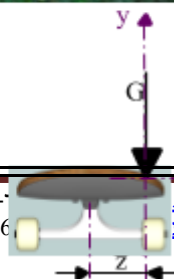




החומר מערכת וכוחות או:

מה קורה כאשר פיל עולה על
גלגש?

חלק ד': שיווי משקל של
מומנטים
או מה קורה כאשר מסובבים
גלגש?



שקול מומנטים – שיווי משקל

נחזור לגלגשנו מה הקשר בין מפצח האגוזים לגלגש? (הרי איננו רוצים לפצח אגוזים בעזרת הגלגש.. לעומת זאת, בגלגש אפשר לעשות הרבה יותר דברים מאשר במפצח האגוזים...). ובכן, למערכת הגלגש שלנו יתרון כביר: לגלגש שתי אפשרויות לבצע פניות: פניה עדינה וסיבוב.

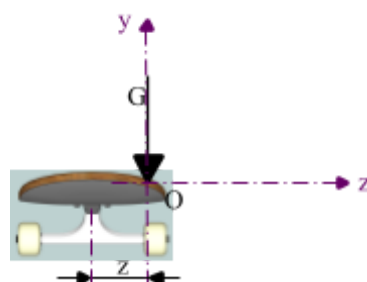
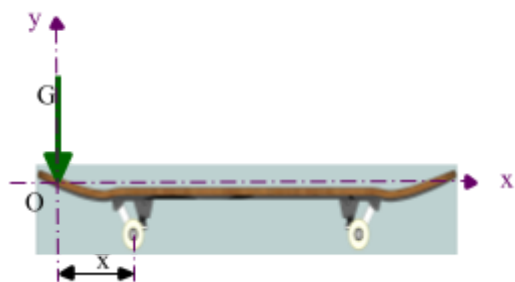
1. פנייה עדינה: אם נטה את משקל גופנו לצד אליו אנחנו רוצים שהגלגש יפנה, נראה שהגלגש לא ממשיך בכיוון הכוח ההתחלתי שאיפשר את תנועתו קדימה אלא מתחיל לסטות ולבצע למעשה סיבוב מתון בכיוון שאנחנו רוצים להגיע אליו. תופעה זו יכולה לעורר אצלנו הרבה שאלות "חקר".

כיצד זה קורה? היכן פועל הכוח? מה המרחק בין מקום פעולת הכוח לציר הסיבוב (מהו זרוע המומנט שאנחנו מייצרים בהטיית גופנו לכיוון אליו אנחנו רוצים לפנות). האם אתה יכול לחשב את עוצמת המומנט שאתה מפעיל על בסיס הגלגש כדי שמערכת הגלגלים תבצע פנייה? מה בכלל מאפשר למערכת הגלגלים לבצע פנייה (הרי אין לגלגש הגה)?

2. על-ידי הפעלת כוח בקצהו האחורי של הגלגש, אנחנו יכולים להרים את קצהו העליון, ובהטיית משקל גופנו לכיוון הרצוי (הפעלת מומנט נוסף) אנחנו יכולים לסובב את הגלגש סביב צירו לכל כיוון שרוצים, אפילו בסיבוב שלם של 360° .

הגלגש מרים את "אפו" (קצהו הקדמי), וכך הגלגלים הקדמיים מתנתקים מהקרקע ומאפשרים לנו לסובב את הגלגש, בעזרת הטיית גופנו, סביב ציר העובר דרך הגלגלים האחוריים לכיוון הרצוי.

כפי שאמרנו, הגלגש יכול להסתובב סביב כל אחת מנקודות המגע של הגלגלים עם הקרקע. נתבונן בגלגש במבט פנים ובמבט צד ונסה לנתח את שתי האפשרויות בהן אנחנו יכולים להפעיל כוח ליצירת מומנט סיבוב של הגלגש ונזהה את צירי הסיבוב, זרוע המומנט ואפילו נוכל לחשב את עוצמת המומנט בהנחה של נתוני משקל ומרחק הפעלת הכוח מציר הסיבוב (מימדי הזרוע).



