x_0 - מיקום שבו הקפיץ רפוי.

חיבור קפיצים במקביל (שני הקפיצים מחוברים לגוף ולקיר) - $k_{eff} = k_1 + k_2$
 חיבור קפיצים בטור (גוף מחובר לקפיץ אחד שמחובר לקפיץ שני שמחובר לקיר) -



$$\frac{1}{k_{eff}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

שאלות:



- (1) **דוגמה-גוף תלוי מהתקרה**
 גוף תלוי במנוחה מהתקרה באמצעות שני חוטים, לפי האיור הבא.
 מהי המתוחות בכל חוט אם מסת הגוף היא 3 ק"ג?

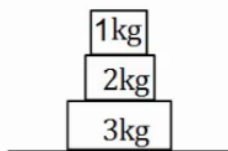


- (2) **דוגמה-גוף תלוי מהתקרה ומהקיר**
 גוף תלוי במנוחה מהתקרה באמצעות חוט ומחובר לקיר המאונך לתקרה באמצעות חוט נוסף (הסתכל באיור).
 מהי המתוחות בכל חוט אם מסת הגוף היא 3 ק"ג?



- (3) **דוגמה-מסה על מסה**
 במערכת הבאה ישנה מסה של 3 ק"ג הנמצאת במנוחה על שולחן.
 על המסה מונחת מסה נוספת של 2 ק"ג.

- שרטט תרשים כוחות לכל אחת מהמסות.
- חשב את הכוח הנורמלי הפועל על המסה העליונה.
- חשב את הכוח הנורמלי הפועל על המסה התחתונה.
- חשב את הכוח הנורמלי הפועל על השולחן.



- (4) **דוגמה-מסה על מסה על מסה**
 שלוש מסות מונחות אחת על גבי השנייה ועל הקרקע במנוחה, כפי שנראה בציור.

- מהו גודלו וכיוונו של הכוח שמפעילה המסה הכי תחתונה על המסה מעליה?
- מהו גודלו וכיוונו של הכוח שמפעילה הרצפה על המסה הכי תחתונה?



- (5) **דוגמה-דני מושך במקביל לקרקע**
 דני מושך ארגז במקביל לקרקע. ידוע כי מסת הארגז היא 20 ק"ג ומקדם החיכוך הקינטי בין הארגז לקרקע הוא: $\mu_k = 0.2$.
 מצא מהו גודלו של הכוח שמפעיל דני, אם הארגז נע במהירות קבועה?

(6) ירון מושך בארגז בזווית

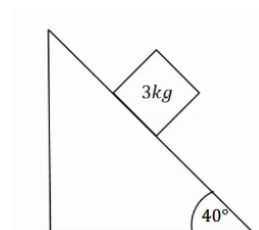
ירון מושך ארגז באמצעות חבל הנמתח בזווית של 30 מעלות ביחס לקרקע. ידוע כי מסת הארגז היא 20 ק"ג, ומקדם החיכוך הקינטי בין הארגז לקרקע הוא: $\mu_k = 0.2$. מצא מהו גודלו של הכוח שמפעיל ירון, אם הארגז נע במהירות קבועה?

(7) גוף על שולחן

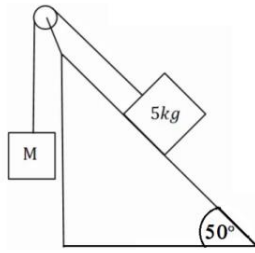
גוף בעל מסה של 3 ק"ג נמצא במנוחה על שולחן. מקדם החיכוך הסטטי הוא: $\mu_s = 0.4$.
א. מהו הכוח המקסימלי הניתן להפעיל על הגוף, כך שישאר במנוחה?
כוח אופקי בגודל 10 ניוטון פועל על הגוף ימינה.
ב. מצא את גודלו וכיוונו של החיכוך הסטטי.

(8) כוח תלוי בזמן

גוף בעל מסה של 5 ק"ג נמצא במנוחה על שולחן. כוח אופקי התלוי בזמן $F(t) = 2 \cdot t^2$ פועל על הגוף ימינה. מקדם החיכוך הסטטי הוא: $\mu_s = 0.3$.
א. מהו הכוח המקסימלי הניתן להפעיל על הגוף, כך שישאר במנוחה?
ב. מתי יתחיל הגוף בתנועה?
ג. שרטט גרף של החיכוך הסטטי כתלות בזמן.

(9) מסה בשיפוע

מסה של 3 ק"ג נמצאת במנוחה על מישור משופע בעל זווית של 40 מעלות. בין המסה למדרון קיים חיכוך, ומקדם החיכוך הסטטי הוא: $\mu_s = 0.9$.
א. שרטט תרשים כוחות לבעיה.
ב. מצא את גודלם של הכוח הנורמלי והחיכוך.

