

מכינה לאדריכלות

פרק 5 - דינמיקה - תנועה בהשפעת כוחות (חוקי ניוטון)

תוכן העניינים

1. הקדמה, חוק ראשון ושלישי 1
2. תרגילים נוספים לחוק ראשון ושלישי 10

הקדמה, חוק ראשון ושלישי:

שאלות:

דינמיקה והכוחות הבסיסיים:

(1) דוגמה 1

חשב את שקול הכוחות הפועל על גוף במקרה הבא:



(2) דוגמה 2

חשב את שקול הכוחות הפועל על גוף במקרה הבא:



(3) דוגמה 3

חשב את שקול הכוחות הפועל על גוף במקרה הבא:



(4) דוגמה 4

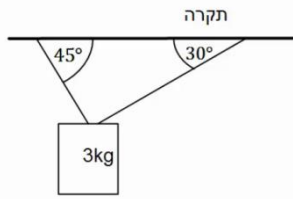
באיור הבא נתונים הכוחות \vec{F}_1, \vec{F}_2 וידוע כי הגוף נע במהירות קבועה בקו ישר. מצא את גודלו וכיוונו של \vec{F}_3 .



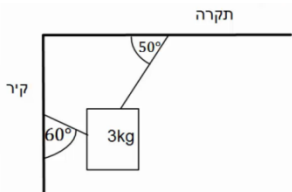
(5) דוגמה 5

גוף תלוי במנוחה מהתקרה באמצעות חוט יחיד. מהי המתחיות בחוט אם מסת הגוף היא 2 ק"ג?

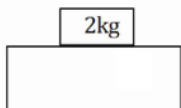


6 דוגמה 6

גוף תלוי במנוחה מהתקרה באמצעות שני חוטים, לפי האיור הבא.
 מהי המתחיות בכל חוט אם מסת הגוף היא 3 ק"ג?

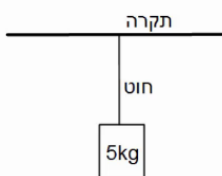
7 דוגמה 7

גוף תלוי במנוחה מהתקרה באמצעות חוט ומחובר לקיר המאונך לתקרה באמצעות חוט נוסף (הסתכל באיור).
 מהי המתחיות בכל חוט אם מסת הגוף היא 3 ק"ג?

8 דוגמה 8

מסה של 2 ק"ג נמצאת במנוחה על שולחן.
 א. שרטט תרשים כוחות על המסה.

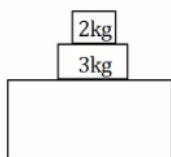
- ב. מהו גודלו וכיוונו של הכוח הנורמלי הפועל מהשולחן על המסה?
 ג. מהו גודלו וכיוונו של הכוח הנורמלי הפועל על השולחן מהמסה?

9 דוגמה 9

מסה של 5 ק"ג תלויה במנוחה מהתקרה באמצעות חוט יחיד.
 א. מהי המתחיות בחוט?
 ב. מהו גודלו וכיוונו של הכוח שמפעיל החוט על התקרה?
 ג. מהו גודלו וכיוונו של הכוח שמפעילה התקרה על החוט?

10 דוגמה 10

דני ויוסי מושכים בחבל משני צידיו, כל אחד מהם מושך בכוח של 50 ניוטון.
 מהי המתחיות בחבל?

11 דוגמה 11

במערכת הבאה ישנה מסה של 3 ק"ג הנמצאת במנוחה על שולחן.
 על המסה מונחת מסה נוספת של 2 ק"ג.
 א. שרטט תרשים כוחות לכל אחת מהמסות.
 ב. חשב את הכוח הנורמלי הפועל על המסה העליונה.
 ג. חשב את הכוח הנורמלי הפועל על המסה התחתונה מהשולחן.
 ד. חשב את הכוח הנורמלי הפועל על השולחן.

12 דוגמה 12

שלוש מסות מונחות אחת על גבי השנייה ועל הקרקע במנוחה, כפי שנראה בציר.