מבט צד: התבוננות מהצד של הגלגש: הפעלת הכוח היא על-ידי הטיית משקל גופנו לחלקו האחורי של הבסיס.	מבט פנים: התבוננות מכיוון החלק האחורי של הגלגש: הפעלת הכוח היא על-ידי הטיית משקל גופנו לחלקו הימני של הבסיס.
$M_z = x \cdot G = 0.3 \cdot 700 = 210 \text{ mN}$	$M_x = z \cdot G = 0.2 \cdot 700 = 140 \text{ mN}$
מדוע סימנו באות x את המרחק ולמומנט קראנו M_z? כי בהפעלת הכוח על צידו האחורי של הגלגש אנחנו גורמים לו להיות מוטה כלפי החלק האחורי. בעצם אנחנו גורמים לו להסתובב מעט סביב ציר z שנכנס בניצב להיטל הצד (ניצב למסך או לדף בו אתה קורא)	מדוע סימנו באות z את המרחק ולמומנט קראנו M_x? כי בהפעלת הכוח על צידו הימני של הגלגש אנחנו גורמים לו להיות מוטה כלפי ימין. בעצם אנחנו גורמים לו להסתובב מעט סביב ציר x שנכנס בניצב להיטל הפנים (בניצב למסך או לדף בו אתה קורא)

אפשר לסמן גם כך: M_O המשמעות המומנט הוא סביב ציר שעובר בנקודה O.

נסכם: הגלגש היא מערכת מורכבת בהרבה, ממה שאנשים ללא ידע הנדסי חושבים, כאשר מבצעים ניתוח תיפקודי מעמיק שלה תוך הכרת מושגים חשובים בהנדסה.

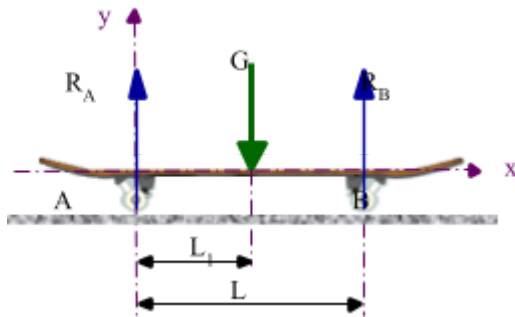
האם אתה מכיר עוד מערכות, שעל-ידי הפעלת כוח, אתה מפעיל מומנט המאפשר לסובב אותן סביב ציר? תעד רעיונות, שתף אותם עם חבריך, למד מכל רעיון משהו אחד מענין – הרווחת! – הנדסת מכונות היא סביבה נפלאה לפתח חשיבה.

כעת נהיה מעוניינים לבדוק: כמה כוח פועל על כל גלגל? וכן סביב איזה ציר בדיוק יכול הגלגש להסתובב? האם אנחנו יכולים לסובב את הגלגש סביב ציר אחד בלבד?

סכום מומנטים שווה אפס = שיווי-משקל של מומנטים

הגלגש יכול להסתובב סביב כל אחת מנקודות המגע של הגלגלים עם הקרקע כלומר סביב הנקודות A ו-B. כל אחת מהנקודות הללו (או נקודה אחרת שנרצה שהגלגש יסתובב סביבה) למעשה מהווה "ציר סיבוב". כשאנחנו עומדים על הגלגש (בין גלגליו), הגלגש אינו מסתובב סביב נקודה A וגם לא סביב נקודה B. לכן סכום המומנטים סביב כל אחת מנקודות אלו שווה לאפס (זוכר כאשר אין סיבוב, סימן שלא פועל מומנט).

כלומר:



$$\Sigma M_A = 0$$

$$\Sigma M_B = 0$$

הערה: את ראשיתה של מערכת הצירים אפשר למקם בכל נקודה שתבחר. בחרנו בנקודה A מטעמי נוחות מדידה בלבד.

נרשום כעת את משוואת שיווי המשקל של מומנטים סביב נקודה A.

$$\Sigma \vec{M}_A = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{M}_1 + \vec{M}_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad L \cdot R_B - L_1 \cdot G = 0$$

מדוע הוספנו את הסימן (-) ליד המכפלה $L_1 \cdot G$?