10) מסה בשיפוע ומסה באוויר

מסה של 5 ק"ג מונחת על מישור משופע בעל זווית של 50 מעלות. המסה מחוברת באמצעות חוט אידיאלי ודרך גלגלת אידיאלית למסה נוספת M התלויה באוויר מצידו השני של המישור.

א. מצא את גודלה של המסה M, על מנת שהמערכת תשאר במנוחה כאשר אין חיכוך בבעיה. כעת נתון שבין המסה למדרון קיים חיכוך, ומקדם החיכוך הסטטי הוא: $\mu_s = 0.3$.

ב. מצא מה הוא גודלה המקסימלי והמינימלי האפשרי של M, על מנת שהמערכת תשאר במנוחה.

11) דוגמה-כוח בזווית 30 מעלות

כוח של 20 ניוטון פועל בזווית של 30 מעלות מעל האופק. הכוח מופעל על ארגז בעל מסה של 8 ק"ג. הארגז נמצא במנוחה ונתון כי בין הארגז לרצפה קיים חיכוך. מקדמי החיכוך הסטטי והקינטי הם: $\mu_k = 0.1$, $\mu_s = 0.2$.

א. בדוק האם הארגז נשאר במנוחה או מתחיל נוע?
 ב. כמה זמן ייקח להזיז את הארגז למרחק של 30 מטרים באמצעות כוח זה?
 ג. חזור על הסעיפים אם הכוח היה בזווית של 70 מעלות.

12) דוגמה-מרחק עצירה

דני נוסע במכוניתו במהירות של 54 קמ"ש, ולפתע הוא מבחין כי רמזור הנמצא 50 מטרים לפניו הופך לאדום. דני לוחץ על הבלמים ומתחיל בעצירה. מקדם החיכוך הקינטי בין הגלגלים לרצפה הוא: $\mu_k = 0.3$.

הנח שהגלגלים ננעלים ואין למכונית מערכת ABS.
 א. האם דני יספיק לעצור לפני הרמזור?
 ב. בדוק שוב האם דני יספיק לעצור, אך הפעם הוסף זמן תגובה של שנייה אחת (הזמן מהרגע שבו דני מבחין באור עד אשר הוא לוחץ על הבלמים).

13) דוגמה 1-קפיץ

גוף בעל מסה של 2 ק"ג מחובר לקפיץ בעל קבוע

קפיץ $k = 50 \frac{N}{m}$. בין הגוף למשטח אין חיכוך.



א. מושכים את הגוף למרחק 5 ס"מ מהנקודה בה

הקפיץ רפוי ומשחררים אותו.

מהי תאוצת הגוף (גודל וכיוון)?

ב. דוחפים את הגוף למרחק 10 ס"מ מהנקודה בה

הקפיץ רפוי ומשחררים אותו.

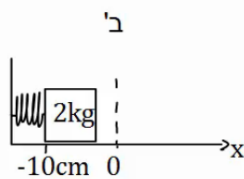
מהי תאוצת הגוף (גודל וכיוון)?

כעת נתון כי בין הגוף למשטח קיים חיכוך, ומקדם

החיכוך הסטטי הוא: $\mu_s = 0.2$.

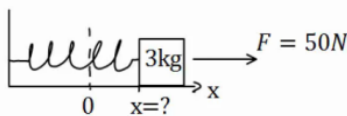
ג. מהו המרחק המקסימלי בו ניתן להניח את הגוף קשור

לקפיץ כך שישאר במנוחה?

**14) דוגמה 2-קפיץ**

גוף בעל מסה של 3 ק"ג מחובר לקפיץ בעל קבוע

קפיץ $k = 100 \frac{N}{m}$. בין הגוף למשטח אין חיכוך.



על הגוף פועל כוח ימינה שגודלו 50 ניוטון.

קבע את ראשית הצירים בנקודת הרפיון של הקפיץ.

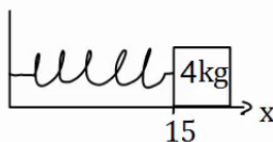
היכן נמצאת נקודת שיווי המשקל (הנקודה בה סכום

הכוחות שווה לאפס)?

15) דוגמה 3-קפיץ

גוף בעל מסה של 4 ק"ג מחובר לקיר באמצעות קפיץ

בעל קבוע קפיץ $k = 50 \frac{N}{m}$. בין הגוף למשטח אין חיכוך.



אורכו הרפוי של הקפיץ הוא 10 ס"מ.

א. חשב את הכוח שמפעיל הקפיץ על הגוף כאשר

הגוף במרחק 15 ס"מ מהקיר.