א. מהו גודלו וכיוונו של הכוח שמפעילה המסה הכי תחתונה על המסה מעליה?

ב. מהו גודלו וכיוונו של הכוח שמפעילה הרצפה על המסה הכי תחתונה?

חיכוך:**13 גוף על שולחן**

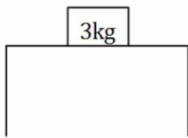
גוף בעל מסה של 3 ק"ג נמצא במנוחה על שולחן.

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.

**14 כוח מלמעלה**

גוף בעל מסה של 4 ק"ג נמצא במנוחה על שולחן.

כוח אנכי בגודל של 5 ניוטון לוחץ את הגוף כלפי השולחן.

מקדם החיכוך הסטטי הוא: $\mu_s = 0.4$.

א. מהו הכוח המקסימלי הניתן להפעיל על הגוף, כך שישאר במנוחה?

כוח אופקי בגודל 15 ניוטון פועל על הגוף שמאלה.

ב. מצא את גודלו וכיוונו של החיכוך הסטטי.

**15 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.



16) כוח בזווית

גוף בעל מסה של 3 ק"ג נמצא במנוחה על שולחן.
 כוח קבוע פועל על הגוף בזווית של 30 מעלות עם הכיוון האופקי.
 מקדם החיכוך הסטטי הוא: $\mu_s = 0.3$.

א. מהו הגודל המקסימלי של הכוח בשאלה אותו ניתן להפעיל
 כך שהגוף ישאר במנוחה?

ב. מצא את גודלו וכיוונו של החיכוך הסטטי אם גודל הכוח הוא 5 ניוטון.

17) 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.

18) ירון מושך 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.

19) כוח בכמה כיוונים

מצא מה גודל הכוח הדרוש להזיז את הארגז במהירות קבועה בכל אחד
 מהמקרים הבאים.

מסת הארגז היא 100 ק"ג ומקדם החיכוך של הארגז עם הרצפה הוא: $\mu_k = 0.4$.

א. כוח מושך אופקי

ב. כוח מושך בזווית של 20°



ג. כוח מושך בזווית של 30°

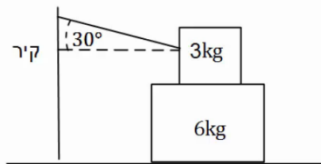
ד. כוח דוחף בזווית של 30° מתחת לאופק



**20) מסה על מסה קשורה לקיר**

מסה של 2 ק"ג מונחת מעל מסה של 5 ק"ג.
המסה העליונה קשורה בחוט אופקי לקיר משמאל.
מקדמי החיכוך בין המסות ובין המסה התחתונה
למשטח הם: $\mu_k = 0.2$, $\mu_s = 0.3$.

- מהו הכוח האופקי המקסימלי שניתן להפעיל על המסה התחתונה בכיוון ימין, כך שהיא תישאר במנוחה?
- מה המתוחות בחוט, אם הכוח הוא אותו כוח שחישבת בסעיף א'?
- מה הכוח אותו יש להפעיל על מנת למשוך את המסה התחתונה במהירות קבועה? הנח שהמסה כבר בתנועה.

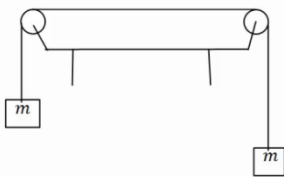
21) מסה על מסה קשורה לקיר בזווית

מסה של 3 ק"ג מונחת מעל מסה של 6 ק"ג.
המסה העליונה קשורה בחוט המתוח בזווית של 30 מעלות ומחובר לקיר משמאל.
מקדם החיכוך הסטטי בין המסות ובין המסה התחתונה למשטח הוא: $\mu_s = 0.3$.

- מהו הכוח האופקי המקסימלי שניתן להפעיל על המסה התחתונה בכיוון ימין, כך שהיא תישאר במנוחה?
- מהי המתוחות בחוט, אם גודל הכוח הינו זהה לערך אותו חישבת בסעיף א'?