ניזכר: מומנט בכיוון השעון, נסמנו בצורה שרירותית בסימן (-). הכוח G שואף לסובב את הגלגל סביב נקודה B בכיוון השעון, ולכן סימן המומנט שהוא יוצר יהיה שלילי. וסימן המומנט שיוצר כוח התגובה R_B יהיה חיובי כי הוא יוצר סיבוב נגד כיוון השעון.



כך נוכל לבצע העברת אגפים, לחלק את שני האגפים של המשוואה ב- L_1 , ולבודד את R_B :

$$L \cdot R_B = L_1 \cdot G \quad / : L_1 \quad \Rightarrow \quad R_B = \frac{L_1 G}{L}$$

ואיך נמצא את הכוח R_A ? יש שתי דרכים לעשות זאת:

הדרך האחת (והמסובכת יותר) היא לעשות סכום מומנטים סביב הנקודה השנייה, B, בדיוק לפי איך שביצענו לנקודה הראשונה, A.

הדרך הפשוטה היא להבין שמאחר שהגלגש אינו עף לירח וגם אינו חודר דרך הכביש למרכז כדור הארץ הרי שחייב להתקיים שיווי משקל כוחות בכיוון ציר y, לכן:

$$\overset{\rightarrow}{\Sigma F_y} = 0 \quad \longrightarrow \quad R_A + R_B - G = 0 \quad \longrightarrow \quad R_A = G - R_B$$

נבדוק במה תלוי גודלם של כוחות התגובה R_A ו- R_B שהקרקע מפעילה על הגלגש. ונעשה זאת באמצעות דוגמא מספרית:

$$R_B = \frac{G \cdot L_1}{L} = \frac{650 \cdot 0.56}{1.5} = 243N \quad \text{פיתרון:} \quad \text{נתונים:}$$

$$G=650N$$

$$R_A = G - R_B = 650 - 243 = 407N \quad L_1=0.56m$$

$$L=1.5m$$

בדוק מה יהיה הערך של כוחות התגובה אם נשנה את הערך של הזרוע של R_A ל- $L_1=0.8m$.

אנחנו מציעים לך ממש לחזור על החישוב ולראות שבעצם תתקבל החלפה בין הערכים של כוחות התגובה. כלומר, שככל שמקום הפעולה של G יהיה קרוב יותר לנקודת משען אחת, כך יהיה כוח התגובה הפועל בנקודה זו גדול יותר ולהפך. לנקודת משען קראנו בשם: "סמך". יש שני סוגים עיקריים של סמכים: סמך נייד וסמך נייח. הגלגל של הגלגש מהווה סמך נייד. נקודת התמיכה של כבל המחובר לקיר או גשר המחובר באופן קשיח לקרקע מהווה סמך נייח.

סמך נייד יוצר כוח תגובה רק בכיוון ציר y (כלומר כוח תגובה המאונך לפני המישור המוגדר על-ידך במערכת הצירים). סמך נייח מייצר כוחות תגובה בשני הכיוונים גם בכיוון ציר x (תגובה אופקית המנסה למנוע תנועה אופקית) וגם בכיוון ציר y (תגובה אנכית המנסה למנוע תנועה אנכית). בהמשך נשתמש הרבה פעמים בסמכים בשרטוטים ובאיורים.

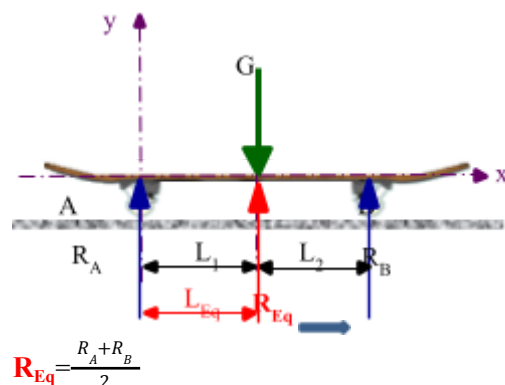
עומסים ותגובות

נסכם את מה שראינו עד כה:

