

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

$$[m] = M \quad : \text{ק"מ}$$

$$[\vec{F}] = [m][\vec{a}] = M L T^{-2}$$

$$[a] = L/T^2 \quad : \text{ק"מ/ש}^2$$

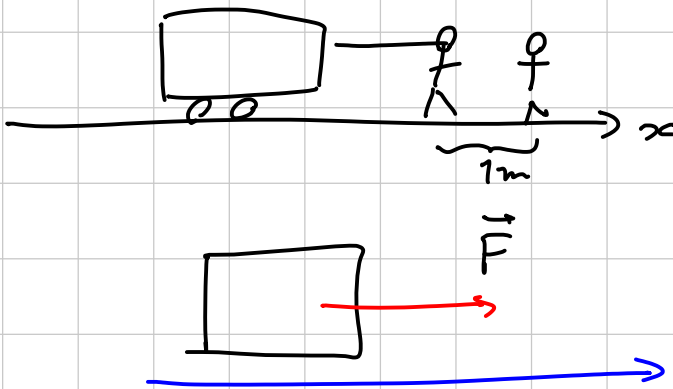
kg : SI - 2 הק"מ

(m/s<sup>2</sup>)

$$\vec{F} \text{ (kg m s}^{-2}\text{)} = \vec{F} \text{ (N)}$$

# תרגיל

בתצלום נראה ג'ון מסיס (John Massis) מושך שני קרונות נוסעים באמצעות הפעלת כוח קבוע בזווית של כ- $30^\circ$  ביחס למישור האופקי. נניח לשם פשטות כי מסיס משך שני קרונות שמסתם  $8.0 \times 10^4 \text{ kg}$  בכוח אופקי של  $2.0 \times 10^3 \text{ N}$ . אם לא היה כל חיכוך בפסים, מה הייתה מהירות הקרונות אחרי שמסיס הזיז אותם למרחק של  $1.0 \text{ m}$  ממקום המנוחה שלהם?



$$m = 8.0 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

$$F = 2.0 \cdot 10^3 \text{ N}$$

**FREE BODY DIAGRAM** ג'אודיט קארט

• כושרים ארכל הכותור ספול מרע'ס, ודא אר הכותור ספול מרע'ס ארע'ס ארע'ס

• מרע'ס קר'ים מרע'ס קר'ים

$$v^2 = v_0^2 + 2\vec{a} \cdot \Delta\vec{r}$$

$$\vec{v}_0 = \vec{0}$$

$$\vec{a} = ?$$

$$\vec{F} = m\vec{a} \rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{2.0 \cdot 10^3 \hat{i}}{8.0 \cdot 10^4} = \frac{1}{40} \hat{i} \text{ (N)}$$

$$\Delta\vec{r} = 1\hat{i} \text{ (m)}$$

$$\vec{F} = 2.0 \cdot 10^3 \hat{i} \text{ (N)}$$

$$v^2 = 2 \cdot \left(\frac{1}{40} \hat{i}\right) \cdot (1\hat{i}) = \frac{1}{20}$$

$$v = \sqrt{\frac{1}{20}} \text{ m/s} \approx 0.2 \text{ m/s}$$

לפיכך את החוק השני של ניוטון:

$$\vec{F}_{NET} = \sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

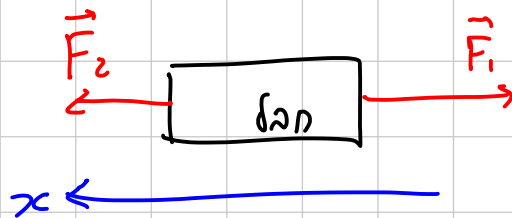
$$\vec{F}_{NET} = m \vec{a}$$

הנה הפקוד הוא שיהיו שיוזכר גאונר



## תרגיל

שני כלבים מושכים בחבל  
 בעל מסה 600g, כבי שמאל  
 בתאונה. אחז מושק בכוח 10N  
 והלני בכוח 4N. מה תהיה  
 תאוצת החבל?



$$\vec{F}_1 = -10 \hat{i} \text{ (N)}$$

$$\vec{F}_2 = 4 \hat{i} \text{ (N)}$$

$$\vec{F}_{NET} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = m \vec{a}$$

$$-10 \hat{i} + 4 \hat{i} = -6 \hat{i} = m \vec{a} =$$

$$\vec{a} = -\frac{6}{0.6} \hat{i}$$

$$\vec{a} = 10 \text{ m/s}^2$$

שמאלה

$$F_1 = 10 \text{ N}$$

$$F_2 = 4 \text{ N}$$

$$\vec{a} = ?$$

$$m_{\text{חבל}} = 600 \text{ g} = 0.6 \text{ kg}$$

החוק הראשון הוא מקרה פרטי של החוק השני:

$$\vec{F}_{NET} = m \vec{a}$$

$$m \vec{a} = 0 \rightarrow \vec{a} = 0$$

$$\vec{F}_{NET} = 0 \text{ P/C}$$

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = 0 \rightarrow \Delta \vec{v} = 0$$

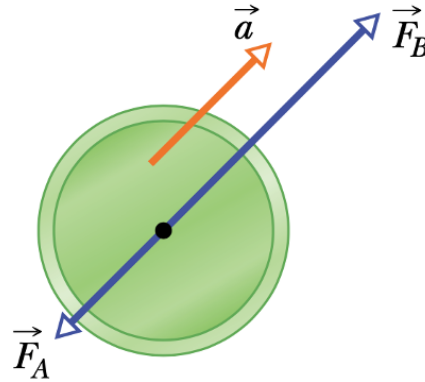
$$\Delta \vec{v} = \vec{v}_f - \vec{v}_i = 0 \rightarrow \vec{v}_f = \vec{v}_i$$

מהירות קבועה

# תרגיל

במבט מלמעלה המוצג באיור 3-18 מוצגת קופסת עוגיות שמסתה  $2.0\text{kg}$  המואצת בתאוצה שגודלה  $3.0\text{m/s}^2$  בכיוון  $\vec{a}$ , על פני משטח אופקי חסר חיכוך. לתאוצה גורמים שלושה כוחות אופקיים; רק שניים מהם מוצגים:  $\vec{F}_A$  שגודלו  $10\text{N}$  ו- $\vec{F}_B$  שגודלו  $20\text{N}$ . בחרו מערכת קואורדינטות והשתמשו בה כדי לבטא את הכוח השלישי,  $\vec{F}_C$ , בסימון של יחידות וקטוריות.