22) שתי משקולות תלויות על שולחן

שתי משקולות זהות בעלות מסה של 4 ק"ג תלויות במנוחה משני צידיו של שולחן. המשקולות מחוברות באמצעות חוט העובר דרך גלגלות אידיאליות, ראה איור.



- מהי המתוחות בחוט?
- מהו הכוח (גודל וכיוון) שמפעיל המוט המחובר את הגלגלת לשולחן עבור כל גלגלת?
- האם היה שינוי בתשובתך לסעיפים הקודמים במידה והמסות היו נעות במהירות קבועה לאחד הכיוונים?

23) יחס מסות

שתי מסות תלויות באמצעות חוטים וגלגלות אידיאלים לפי האיור הבא. המערכת נמצאת במנוחה.



- מצא את היחס בין המסות: $\left(\frac{m_1}{m_2} = ?\right)$.
- מצא את המתוחות בכל חוט במערכת, אם ידוע ש: $m_2 = 40\text{gr}$.

המישור המשופע:

24) 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: $\mu_s = 0.2$.

א. שרטט תרשים כוחות לבעיה.
ב. מצא את גודלם של הכוח הנורמלי והחיכוך.

25) 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.

26) זווית החלקה



מסה m מונחת על מישור משופע ונמצאת במנוחה. מגדילים את זווית השיפוע של המישור בקצב איטי.

א. מצא את הזווית בה תתחיל המסה להחליק אם מקדם החיכוך הסטטי בין המסה למישור הוא: $\mu_s = 0.2$.
תרגול בפרמטרים.

ב. פתור את סעיף א' שוב כאשר מקדם החיכוך נתון כפרמטר μ_s ללא ערך מספרי.
ג. חשוב על דרך כללית למדידת מקדם החיכוך הסטטי של גוף עם משטח כלשהו.

27) שתי מסות שני שיפועים



במערכת הבאה ישנו מדרון עם שיפוע שונה משני צידיו, זוויות השיפוע הן θ_1, θ_2 . שתי מסות שונות m_1, m_2 מונחות בשני צידי המדרון. המסות מחוברות באמצעות חוט אידיאלי, ודרך גלגלת אידיאלית המקובעת למדרון. אין חיכוך בין המדרון למסות.

נתון: θ_1, θ_2, m_1 וכי המערכת נמצאת במנוחה. מצא את m_2 .

28) שתי מסות שני שיפועים וחיכוך

במערכת הבאה ישנו מדרון עם שיפוע שונה משני צידיו,

זוויות השיפוע הן: θ_1, θ_2 .

שתי מסות שונות m_1, m_2 מונחות בשני צידי המדרון.

המסות מחוברות באמצעות חוט אידיאלי,

ודרך גלגלת אידיאלית המקובעת למדרון.

בין המסות למדרון קיים חיכוך.

המסות נעות במהירות קבועה עם כיוון השעון.

נתון: $\mu_k, \theta_1, \theta_2, m_1$.

מצא את m_2 .



תשובות סופיות:

$$\sum \vec{F} = (6.14, -2.04) \quad (1)$$

$$\sum \vec{F} = (-1.20, 0) \quad (2)$$

$$\sum F_x = -3.03\text{N}, \quad \sum F_y = -3.47\text{N} \quad (3)$$

$$\text{גודל: } |\vec{F}| \approx 3.84\text{N}, \quad \text{כיוון: } \theta_{F_3} = -3.14^\circ \quad (4)$$

$$T = 20\text{N} \quad (5)$$

$$T_1 = 21.96\text{N}, \quad T_2 \approx 26.90\text{N} \quad (6)$$

$$T_1 \approx 26.30\text{N}, \quad T_2 \approx 19.48\text{N} \quad (7)$$

$$\text{א. גודל: } N = 20, \quad \text{כיוון: כלפי מעלה.} \quad (8)$$

$$\text{ג. גודל: } N = 20, \quad \text{כיוון: כלפי מטה.}$$



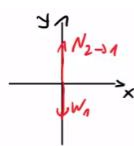
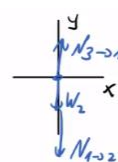
$$\text{א. } T = 50\text{N} \quad \text{ב. גודל: } T = 50\text{N}, \quad \text{כיוון: מטה.} \quad (9)$$