1. במצב שבחנו אנו מביטים מהצד בגלגש הנשען על שני גלגליו (סמכים ניידים) ונושא משא (אותנו או את אבא...), בנקודה כלשהי, לא זו (וגם לא נשבר...) כתוצאה מכך.
2. מאחר שהגלגש לא זו אנחנו בטוחים שהוא נמצא במצב של שיווי משקל גם כאשר פועלים עליו כוחות (כוח המשיכה של כדור-הארץ וכוח התגובה של הקרקע).
3. למדנו גם כי קיימות שתי מערכת של כוחות על הגלגש:
 - מערכת כוחות אחת, המופעלת על הגלגש על-ידי מערכת חיצונית (כוחות אלו נקראים לפעמים "כוחות חיצוניים" או "עומסים").
 - מערכת הכוחות השנייה המופעלת על-ידי גלגלי הגלגש כדי לשאת את בסיס הגלגש ולהחזיק את העומס המופעל עליו (כוחות אלו נקראים לפעמים "כוחות פנימיים" או "כוחות תגובה" – כי הם נוצרים כתגובה לכוחות העומס).
4. מצב של שיווי המשקל משתמע, כי סך כל הכוחות החיצוניים (כוחות העומס) שווה בגודלו והפוך בכיוונו לסך כל הכוחות הפנימיים (כוחות התגובה, הנושאים את הגלגש) ובביטוי מתמטי נרשום: $\Sigma \text{תגובות} = 0$ - עומסים Σ ואם נבחר להעביר את כל התגובות לאגף השני של הביטוי, נקבל: $\Sigma \text{תגובות} = \Sigma \text{עומסים}$.
5. אבל אם קיים שיווי-משקל (כלומר הגוף שעליו פועל העומס נשאר במנוחה, במקרה שלנו), הרי גם סכום המומנטים שואף לאפס: $\Sigma M_A = 0$.

מכאן נובע שלא רק שהעומס השקול שווה לתגובה השקולה, אלא ששניהם פועלים על אותו קו פעולה (כי אילו היה מרחק בין שני קווי הפעולה, היה נוצר מומנט שאינו שווה לאפס, והיה מתרחש מעבר ממנוחה לתנועה סיבובית כלומר לא היה שיווי-משקל!!!).

כדי להבין בדיוק מה קורה כאן נדון בשלושה מקרים כלליים:

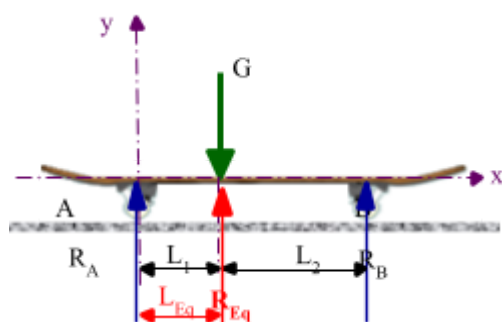


מקרה א: העומס G פועל בדיוק במרכז הגלגש ולכן מטעמי סימטריה (הציור מחולק לשני חלקים זהים כמו בתמונת ראי) יתקבל מצב שהמרחקים בין המשקל לכוחות התגובה שווים ולכן גם כוחות התגובה שווים:

$$L_1 = L_2 = L_{Eq}$$

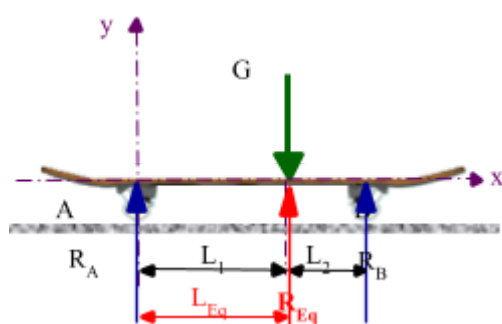
$$R_A = R_B$$

$$R_{Eq} = \frac{R_A + R_B}{2}$$



מקרה ב: העומס G פועל קרוב לסמך A ולכן התגובה R_A תהיה גדולה יותר:

$$L_1 < L_2 \Rightarrow L_{Eq} = L_1 \Rightarrow R_A > R_B$$



מקרה ג: העומס G פועל קרוב לסמך B ולכן התגובה R_B תהיה גדולה יותר:

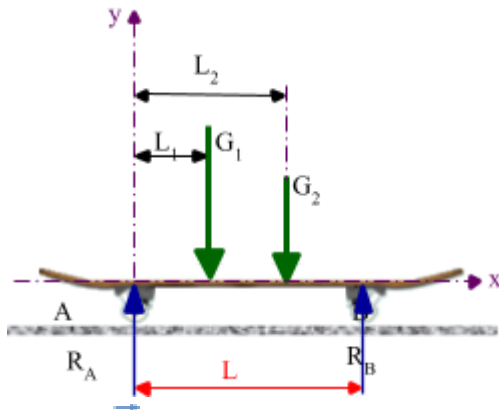
$$L_2 < L_1 \Rightarrow L_{Eq} = L_2 \Rightarrow R_B > R_A$$

ומה קורה עם פועלים שני כוחות?

נניח שאחותך הקטנה מרכיבה את כלבכם על הגלגש. קודם כל נתאר מצב חדש זה בדג"ח חדש:

מה לא השתנה? בבירור הגיאומטריה נשארה אותו הדבר, אולם ברור שהתגובות R_A ו- R_B לא יהיו זהות לתגובות במקרים הקודמים (ואולי כן, אם משקל הכלב יחד עם משקל אחותך זהה למשקל שלך, מה לדעתך תהיה התשובה?).

ננסה לפתור תחילה בשיטת שלב אחר שלב (Step by step), ולא נוותר עד שנפתור! זהו כלל ענק בהנדסה – אם יש לך מספיק זמן ומספיק משאבים תוכל לפתור כל בעייה!!!).



אז כרגיל, דג"ח כבר עשינו, וכעת נרשום את סכום המומנטים סביב נקודה A ואת סכום הכוחות בכיוון ציר y (מה קרה לסכום הכוחות בכיוון ציר x – זוכר סמכים נייחים לא מעבירים כוחות תגובה בכיוון האופקי וממילא אין שום כוחות אופקיים חיצוניים, אם היו אז ייתכן שהגלגש היה נוסע לאחד מהכיוונים).

$$(1) \sum M_A = 0 \Rightarrow L \cdot R_B - L_1 \cdot G_1 - L_2 \cdot G_2 = 0 \Rightarrow R_B = \frac{L_1 G_1 + L_2 G_2}{L}$$

$$(2) \sum F_y = 0 \Rightarrow R_A + R_B - G_1 - G_2 = 0 \Rightarrow R_A = G_1 + G_2 - R_B$$

נציב את הביטוי שקיבלנו מהמשוואה (1) למשוואה (2) במקום R_B

$$R_A = G_1 + G_2 - \frac{L_1 G_1 + L_2 G_2}{L}$$

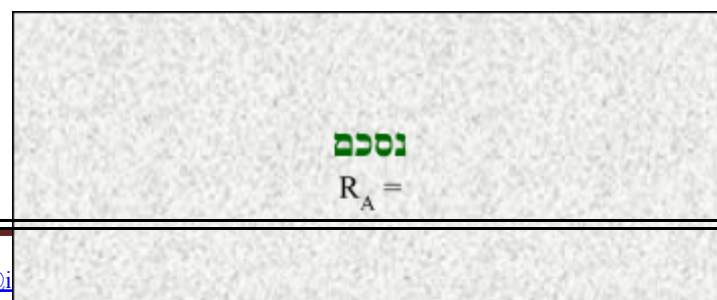
נבצע מכנה משותף:

$$R_A = \frac{L \cdot G_1 + L \cdot G_2 - L_1 \cdot G_1 - L_2 \cdot G_2}{L}$$

נכנס איברים דומים:

$$R_A = \frac{G_1 \cdot (L - L_1) + G_2 \cdot (L - L_2)}{L}$$

נסכם את הפתרון שקיבלנו:



כעת נציב מספרים כז

$$R_B = \frac{L_1 \cdot G_1 + L_2 \cdot G_2}{L} = \frac{0.4 \cdot 500 + 1.1 \cdot 150}{1.5} = 243N \quad \text{פיתרון:} \quad \text{נתונים:}$$

$$L_1 = 0.5m \quad G_1 = 500N$$

$$L_2 = 1.0m \quad G_2 = 150N$$

$$L = L_1 + L_2 = 1.5m$$

$$\frac{G_1 \cdot (L - L_1) + G_2 \cdot (L - L_2)}{L} = \frac{500 \cdot (1.5 - 0.4) + 150 \cdot (1.5 - 1.1)}{1.5} = 407NR_A =$$

דרך אגב, סימנו את כוחות התגובה באות R מהמילה Reaction (תגובה באנגלית).

שמת לב שיצאו ערכים מאוד מאוד דומים למקרה שניתחנו כאשר רק אתה עמדת על הגלגש. זה לא במקרה הנתונים בשתי הבעיות הותאמו, כדי שהתוצאות יהיו זהות. אבל איך יתכן ששני כוחות שונים, הפועלים בנקודות שונות, יוצרים אותן תגובות כמו כוח אחד?

מובן שיש לשאלה זו תשובה פשוטה! ננסה לנסח את השאלה קצת אחרת:

אמרנו שיש לנו שני כוחות חיצוניים (G_1 ו- G_2) הפועלים על הגלגש (כמו בדג"ח שהראנו). שני כוחות אלה גורמים ליצירת אותן תגובות כמו הכוח היחיד G שפעל במקרה הראשון. כלומר, במצב אחד יש שני כוחות בעלי אותה השפעה כמו כוח אחד במצב האחר. אנחנו מכירים מצב כזה, הלא כן?

כיצד קראנו לכוח יחיד, בעל אותה השפעה כמו מספר כוחות?

אם כן אפשר לומר שהכוח היחיד G הוא השקול של הכוחות G_1 ו- G_2 האם יכולנו לדעת זאת מראש, בלי חישוב כוחות התגובה? מובן שכן! יכולנו לחפש כוח יחיד F_{Eq} המייצר אותה השפעה בדיוק כמו G_1 ו- G_2 .

ואולם מה הכוונה במילים: "אותה השפעה בדיוק"?

היכן פועל הכוח השקול

כאמור הכוח החדש שווה לסכום הכוחות G_1 ו- G_2 . ואולם בזה אין די, שכן יש עוד דרישה: על הכוח השקול ליצור אותו מומנט, שיוצרים הכוחות G_1 ו- G_2 .

$$F_{Eq} = \Sigma F_y = G_1 + G_2 \quad \text{כמובן שהכוח השקול הוא:}$$

הבעייה היחידה היא – איפה פועל השקול הזה?

ועכשיו, אף-על-פי שעדיין איננו יודעים איפה פועל השקול, נאמר שהוא פועל במרחק L_F מנקודת המגע A (נשארה לנו רק בעייה אחת קטנה והיא למצוא את L_F). כדי לחשב ולמצוא את L_F נסתמך על הגדרת השקול:

ובכן, שקול פירושו כוח שגורם בדיוק אותן השפעות שגורמים הכוחות הנפרדים. בין אותן השפעות יש גם את ה- **מומנט**!

כלומר לכוח השקול F_{Eq} צריך להיות מומנט, שנשמנו M_{Eq} **השווה** (בגודלו ובכיוונו) בדיוק למומנטים, שיוצרים הכוחות G_1 ו- G_2 , שהם הרי M_{G1} ו- M_{G2} . כלומר: $M_{Eq} = M_{G1} + M_{G2}$.

אבל מהו M_{Eq} ?

כבר ידוע לנו שמומנט מחושב על-ידי מכפלת הזרוע בכוח שפועל בקצה. המומנט של הכוח F_{Eq} הוא: $M_{Eq} = L_F \cdot F_{Eq}$.