**איור 3-18** ■ שלושה כוחות פועלים כדי להאיץ את הגוף בכיוון המוצג. רק שניים משלושת הכוחות היוצרים תאוצה זו מוצגים באיור.



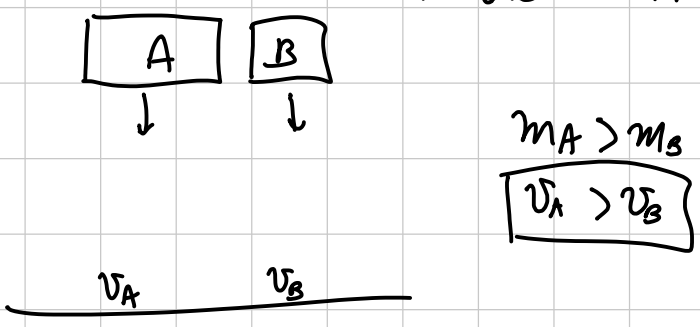
$$\begin{aligned}m &= 2.0\text{ kg} \\ |\vec{a}| &= 3.0\text{ m/s}^2 \\ |\vec{F}_A| &= 10\text{ N} \\ |\vec{F}_B| &= 20\text{ N} \\ \vec{F}_C &= ?\end{aligned}$$

$$\vec{F}^{\text{NET}} = \vec{F}_A + \vec{F}_B + \vec{F}_C = m\vec{a}$$

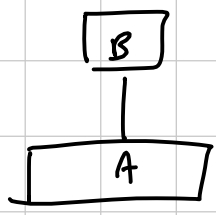
$$\begin{aligned}\vec{F}_C &= m\vec{a} - \vec{F}_A - \vec{F}_B \\ \vec{F}_C &= 2 \cdot 3\hat{i} - (-10\hat{i}) - (20\hat{i}) \\ \vec{F}_C &= 6\hat{i} + 10\hat{i} - 20\hat{i} \\ \vec{F}_C &= -4\hat{i}\text{ (N)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\vec{F}_A &= -10\hat{i}\text{ (N)} \\ \vec{F}_B &= 20\hat{i}\text{ (N)} \\ \vec{a} &= 3.0\hat{i}\text{ (m/s}^2\text{)}\end{aligned}$$

איך גוף נופל? אריסטו היה אומר שכמה שהמסה יוגר בצורה, כך מהירות הנפילה תגדל:  $m \sim v$   
 האם זה האנטי? גלילאו מציע את הניסוי המעשי הבא.  
 שני גופים A ו-B,  $m_A > m_B$ , נופלים



גלילאו מציע לשנות קצת את הניסוי, נקשר את שני הגופים בעזרת חוט דק:



אגב לחשוב על שני הגופים כאילו אחד בצוף, בעל מסה  $m_T = m_A + m_B > m_A$ , עכ"ל נקבה

$m_T > m_A$   
  $v_T > v_A$  המהירות היחסית בצוף של A אינה.

עכ"ל נחשב ל-A היה "רובה" ליפול מהר, אגב B מעבה אותו, זמושק אותו כלפי מעלה, ופאורק על הנפילה החוט יהיה מוחל. עכ"ל המהירות היחסית של שני הגופים ביחד תהיה קטנה מאלו של אף אחד מהם:   $v_T < v_A$

קיימנו עתירה. אפ"כ החטיה שלנו הייתה כשכיה, המטעם היא שהנתג היסוד שלנו, כלומר מהמט, היא לא נכונה.  
 זו צומחה ע"הוכחה בערך השלילה = PROOF BY CONTRADICTION

$$\vec{F}_G = m \vec{g}$$

# כוח המשקל WEIGHT

כוח שהמוצר נמצא על אינטרקציה ארוגט טווח בין שני אופים העסי מטה. ככור הארץ יוצר "שפה גרביטציוני" סביבו ואופים אחרים הקרהג פני ככור הארץ שכוויי גתג שפה גרביטציוני  $\vec{g}$  שהיא קבוט הקרוג, ואופלו  $9.8 \text{ m/s}^2$ . על האחר עכוח הירביטציוני היא משקל  $\vec{w}$ .

$$\vec{w} = m \vec{g}$$

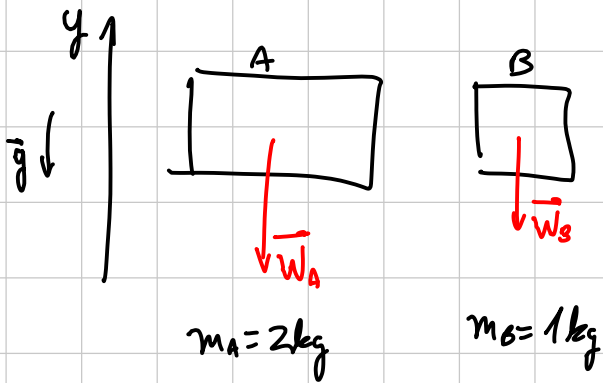
The force of gravity on a 2-kg rock is twice as great as that on a 1-kg rock. Why then doesn't the heavier rock fall faster?

## תרגיל

$$\vec{F}^{NET} = m \vec{a}$$

$$\vec{w} = m \vec{g}$$

חוק 2  
הזברה של משקל:



$$m_A = 2 \text{ kg}$$

$$m_B = 1 \text{ kg}$$

$$\vec{g} = -g \hat{j}$$

$$\vec{w}_A = m_A \vec{g}$$

$$\vec{w}_B = m_B \vec{g}$$

$$\vec{a}_A = ?$$

$$\vec{a}_B = ?$$

$$\vec{F}^{NET} = \vec{w}_A = m_A \vec{a}_A \quad : A$$

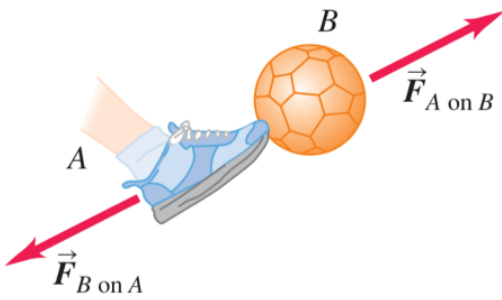
$$m_A \vec{g} = m_A \vec{a}_A$$

$$\boxed{\vec{a}_A = \vec{g}}$$

$$\vec{F}^{NET} = \vec{w}_B = m_B \vec{a}_B \quad : B$$

$$m_B \vec{g} = m_B \vec{a}_B$$

$$\boxed{\vec{a}_B = \vec{g}}$$



החוק השלישי של ניוטון

$$\vec{F}_{A \rightarrow B} = -\vec{F}_{B \rightarrow A}$$

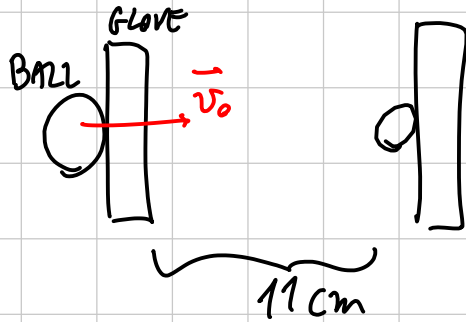
כל אחד מהכוחות בזוג פועל על גוף אחר

הכוחות בטבע תמיד באים בטלאים

תרגיל

A 0.140-kg baseball traveling 35.0 m/s strikes the catcher's mitt, which, in bringing the ball to rest, recoils backward 11.0 cm. What was the average force applied by the ball on the glove?