$$\text{ג. גודל: } |\vec{F}| = 50, \quad \text{כיוון: מעלה.}$$

$$T = 50\text{N} \quad (10)$$

$$\text{ג. } N_{32} = 50$$

$$\text{ב. } N_{21} = 20$$


 $m_1 \vec{a}$

 $m_2 \vec{a}$

$$\text{א.} \quad (11)$$

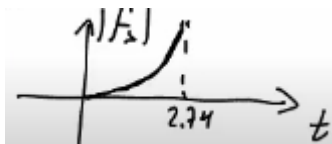
$$\text{ד. } N_{23} = 50\text{N}\hat{y}$$

$$\text{א. גודל: } N_{32} = 30\text{N}, \quad \text{כיוון: כלפי מעלה.} \quad \text{ב. גודל: } N_{43} = 60\text{N}, \quad \text{כיוון: כלפי מעלה.} \quad (12)$$

$$\text{א. } f_{s_{\max}} = 12\text{N} \quad \text{ב. } \vec{f}_s = -10\hat{x} \quad (13)$$

$$\text{א. } f_{s_{\max}} = 18\text{N} \quad \text{ב. } \vec{f}_s = -15\hat{x}_N \quad (14)$$

$$\text{א. } f_{s_{\max}} = 15\text{N} \quad \text{ב. } t = 2.74\text{sec} \quad (15)$$



$$\text{א. } F_{\max} = 8.858\text{N} \quad \text{ב. } f_s = 4.330\text{N} \quad (16)$$

$$F_{\text{Dani}} = T = 40\text{N} \quad (17)$$

$$T \approx 41.41\text{N} \quad (18)$$

$$\text{ז. } F = 600.58\text{N}$$

$$\text{ג. } F = 375.23\text{N}$$

$$\text{ב. } F \approx 371.57\text{N}$$

$$\text{א. } F = 400\text{N} \quad (19)$$

$$F = 18\text{N} \quad \text{ג.} \quad T = 6\text{N} \quad \text{ב.} \quad F_{\max} = 27\text{N} \quad \text{א.} \quad (20)$$

$$T = 8.86\text{N} \quad \text{ב.} \quad F_{\max} = 33.34\text{N} \quad \text{א.} \quad (21)$$

$$\theta = 45^\circ, F = 56.57\text{N} \quad \text{ב.} \quad T = 40\text{N} \quad \text{א.} \quad (22)$$

ג. לא.

$$T_2 = 0.4\text{N}, T_1 = 0.2\text{N} \quad \text{ב.} \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{2} \quad \text{א.} \quad (23)$$

$$f_s = mg \cos 50^\circ \approx 19.28\text{N}, N \approx 22.98\text{N} \quad \text{ב.} \quad (24)$$



$$M_{\max} = 4.79\text{kg}, M_{\min} = 2.87\text{kg} \quad \text{ב.} \quad M = 3.83\text{kg} \quad \text{א.} \quad (25)$$

$$\alpha = \arctan(\mu_s) \quad \text{ב.} \quad \alpha = 11.31^\circ \quad \text{א.} \quad (26)$$

ג. ראה סרטון.

$$m_2 = m_1 \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (27)$$

$$m_2 = m_1 \left(\frac{-\mu_k \cos \theta_1 + \sin \theta_1}{\sin \theta_2 + \mu_k \cos \theta_2} \right) \quad (28)$$

תרגילים נוספים לחוק ראשון ושלישי:

שאלות:

(1) מסה מוצמדת לקיר

ארגז בעל מסה של 2 ק"ג מוצמד לקיר באמצעות כוח אופקי. מקדם החיכוך הסטטי בין הארגז לקיר הוא: 0.3.



- א. מה הגודל המינימלי של הכוח המאפשר לשמור על הארגז במנוחה?
 ב. חזור על סעיף א' עבור המקרה בו הכוח פועל בזווית של 30° כלפי מעלה ביחס לאופק.