ב. חשב את הכוח שמפעיל הקפיץ על הגוף כאשר

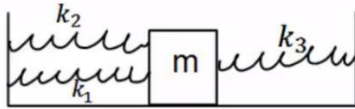
הגוף במרחק 6 ס"מ מהקיר.

ג. חשב את תאוצת הגוף בכל נקודה אם על הגוף

פועל כוח שגודלו 10 ניוטון שמאלה.

16) מסה עם שלושה קפיצים

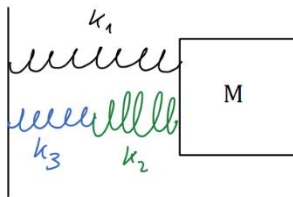
שלושה קפיצים מחוברים למסה $m = 2\text{kg}$, כפי שנראה באיור. אין חיכוך בין המסה לרצפה.



נתון כי: $k_1 = 3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$, $k_2 = 5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$, $k_3 = 12 \frac{\text{N}}{\text{m}}$.

הנח כי כל הקפיצים רפויים באותה הנקודה.

מהי תאוצת המסה כאשר היא נמצאת במרחק 20 ס"מ מנקודת שיווי המשקל?

17) שלושה קפיצים שוב

באיור הבה, המסה $m = 4\text{kg}$ מחוברת לשלושה קפיצים

בעלי קבועי קפיץ שונים. הנח שכל הקפיצים רפויים

כאשר המסה נמצאת ב- $x = 0$.

מהי תאוצת המסה, כאשר מיקומה הוא: $x = 0.2\text{m}$,

אם קבועי הקפיצים הם: $k_1 = 3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$, $k_2 = 5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$, $k_3 = 12 \frac{\text{N}}{\text{m}}$?

18) כוח אופקי תלוי בזמן

כוח אופקי שגודלו $F = 2t$ פועל על גוף, כאשר הזמן t נתון בשניות והכוח F בניוטונים. מסת הגוף 2kg והוא נמצא במנוחה על משטח אופקי.

מקדמי החיכוך בין הגוף למשטח: $\mu_k = 0.15$, $\mu_s = 0.2$. מצא את:

א. זמן תחילת התנועה.

ב. כוח החיכוך בזמן $t = 0.5\text{sec}$.

ג. תאוצת הגוף כפונקציה של זמן.

ד. מהירות הגוף לאחר 4 שניות.

ה. מיקום הגוף לאחר 4 שניות.

19) כוח בזווית תלוי בזמן

הגוף שבציור מונח על הרצפה, בזמן $t = 0$ מתחיל לפעול

על הגוף כוח שגודלו $F = 2t$ הזמן בשניות והכוח בניוטונים.

הכוח פועל בזווית $\alpha = 37^\circ$ יחסית לציר התנועה.

מסת הגוף היא 2kg .

נתון כי מקדם החיכוך הסטטי והקינטי בין הגוף והרצפה הוא: $\mu = 0.2$.

לפשטות החישוב קחו: $\sin \alpha = 0.6$, $\cos \alpha = 0.8$, $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$.

א. מתי יתחיל הגוף לנוע?

ב. מהי מהירות הגוף לאחר 4 שניות?

ג. מה המרחק שהתקדם הגוף עד לניתוקו מהקרע?

20) אדם על קרונית על מישור משופע*

אדם בעל מסה m עומד על משקל המחובר בצורה אופקית לקרונית. מסת הקרונית היא M ונתון כי היא מחליקה ללא חיכוך על פני מישור משופע בזווית α .



א. מה מורים המאזניים?

הניחו שהחיכוך בין רגלי האדם לקרונית מספיק גדול, כך שאינו נע ביחס אליה.

ב. מצא את מקדם החיכוך המינימלי בין רגלי האדם והקרונית על מנת שהאדם לא יחליק ביחס לקרונית.

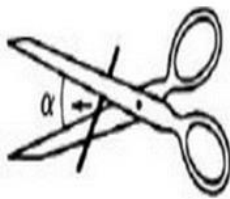
ג. כעת הנח כי אין חיכוך בכלל בין האדם לקרונית.

מה תהיה תאוצת הקרונית במצב זה? (כל עוד האדם נמצא על הקרונית).

ד. מה יורה המשקל במצב המתואר בסעיף ג'?

21) מספריים חותכות חוט**

אדם מנסה לחתוך חוט מתכת בעזרת מספריים. החוט חופשי לנוע והוא מחליק על המספריים עד שזווית המפתח של המספריים היא α , בזווית זו המספריים מתחילות לחתוך את החוט.



א. צייר את הכוחות שפועלים על החוט.

ב. מצא את מקדם החיכוך בין המספריים לחוט.

ג. הראה שהזווית α אינה תלויה בכוח הכובד כאשר המספריים במצב אופקי.