BALL  
GLOVE



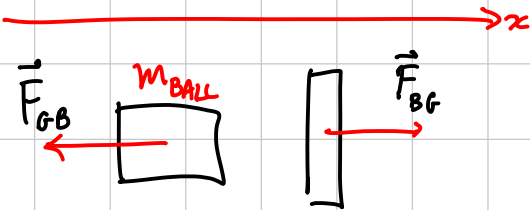
$$m = 0.140 \text{ kg}$$

$$\vec{v}_0 = 35 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_f = \vec{0}$$

$$\Delta \vec{r} = 0.11 \hat{i} \text{ m} = \Delta r \hat{i}$$

$$\vec{F}_{BG} = ?$$



צ'אקטור און חופשי:

$$v_f^2 = v_0^2 + 2\vec{a} \cdot \Delta \vec{r}$$

$$0 = 35^2 + 2\vec{a}(0.11\hat{i})$$

ג'אורד מ'אכזר:

כל התרשים הוא תמונה מ'אכזר, וג'אורד מ'אכזר היא בכיוון הכוח  $\vec{F}_{GB}$ ,  
 מכיון ש'אכזר, הכוח והתאוצה מכוונים ש'אכזר.  $\vec{a} = -a\hat{i}$

$$0 = v_0^2 + 2(-a\hat{i})(\Delta r \hat{i}) \rightarrow a = \frac{v_0^2}{2\Delta x} = 5568 \text{ m/s}^2$$

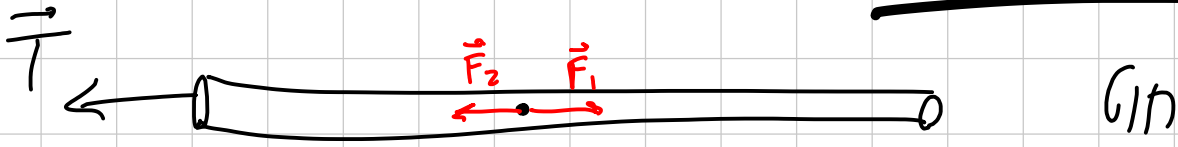
$$\vec{a} = -\frac{v_0^2}{2\Delta x} \hat{i} \text{ m/s}^2$$

$$\vec{F}_{GB} = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_{BG} = -\vec{F}_{GB} = -m\vec{a} = -m\left(\frac{-v_0^2}{2\Delta x}\right) = \frac{mv_0^2}{2\Delta x}$$

$$\vec{F}_{BG} = +780 \text{ (N)}$$

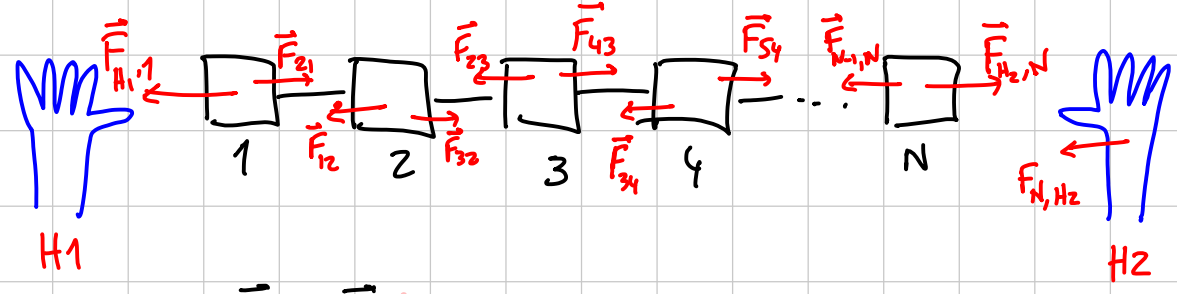
# כוח המתיחה TENSION



$$\vec{F}^{NET} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = m\vec{a} = 0$$

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

כוח  
הכוח  
הכוח



$$\begin{aligned} + \vec{F}_{H1,1} + \vec{F}_{2,1} &= 0 \\ + \vec{F}_{1,2} + \vec{F}_{3,2} &= 0 \\ + \vec{F}_{2,3} + \vec{F}_{4,3} &= 0 \\ + \vec{F}_{3,4} + \vec{F}_{5,4} &= 0 \\ &\vdots \\ + \vec{F}_{N-1,N} + \vec{F}_{H2,N} &= 0 \end{aligned}$$

$$\vec{F}_{H1,1} + \vec{F}_{H2,N} = 0$$

$$\vec{F}_{H1,1} = -\vec{F}_{H2,N}$$

$$\vec{F}_{HAND1,ROPE} = \vec{F}_{ROPE,HAND2}$$

$$\begin{aligned} \vec{F}_{H1,1} &= \vec{F}_{HAND1,ROPE} \\ \vec{F}_{H2,N} &= -\vec{F}_{N,H2} = -\vec{F}_{ROPE,H2} \end{aligned}$$

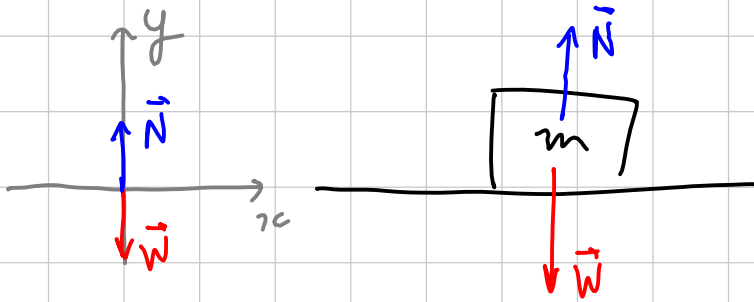
הקיצור: הכוח שמעביר כדאי לא הכוח...



# כוח נורמל

## NORMAL

כוח נורמל, תמיד ניצב  
 למשטח. אף שאם משטח מוטה  
 עם משטח, לפי החוק השלישי של  
 ניוטון, המשטח יפעיל כוח חזרה  
 על המשטח



מקרה 1

קופסה בעלת מסה  $m$  נחה  
 משטח אופקי. מה הנורמל?  
 שבו עם הקופסה?

$$\vec{F}^{NET} = \sum \vec{F} = \vec{N} + \vec{W} = 0$$

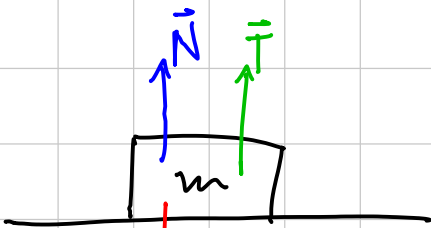
$$\vec{N} = N\hat{j}$$

$$\vec{W} = -W\hat{j} = -mg\hat{j}$$

$$N\hat{j} - W\hat{j} = 0 \rightarrow \boxed{N = W} = mg$$

הכפלים שווים

מקרה 2 קופסה בעלת מסה  $m$  נחה על משטח אופקי כאלו חוט  
 חסר מסה מושך את הקופסה כלפי מעלה עם כוח  $T$ , כלי שהקופסה  
 מתנתק מהמשטח. מה גודל הכוח הנורמל?