(2) כוח אופקי מיני ומקס על מסה בשיפוע

מסה: $m = 2\text{kg}$ מונחת על מדרון משופע בעל זווית: $\alpha = 37^\circ$. מקדם החיכוך הסטטי בין המסה למדרון הוא: $\mu_s = 0.15$. כוח אופקי F פועל על המסה ומחזיק אותה במנוחה. מהו F המינימלי והמקסימאלי כך שהמסה תשאר במנוחה?



(3) קופסה עם כוח לא ידוע

קופסה בעלת מסה של 5 ק"ג מונחת על משטח אופקי. כוח של 20 ניוטון מושך את הקופסה ימינה במקביל לציר ה-x. בין המשטח לקופסה קיים חיכוך, מקדם החיכוך הקינטי הוא: $\mu_k = 0.2$.

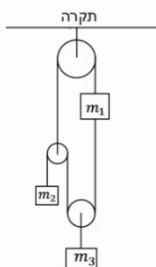


כוח נוסף מופעל על הקופסה אחורנית בזווית של 45° . מצא את גודלו של הכוח אם ידוע שהמסה נעה ימינה במהירות קבועה.

(4) מערכת גלגלות

במערכת הבאה כל הגלגלות והחוט הם אידיאליים. המסות m_1, m_2 נתונות.

מצא את m_3 ואת המתחויות בכל חוט, אם ידוע כי כל המערכת נמצאת במנוחה.



(5) מסה על שולחן, מסה תלויה, טבעת וקיר

קופסה בעלת מסה M מונחת על שולחן. הקופסה קשורה בחוט אידיאלי לטבעת חסרת מסה. מסה m תלויה גם כן באמצעות חוט אידיאלי מהטבעת ונמצאת באוויר. חוט נוסף מחבר את הטבעת לקיר. ידוע כי מקדם החיכוך הסטטי בין המסה M לשולחן הוא: μ_s , וכי כוח החיכוך הפועל על המסה במצב הנ"ל מקסימלי. מצא את המתיחות בכל חוט ואת הזווית בה מחובר החוט לקיר, אם: M, m, μ_s נתונים.

(6) מקדם חיכוך מינימלי וכוחות על השולחן

קופסה בעלת מסה M מונחת על שולחן. הקופסה קשורה בחוט אידיאלי ודרך גלגלת אידיאלית לקופסה נוספת בעלת מסה m התלויה באוויר. בין השולחן לקופסה קיים חיכוך, מקדם החיכוך הסטטי אינו ידוע. א. מצא מהו ערכו המינימלי האפשרי של מקדם החיכוך הסטטי, אם ידוע שהמערכת נמצאת במנוחה. הנח שהמסות נתונות. ב. מהו הכוח שמפעיל המוט המחזיק את הגלגלת על הגלגלת? ג. מהו הכוח הכולל הפועל על השולחן מהמערכת (מסות והמוט שמחזיק את הגלגלת)? ד. מהו הכוח הנורמלי ומהו כוח החיכוך הפועלים על השולחן מהרצפה? (התייחס למסת השולחן כנתונה).

(7) נער מושך בחוטים

מסה m_1 מונחת על משטח אופקי לא חלק. נער שמסתו m_2 מושך את קצה החוט T_3 , כך שהמסה m_1 על סף תנועה. הנער עומד על משקל. נתון: $\mu_s = 0.2$, $\alpha = 30^\circ$, $m_2 = 50\text{kg}$. החוט T_2 אופקי ו- T_3 אנכי. הוראת המשקל היא: 450N . א. חשב את המתיחות בחוטים: T_1 , T_2 ו- T_3 . ב. חשב את ערכה של מסה m_1 .

8) נער מושך בחוטים שוב

מסה m_1 מונחת על משטח משופע לא חלק.

נער שמסתו m_2 מושך את קצה החוט T_2 .

החוט T_2 מחובר למרכז הגלגלת חסרת חיכוך ומסה. הנער עומד על משקל.