ד. כעת, מסובבים את המספריים בזווית β סביב ציר העובר בבורג המספריים. כיוון הסיבוב הוא נגד השעון, כך שהחוט עולה כלפי מעלה.

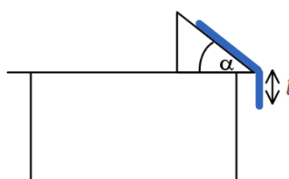
הראה כעת שהשינוי בזווית α הוא לפי: $\mu = \mu_0 + \Delta\mu$ כאשר μ_0 הוא

$$\Delta\mu = -\frac{mg \sin \beta}{F \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad \text{ו-1}$$

האם המספריים יחתכו יותר מוקדם או יותר מאוחר?

22) חבל מחליק משולחן משופע**

חבל בעל מסה M ואורך L נמצא על מישור משופע בזווית α שנמצא על שולחן כך שחלק משתלשל מהשולחן מטה. בין החבל לשולחן יש מקדם חיכוך קינטי וסטטי μ . בזמן $t = 0$ יש חבל באורך l המשתלשל מקצה השולחן, ונמצא במנוחה.



מהו הגובה של קצה החבל $y(t)$ מתחת לשולחן

כתלות בזמן? הניחו כי החבל בעל עובי אפס ויש חיכוך רק עם החלק העליון של המישור.

תשובות סופיות:

(1) $T_1 \approx 22.0\text{N}$, $T_2 \approx 26.9\text{N}$

(2) $T_1 \approx 19.5\text{N}$, $T_2 \approx 26.3\text{N}$

(3) א. מסה 3 ק"ג:



מסה 2 ק"ג:



ד. 50N

ג. 20N

ב. 20N

(4) א. 30N למעלה ב. 60N למעלה

(5) 40N

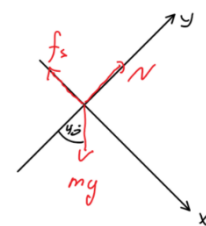
(6) $T \approx 41.3\text{N}$

(7) א. 12N ב. 10N

(8) א. 20N ב. $\sqrt{10}\text{sec}$ ג.



ב. $f_s \approx 19.3\text{N}$, $N \approx 23.0\text{N}$



(9) א.

(10) א. $M = 3.83\text{kg}$ ב. $M_{\min} = 2.87\text{kg}$, $M_{\max} = 4.79\text{kg}$

(11) א. הגוף לא יכול להיות במנוחה. ב. $t \approx 6.82\text{sec}$

ג. סעיף א': נשאר במנוחה, סעיף ב': אין משמעות.

(12) א. כן, כי $\Delta x \approx 37.5\text{m} < 50\text{m}$ ב. לא, כי $\Delta x = 52.5\text{m} > 50\text{m}$

(13) א. גודל: $-1.25 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$, הכיוון חיובי. ב. גודל: $a = 2.5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$, הכיוון חיובי.

ג. $x = 8\text{cm}$

(14) $x = \frac{1}{2}\text{m}$

(15) א. $F = -2.5\text{N}$ ב. $F = 2\text{N}$ ג. סעיף א': $a = -3.13 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$

סעיף ב': $a = -2 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$

(16) $a = -2 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$

$$a \approx 0.326 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \quad (17)$$

$$a = \begin{cases} 0 & 0 < t < 2 \\ t - \frac{3}{2} & 2 < t \end{cases} \quad \text{ג.} \quad f_s = 1\text{N} \quad \text{ב.} \quad t = 2\text{sec} \quad \text{א.} \quad (18)$$

$$x(t=4) = 2.3\text{m} \quad \text{ה.} \quad v(t=4) = 3 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ד.}$$

$$x = 467\text{m} \quad \text{ג.} \quad v(t=4) = 1.53 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.} \quad t \approx 2.17\text{sec} \quad \text{א.} \quad (19)$$

$$a_x = \frac{(M+m)g \sin \alpha}{M+m \sin^2 \alpha} \quad \text{ג.} \quad \mu_{s,\min} = \tan \alpha \quad \text{ב.} \quad N_2 = mg \cos^2 \alpha \quad \text{א.} \quad (20)$$

$$N_2 = m \left(g - \left(\frac{(M+m)g \sin \alpha}{M+m \sin^2 \alpha} \right) \sin \alpha \right) \quad \text{ד.}$$

$$\text{ג. הוכחה.} \quad \mu_k = \tan \frac{\alpha}{2} \quad \text{ב.}$$



(21) א.

ד. הוכחה. החוט יחתך יותר מאוחר.

$$y(t) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\beta}{k} \right) \left(e^{\sqrt{\frac{k}{M}} t} + e^{-\sqrt{\frac{k}{M}} t} \right) - \frac{\beta}{k} \quad (22)$$