$$\vec{F}^{NET} = \sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{N} + \vec{T} = 0$$

$$\vec{N} = -\vec{W} - \vec{T}$$

$$N\hat{j} = -(-W\hat{j}) - T\hat{j} \rightarrow \boxed{N = W - T}$$

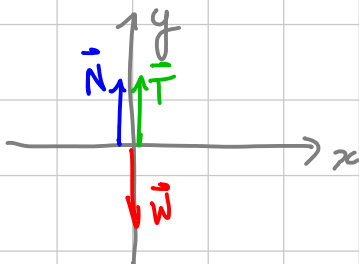
$$\vec{N} = N\hat{j}$$

$$\vec{T} = T\hat{j}$$

$$\vec{W} = -W\hat{j} = -mg\hat{j}$$

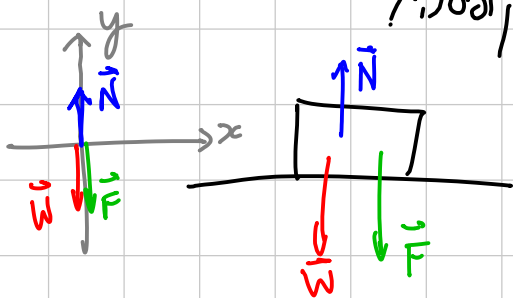
הכוח הנורמל הוא

'והוא קטן מעט  
 במקרה 1



### מקרה 3

קופסה העומת מטה מ נחה עם מטבח אופקי, כאלו כוח העל גודל  $F$  בוחץ את הקופסה כלפי מטה. מה יהיה התוצאה שבועם עם הקופסה?



$$\vec{F}^{NET} = \sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{N} + \vec{F} = 0$$

$$\vec{N} = -\vec{W} - \vec{F}$$

$$N\hat{j} = -(-W\hat{j}) - (-F\hat{j}) \rightarrow \boxed{N = W + F}$$

$$\vec{W} = -W\hat{j} = -mg\hat{j}$$

$$\vec{F} = -F\hat{j}$$

$$\vec{N} = N\hat{j}$$

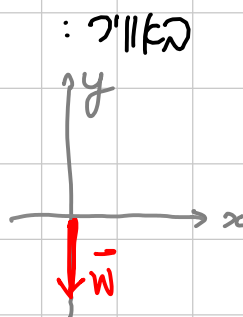
עכשיו אנופס התוצאה יהיה יותר גבוה מטקסט המקרה 1.

### תרגיל

21. (I) Draw the free-body diagram for a basketball player (a) just before leaving the ground on a jump, and (b) while in the air. See Fig. 4-46.



FIGURE 4-46 Problem 21.



לכבודם י' גאוזי כלפי

$$\vec{a} = a\hat{j} \quad \text{מ'פ}$$

$$\vec{F}^{NET} = \sum \vec{F} = \vec{N} + \vec{W} = m\vec{a}$$

$$\vec{N} = N\hat{j}$$

$$\vec{W} = -W\hat{j} = -mg\hat{j}$$

$$N\hat{j} - W\hat{j} = ma\hat{j}$$

$$\boxed{N = W + ma}$$

התוצאה גבוה מהמקור. אין איפן בין שני הכוחות, עכן השתקן מואץ כלפי מעלה. מ' בוחץ את השתקן כלפי מעלה? כוח הטכט!

# תרגיל

אדם בעל מסה 60 ק"ג עומד על משקל בתוך מעלית.  
מה תהיה הקריאה במשקל כאשר:

- א. המעלית מאיצה כלפי מעלה בתאוצה  $1 \text{ m/s}^2$
- ב. המעלית מאיצה כלפי מטה בתאוצה  $2 \text{ m/s}^2$
- ג. המעלית עולה במהירות קבועה
- ד. המעלית יורדת במהירות קבועה

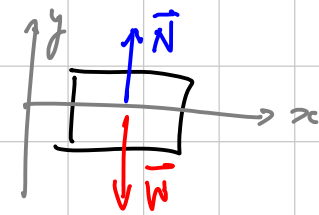
המעלית  
נמשכה

$\vec{F}^{NET} = \sum \vec{F} = \vec{N} + \vec{W} = 0$

$\vec{N} = N\hat{j}$

$\vec{W} = -W\hat{j} = -mg\hat{j}$

$N\hat{j} - W\hat{j} = 0 \rightarrow N = W = mg = 60 \cdot 9.8 \rightarrow \boxed{N = 588 \text{ N}}$



הצורך אותה הציאצמה, אבל עכשיו:  $\vec{a} = a\hat{j}$

$a = 1 \text{ m/s}^2$

$\vec{F}^{NET} = m\vec{a}$

$\vec{N} + \vec{W} = m\vec{a} \rightarrow N\hat{j} - W\hat{j} = ma\hat{j} \rightarrow N = W + ma = mg + ma = m(a + g)$

$N = 60(1 + 9.8) = 60 \cdot 10.8$

$\boxed{N = 648 \text{ N}} \rightarrow N = 1.1W$

אז הציאצמה, עכשיו  $\vec{a} = -a\hat{j}$ ;  $a = 2 \text{ m/s}^2$

$\vec{F}^{NET} = m\vec{a}$

$\vec{N} + \vec{W} = -ma\hat{j} \rightarrow N\hat{j} - W\hat{j} = -ma\hat{j} \rightarrow N = W - ma = mg - ma = m(g - a)$

$N = 60 \cdot 7.8 \Rightarrow \boxed{N = 468 \text{ N}} \rightarrow N = 0.8W$

$\vec{F}^{NET} = \vec{N} + \vec{W} = 0$

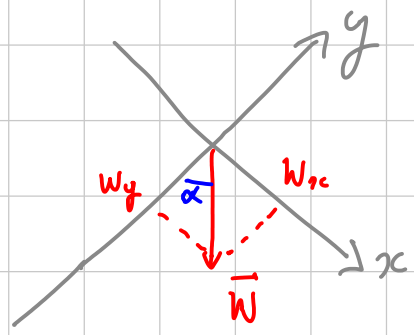
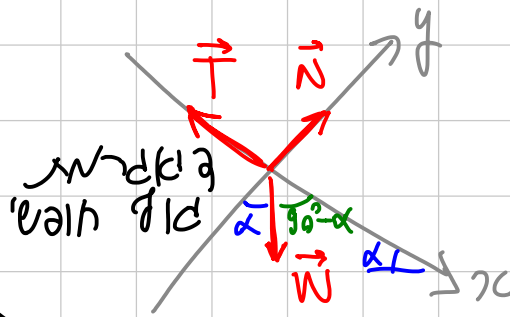
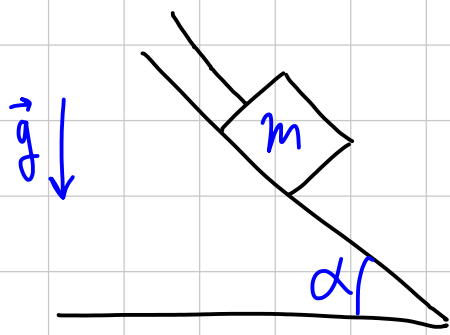
אז  $\vec{a} = 0$