נתון: $\mu_s = 0.2$, $\alpha = 40^\circ$, $m_1 = 80\text{kg}$, $m_2 = 60\text{kg}$.

החוט T_2 מאונך ו- T_3 מקביל למדרון.

הוראת המשקל היא: 120N .

א. חשב את הזווית β (הזווית בין החוט לאופק).

ב. חשב את המתוחות בחוטים: T_1, T_2, T_4 .

ג. מצא את גודלו וכיוונו של כוח החיכוך בין m_1 למדרון.

9) נער מושך בעגלה הקשורה למשקולת

בתרשים שלפניך מוצגת מערכת.

אדם מושך עגלה שמסתה $m_1 = 15\text{kg}$ באמצעות חוט.

החוט בזווית $\alpha = 30^\circ$ עם הציר האופקי, ראה תרשים. החיכוך בין העגלה למשטח ניתן להזנחה.

לעגלה מחוברת משקולת $m_2 = 25\text{kg}$.

מקדם החיכוך בין המשקולת למשטח שווה $\mu_k = 0.2$.

מערכת הגופים נעים במהירות קבועה.

א. מהי המתוחות בחוט בין העגלה למשקולת?

ב. מהו הכוח שהאדם מושך את מסה m_1 ?

**10) אדם הולך על קרש על מישור משופע ****

קרש שמסתו M מונח על מישור משופע חלק הנטוי בזווית θ .

אדם שמסתו: $m = 0.4M$ הולך על גבי הקרש.

בין האדם לקרש קיים חיכוך. הניחו שהכוח שמפעיל האדם על הקרש קבוע ושהמישור מקובע.

א. באיזה כיוון צריך האדם ללכת כך שהקרש יישאר במנוחה?

ב. מה צריכה להיות תאוצת האדם בסעיף א?

ג. מהו מקדם החיכוך הסטטי המינימלי המאפשר את המצב בסעיף א? (בהליכה החיכוך עם המשטח הוא סטטי למרות שיש תנועה)

ד. האדם משנה את הליכתו כך שעכשיו הוא נשאר במקום ביחס לקרקע והקרש נע ביחס לקרקע. מה כיוון הליכתו של האדם ומהי תאוצת המשטח במקרה זה?



תשובות סופיות:

$$F \geq 26.32\text{N} \quad \text{ב.} \quad F_{\min} = 66.67\text{N} \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$F_{\min} = 10.8\text{N}, F_{\max} = 20.4\text{N} \quad (2)$$

$$F \approx 17.68\text{N} \quad (3)$$

$$T_1 = (m_1 + m_2)g, T_2 = m_2g, T_3 = 2m_2g, T_4 = 2(m_1 + m_2), m_3 = 2m_2 \quad (4)$$

$$\cot \alpha = \frac{m}{\mu_s M} \quad (5)$$

$$\sum F_y = (-M + m)g \quad \text{ג.} \quad F = \sqrt{2}mg \quad \text{ב.} \quad \mu_{s_{\min}} = \frac{m}{M} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$N = -\sum F_y = (M + m)g + \tilde{M}g \quad \text{ד.}$$

$$m_1 = 14.5\text{kg} \quad \text{ב.} \quad T_1 = 57.7\text{N}, T_2 = 28.9\text{N}, T_3 = 50\text{N} \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$T_2 = 480\text{N}, T_1 = T_4 \approx 373\text{N} \quad \text{ב.} \quad \beta = 40^\circ \quad \text{א.} \quad (8)$$

$$\text{ג.} \quad f_s = 141\text{N} \quad \text{כיוון: במעלה המדרון.}$$

$$T_1 = 57.7\text{N} \quad \text{ב.} \quad T_2 = 50\text{N} \quad (9)$$

$$\mu_{s_{\min}} = \frac{\tan \theta}{0.4} \quad \text{ג.} \quad \frac{7}{2}g \sin \theta \quad \text{ב.} \quad \text{א.} \quad \text{במורד המישור.} \quad (10)$$

$$\text{ד.} \quad \text{במעלה המישור.} \quad a = 1.4g \sin \theta$$