$N\hat{j} - W\hat{j} = 0 \rightarrow N = W \rightarrow N = 60 \cdot 9.8 \rightarrow \boxed{N = 588 \text{ N}}$

ה + ד

# גרפים

מסה  $m$  מונחת על מישור משופע חלק (ללא חכוך) בזווית  $\alpha$  עם הכיוון האופקי. חוט חסר מסה מושך את המסה הזאת, כך שהיא נמצאת במנוחה. בטאו את המתיחות בחוט כתלות בנתונים של הבעיה:  $m, \alpha, g$  (תאוצת הכובד).



$$\vec{T} = -T \hat{i}$$

$$\vec{N} = N \hat{j}$$

$$W = W_x \hat{i} - W_y \hat{j}$$

$$W_x = W \sin \alpha$$

$$W_y = W \cos \alpha$$

$$\vec{F}^{NET} = m\vec{a} = 0$$

$$\vec{W} + \vec{T} + \vec{N} = 0$$

$$W_x \hat{i} - W_y \hat{j} - T \hat{i} + N \hat{j} = 0$$

המסה במנוחה:

$$W_x - T = 0$$

$$-W_y + N = 0$$

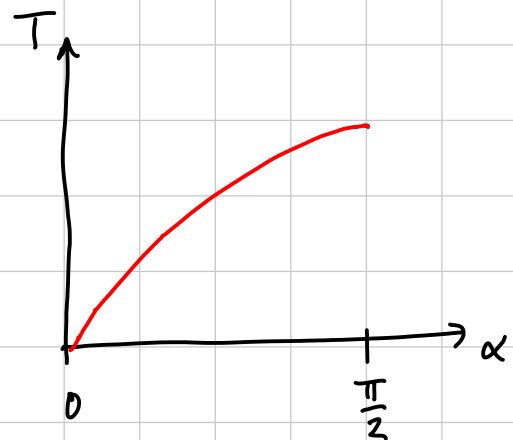
ציר x:

ציר y:

$$T = W_x$$

$$T = W \sin \alpha$$

$$T = mg \sin \alpha$$



כאם אצבע ש'מ/ש': לבחור מערכת צירים כך שאחד הצירים יהיה בכיוון הגאומטרי.

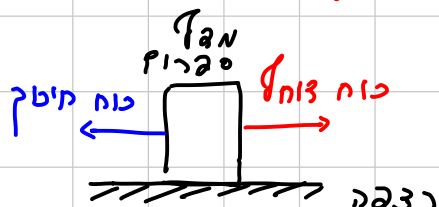
$\vec{F}_s$

# FRICTION

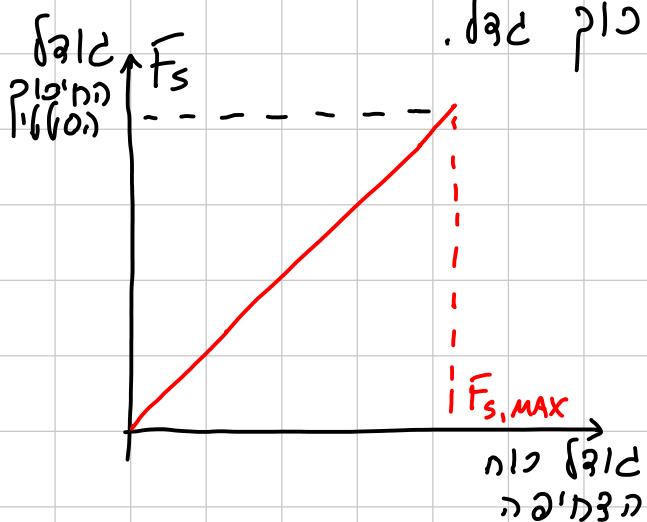
# כוח החיכוך

כוח החיכוך הוא כוח מצד גוף שני משטחים, והוא תמיד מנוגד לכיוון התנועה. כוח החיכוך נקרא "סטטי".

## חיכוך סטטי STATIC FRICTION



קיים כאשר אין תנועה. עוצמה: אני פחות מנסה ספרים כבד, והוא איננו SS. החיכוך הסטטי שמונע על מנת הספרים הוא מנוגד לכיוון הפתיחה, ובזמן כבוצע כוח הנחיצה, לכן לקול הכוחות הוא אפס, ומנסה הספרים נשאר במנוחה. אם צוחקים מעט, כוח החיכוך יגיע בהתאם, ורק הוא יהיה קטן. כפי שכוח הנחיצה גדל, גם כוח החיכוך גדל.



אם מנמיכים לפחות יותר ויותר חזק, יהיה סף כוח קריטי שיכרום למעף עליו. זהו כוח החיכוך הסטטי המקסימלי.

$$F_s \leq F_{s,MAX}$$

שאר אומרת, כוח החיכוך הסטטי  $F_s$  יהיה לכל היותר שווה לכוח החיכוך הסטטי המקסימלי  $F_{s,MAX}$ . אם מנסה הספרים שלי חזק, כוח המניע בינו לבין הרצפה יהיה יחסי חזק, ו-  $F_{s,MAX}$  יהיה יחסית קטן. אם מנסה הספרים עצמו הספרים, הסף הקריטי יהיה יותר גבוה. כוח הנורמל  $N$  הוא זה שמגביר את חוזק האינטרקציה בין מנסה הספרים לרצפה, לכן  $F_{s,MAX}$  יהיה מתבונני (פארוציונלי) עתור מעט

$$F_{s, \max} = \mu_s \cdot N$$

$\mu_s$  נקרא "מקדם החיכוך הסטטי", והוא תלוי בתחומרים מהם שני המשטחים עשויים, אפשר לכתוב:

$$F_s \leq \mu_s \cdot N$$

מה קורה כאשר נחמץ את מצב הסבריו בטח יותר מצד אחד?  $F_{s, \max}$  הוא כמות יחסית למצב תלכזה קיים כוח חיכוך, הנקרא כוח חיכוך קינטי.

כאן הוא מבלתי- $\delta$ -N, ואינו תלוי במהירות הן שני המשטחים.

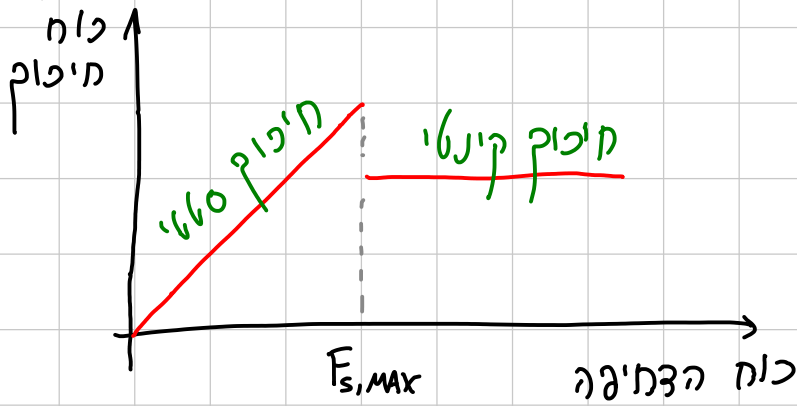
חיכוך קינטי  
KINETIC FRICTION

$$F_k = \mu_k \cdot N$$

$\mu_k$  הוא "מקדם החיכוך הקינטי". מ' שבהר פחל פבריו כבדיו בלח הרביש הקזה בסמן שהחפץ מתחיל לנוע. זה אומר שגורם פסח כוח לכרום למצב הסבריו למחשק עלוס מאשר לכרום לו למתחיל עלוס. סא אומרת:

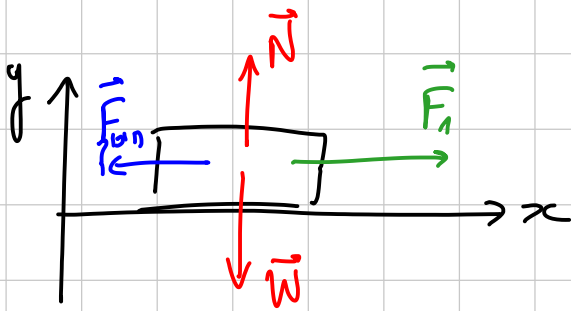
$$F_k < F_{s, \max}$$
$$\mu_k N < \mu_s N$$
$$\mu_k < \mu_s$$

הסקנו שמקדם החיכוך הסטטי הוא גבוה יותר ממקדם החיכוך הקינטי.



תרגיל

קוביית עץ בעלת מסה 3 kg מונחת על משטח עץ ( $\mu_k = 0.15$ ;  $\mu_s = 0.35$ )  
 א. על הקובייה מופעל כוח  $F_1 = 5 \text{ N}$  לכיוון ימין. מה תהיה תאוצת הקובייה?  
 ב. עכשיו מופעל כוח דוחף  $F_2 = 15 \text{ N}$  לכיוון ימין. מה תהיה תאוצת הקובייה?



- $m = 3 \text{ kg}$
- $\mu_k = 0.15$
- $\mu_s = 0.35$
- $F_1 = 5 \text{ N}$
- $F_2 = 15 \text{ N}$

X

נתונים במילואה  $F_{s,max}$ . הכיוון האנכי:  $\sum \vec{F}_y = \vec{N} + \vec{W} = 0$

$$\left. \begin{aligned} \vec{N} &= N\hat{j} \\ \vec{W} &= -W\hat{j} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} N\hat{j} - W\hat{j} &= 0 \\ N = W = mg & \end{aligned}$$

$$F_{s,max} = \mu_s \cdot N = \mu_s \cdot mg$$

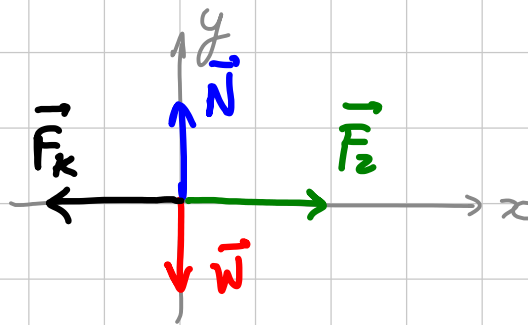
$$F_{s,max} = 0.35 \cdot 3 \cdot 9.8 = 10.5 \text{ N}$$

הכוח הצומח  $F_1 = 5 \text{ N}$  הוא לא מספיק כדי לערוס את הקובייה לנוע, לכן היא תהיה נייחת.  $a = 0 \text{ m/s}^2$

אם  $F_2 > F_{s,max}$ , הקובייה תנוע, ויהיה חיכוך קינטטי

1

$$\begin{aligned}\vec{N} &= N\hat{j} \\ \vec{W} &= -W\hat{j} \\ \vec{F}_2 &= F_2\hat{i} \\ \vec{F}_k &= -F_k\hat{i}\end{aligned}$$



גיאומטרי  
פיד  
תוסט'

$$\sum \vec{F}_y = 0$$

$$N\hat{j} - W\hat{j} = 0$$

$$N - W = 0$$

$$N = W = mg$$

אין תאוצה בכיוון y :

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

$$\vec{F}_2 + \vec{F}_k = m\vec{a}$$

$$F_2\hat{i} - F_k\hat{i} = ma\hat{i}$$

$$F_2 - \mu_k N = ma$$

$$F_2 - \mu_k mg = ma$$

$$F_k = \mu_k N$$

$$N = mg$$

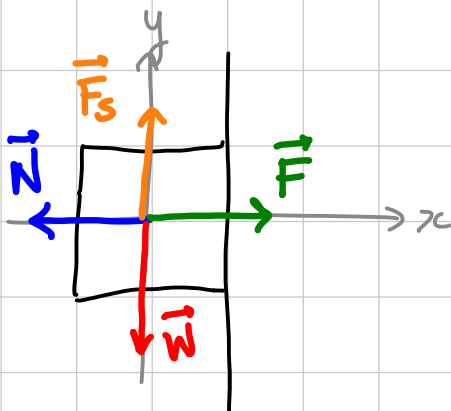
$$a = \frac{F_2 - \mu_k mg}{m} \rightarrow a = 3.53 \text{ m/s}^2$$

הכיוון x :

קופסה מוצמדת לקיר אנכי על-ידי כוח דוחף F בכיוון אופקי. מה צריך להיות הערך המינימלי של F כדי להבטיח שהקופסה לא תחליק למטה?

נתונים: מסת הקופסה 8 kg,  $\mu_s = 0.4$

תרגיל



$$\begin{aligned}m &= 8 \text{ kg} \\ \mu_s &= 0.4\end{aligned}$$

$$\vec{N} = -N\hat{i}$$

$$\vec{F} = F\hat{i}$$

$$\vec{F}_s = F_s\hat{j}$$

$$\vec{W} = -W\hat{j}$$



$$\sum \vec{F} = 0$$
$$\vec{N} + \vec{F} + \vec{F}_s + \vec{W} = 0$$
$$-N\hat{i} + F\hat{i} + F_s\hat{j} - W\hat{j} = 0$$

יחס, נסיגה של תנאי

$$-N + F = 0 \rightarrow N = F$$

$$F_s - W = 0 \rightarrow F_s = W$$

:x ג'3

:y ג'3

$$F_s \leq \mu_s N$$

'ו נסיגה

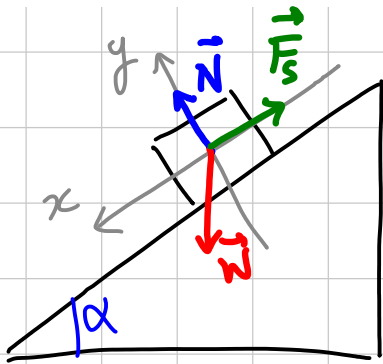
$$W \leq \mu_s F$$

$$F \geq \frac{W}{\mu_s} = \frac{mg}{\mu_s} =$$

$$F \geq \frac{mg}{\mu_s} \rightarrow F \geq 196 \text{ N}$$

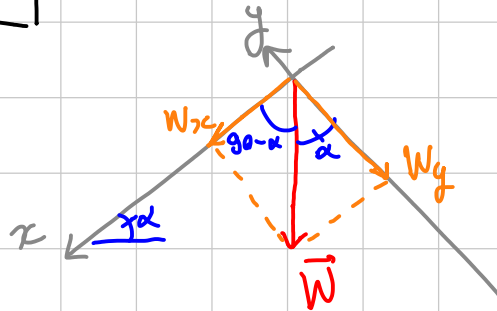
# תרגיל

קופסה בעלת מסה  $m = 2 \text{ kg}$  מונחת על קרש אופקי. קצה אחד של הקרש מורם באופן איטי, עד שהקופסה מתחילה להחליק כאשר הזווית בין הקרש לאופק היא  $\alpha = 45^\circ$ . מהו מקדם החיכוך הסטטי בין הקופסה לקרש?



רצו לבני שהקופסה מתחילה להחליק:

עברו את  $\vec{W}$  לרכיבים:

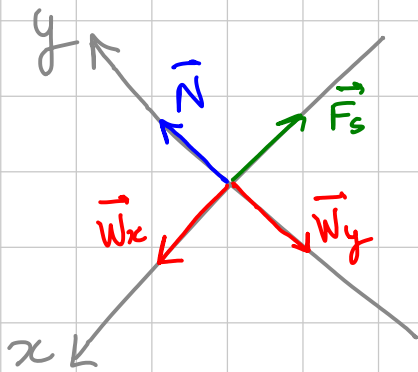


$$\vec{W} = W_x \hat{i} - W_y \hat{j}$$

$$W_x = W \sin \alpha$$

$$W_y = W \cos \alpha$$

ביאור מן אופן מובט'



אין תאוצה בזיר y:

$$\sum \vec{F}_y = 0$$

$$\vec{N} + \vec{W}_y = 0$$

$$N \hat{j} - W_y \hat{j} = 0$$

$$N = W_y = W \cos \alpha$$

$$\vec{N} = N \hat{j}$$

$$\vec{W}_y = -W_y \hat{j} = -W \cos \alpha \hat{j}$$

$$\vec{W}_x = W_x \hat{i} = W \sin \alpha \hat{i}$$

$$F_s = \mu_s \cdot N$$

$$\vec{F}_s = -F_s \hat{i} = -\mu_s N \hat{i}$$

אין תאוצה ב x (הגוף עוזב לא מתחיל לסוס):

$$\sum \vec{F}_x = 0$$

$$\vec{W}_x + \vec{F}_s = 0$$

$$W_x \hat{i} - F_s \hat{i} = 0$$

$$W_x = F_s$$

$$W \sin \alpha = \mu_s \cdot N$$

$$W \sin \alpha = \mu_s W \cos \alpha$$

$$\mu_s = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\mu_s = \tan(\alpha)$$

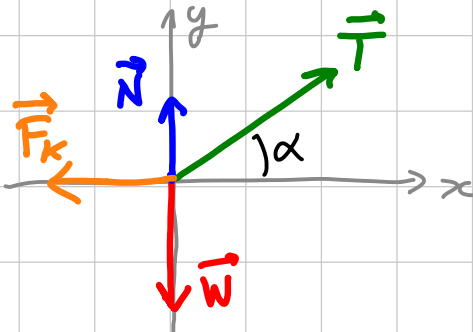
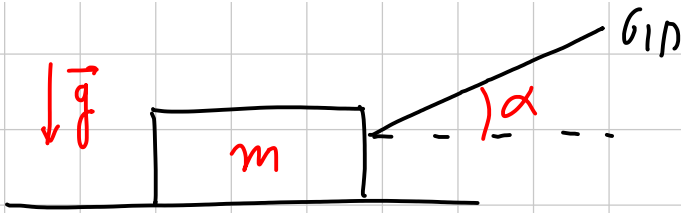
$$\rightarrow \mu_s = \tan\left(\frac{\pi}{4}\right) = 1$$

45°



# תרגיל

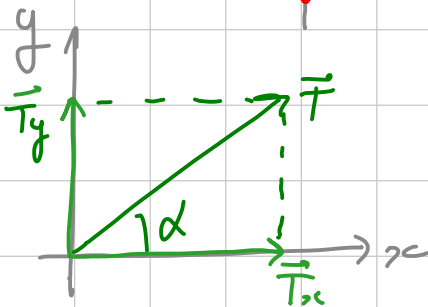
קופסה בעלת מסה  $m = 14 \text{ kg}$  נגררת ימינה על-ידי חוט שזוויתו עם האופק הוא  $\alpha = 16^\circ$ . קיים כוח חיכוך קינטי בין הקופסה לרצפה עם מקדם  $\mu_k = 0.1$ . מה צריכה להיות המתיחות כך שהקופסה תנוע במהירות קבועה?



ביאורט אלף קובלי

$$\begin{aligned}\vec{N} &= N\hat{j} \\ \vec{W} &= -W\hat{j} \\ \vec{F}_k &= -F_k\hat{i}\end{aligned}$$

לברק את  $\vec{T}$  ערכיבי פ:

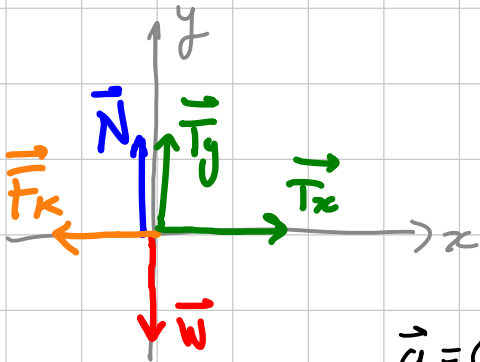


$$\vec{T} = \vec{T}_x + \vec{T}_y = T_x\hat{i} + T_y\hat{j}$$

$$T_x = T \cos \alpha$$

$$T_y = T \sin \alpha$$

נצ'יר שוב ביאורט אלף קובלי



מכיוון שהקופסה נעה במהירות קבועה:  $\vec{a} = 0$

$$\sum \vec{F}_x = 0$$

צ'יר x:

$$\vec{T}_x + \vec{F}_k = 0$$

$$T_x\hat{i} - F_k\hat{i} = 0 \rightarrow T_x = F_k \rightarrow \boxed{T \cos \alpha = \mu_k N} \quad (1)$$

$$\sum \vec{F}_y = 0$$

צ'יר y:

$$\vec{W} + \vec{N} + \vec{W}_y = 0$$

$$-W\hat{j} + N\hat{j} + T_y\hat{j} = 0 \rightarrow N = W - T_y$$

$$\boxed{N = mg - T \sin \alpha} \quad (2)$$

$$T \cos \alpha = \mu_k N \quad : (1) \text{ plus } (2) \text{ we get } 2'3'$$

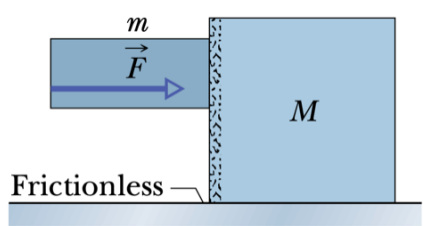
$$T \cos \alpha = \mu_k (mg - T \sin \alpha)$$

$$T \cos \alpha = \mu_k mg - \mu_k T \sin \alpha$$

$$T (\cos \alpha + \mu_k \sin \alpha) = \mu_k mg$$

$$T = \frac{\mu_k mg}{\cos \alpha + \mu_k \sin \alpha} \rightarrow T \approx 13.9 \text{ N}$$

# תרגיל



שני בולים ( $M = 88 \text{ kg}$ ,  $m = 16 \text{ kg}$ ) אינם מחוברים. מקדם החיכוך הסטטי בין הבולים הוא  $\mu_s = 0.38$ , אך המשטח שמתחת לבול הגדול הוא שטח נטול חיכוך. מהו הגודל המזערי של הכוח האופקי  $\vec{F}$  הדרוש כדי למנוע מהבול הקטן יותר להחליק במורד הבול הגדול יותר?

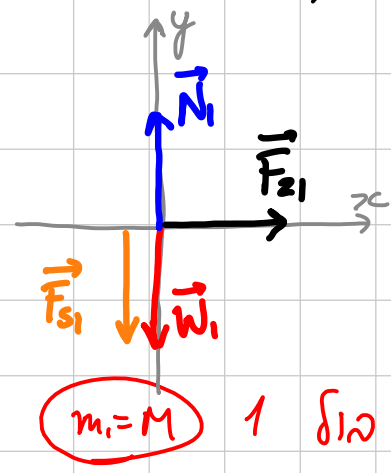
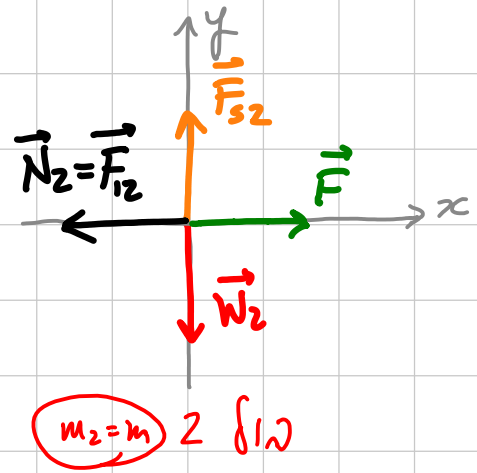
(מניין ביציקה)  
(ברק 6, ירג'ל 35)

$M = 88 \text{ kg}$   
 $m = 16 \text{ kg}$   
 $\mu_s = 0.38$   
 $|\vec{F}| = ?$

מניין

נבירה ביאלרטר אלף חופט  
עבור כל אחז מהבולס:

$\vec{F}_1 = F \hat{i}$   
 $\vec{F}_{s2} = F_{s2} \hat{j}$   
 $\vec{W}_2 = -W_2 \hat{j}$   
 $\vec{F}_{12} = \vec{N}_2 = -F_{21} \hat{i}$



$\vec{N}_1 = N_1 \hat{j}$   
 $\vec{F}_{21} = F_{21} \hat{i}$   
 $\vec{F}_{s1} = -F_{s1} \hat{j}$   
 $\vec{W}_1 = -W_1 \hat{j}$

גוף 2  $m_2 = m$

גוף 1  $m_1 = M$

לפי החוק השני של ניוטון:

$$\vec{F}_2^{NET} = m \vec{a}$$

$$\vec{F}_1^{NET} = M \vec{a}$$

שני הבולס מאיצים ימינה באותה התאוצה:  $\vec{a} = a \hat{i}$

הכורמל שבוטל עם 2 הוא  $\vec{F}_{12}$ , ולפי חוק שליש':  $\vec{F}_{12} = \vec{F}_{21}$

החיכוך שבוטל עם 2 ( $\vec{F}_{s2}$ ) הוא מבוטל 1:  $\vec{F}_{s2} = -\vec{F}_{s1}$

$$\vec{F} + \vec{F}_{s2} + \vec{W}_2 + \vec{F}_{12} = m \vec{a}$$

$$\vec{N}_1 + \vec{W}_1 + \vec{F}_{s1} + \vec{F}_{21} = M \vec{a}$$

$$F \hat{i} + F_{s2} \hat{j} - W_2 \hat{j} - F_{12} \hat{i} = m a \hat{i}$$

$$N_1 \hat{j} + F_{21} \hat{i} - F_{s1} \hat{j} - W_1 \hat{j} = M a \hat{i}$$

$$F - F_{12} = m a$$

$$F_{21} = M a \quad \text{ז'כ x}$$

$$F_{s2} - W_2 = 0$$

$$N_1 - F_{s1} - W_1 = 0 \quad \text{ז'כ y}$$

$$F_{12} = F_{21} = N_2 \quad : \text{כוחות נורמליים}$$

$$F_{s1} = F_{s2} = F_s$$

$$(1) \quad F - N_2 = ma \quad (3) \quad N_2 = Ma \quad : x \text{ ר'}$$

$$(2) \quad F_s - W_2 = 0 \quad (4) \quad N_1 - F_s - W_1 = 0 \quad : y \text{ ר'}$$

: (1) נניח  $F$  אכן  $N_2$  שווה

$$F = ma + N_2$$

: (3)  $a$  אכן  $N_2$

$$a = \frac{N_2}{M}$$

$$(5) \quad F = \frac{m}{M} N_2 + N_2 = N_2 \left( \frac{m}{M} + 1 \right) \quad : \text{כוח}$$

: (2)  $N_2$  אכן  $F_s$  שווה

$$F_s = W_2 = mg$$

הצבה  $\left( \begin{array}{l} F_s \leq \mu_s N_2 \\ mg \leq \mu_s N_2 \end{array} \right.$  : קצת נמוך כי החיכוך הסטטי מקיים:

$$F_s \leq \mu_s N_2$$

$$mg \leq \mu_s N_2$$

: כוח

$$N_2 \geq \frac{mg}{\mu_s}$$

הצבה

$$N_2 = \frac{F}{\left( \frac{m}{M} + 1 \right)}$$

: (5) עכשיו

$$\frac{F}{\left( \frac{m}{M} + 1 \right)} \geq \frac{mg}{\mu_s}$$

$$F \geq \frac{mg}{\mu_s} \left( \frac{m}{M} + 1 \right) = 488 \text{ N}$$