ומה בקשר לכוחות G_1 ו- G_2 ?

$$+ \begin{cases} M_{G1} = L_1 \cdot G_1 \\ M_{G2} = L_2 \cdot G_2 \end{cases}$$

$$M_{G1} + M_{G2} = L_1 \cdot G_1 + L_2 \cdot G_2$$

$$M_{Eq} = L_1 \cdot G_1 + L_2 \cdot G_2$$

$$L_F \cdot F_{Eq} = L_1 \cdot G_1 + L_2 \cdot G_2$$

וקיבלנו ש

$$M_{Eq} = L_F \cdot F_{Eq}$$

אנחנו יודעים ש

קיבלנו ביטוי עם 6 גורמים

G_1 ו- G_2 נתונים

F_{Eq} – ידוע (חישבנו, ואם לא – אז הרי זה קל לחשב = סכום הכוחות G_1 ו- G_2).

L_1 ו- L_2 גם הם נתונים (או מופיעים בשרטוט)

$$L_F \cdot F_{Eq} = L_1 \cdot G_1 + L_2 \cdot G_2 \quad \text{/: } F_{Eq}$$

ולכן רק את L_F אנחנו לא יודעים. אז נבודד אותו:

זה הכיתוב המקובל במתמטיקה למשפט: נחלק את שני אגפי המשוואה ב- F_{Eq} ונקבל:

$$L_F = \frac{L_1 \cdot G_1 + L_2 \cdot G_2}{F_{Eq}}$$

$$F_{Eq} = G_1 + G_2$$



אסור בהחלט לצמצם בביטוי $G_1 + G_2$ כי



במונה הם לא נמצאים לבד.

איזה יופי קיבלנו ביטוי (פשוט יחסית) למיקום פעולת הכוח השקול שיוצר את המומנט השקול. למעשה ביטוי זה הוא בעל חשיבות מאוד גדולה שיעזור לנו מאוד בנושא הלימוד הבא (מרכז כובד).

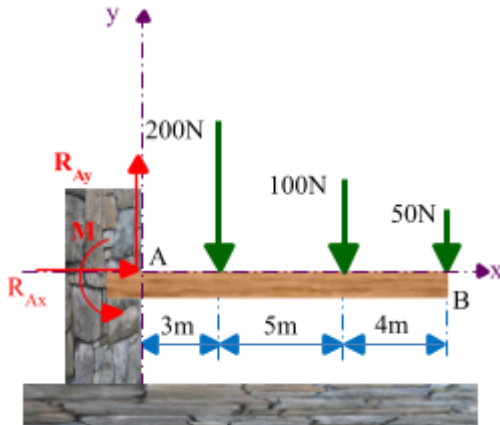
תרגיל דוגמא:

קורה רתומה כמתואר בציור. חשב את מומנט התגובה בקצה הרתום.

הערה: בקורה רתומה יכולים להיות מופעלים כוחות תגובה בשני הצירים וגם מומנט תגובה.

פתרון:

מטעמי חיסכון (בנייר) נבנה (על הציור) דג"ח לקורה ונקבל:



$$(1) \sum F_x = 0 \Rightarrow R_x = 0$$

$$(2) \sum F_y = 0 \Rightarrow R_y - 200 - 100 - 50 = 0$$

$$R_y = 350\text{N}$$

$$(3) \sum M_A = 0 \Rightarrow M - 3 \cdot 200 - 8 \cdot 100 - 12 \cdot 50 = 0$$

$$M = 2000\text{m}\cdot\text{N}$$

הקורה נמצאת בשיווי משקל של כוחות ושל מומנטים. בתרגיל הזה מצאנו את מומנט התגובה שנוצר בריתום כתוצאה מכל המומנטים שיוצרים הכוחות.

$$F_{Eq} = F_1 + F_2 + F_3 = 200 + 100 + 50 = 350\text{N}$$

אבל, מה עוצמת הכוח השקול:

והיכן פועל הכוח השקול F_{Eq} ?

במילים אחרות מהו המרחק L_F בין מקום הפעולה על הקורה של F_{Eq} לנקודת הריתום A.

$$L_F = \frac{L_1 \cdot G_1 + L_2 \cdot G_2}{F_{Eq}}$$

זוכרים את הנוסחה שפיתחנו?

כיצד נשמש בה בבעיה בה ישנם שלושה כוחות?

$$L_F = \frac{L_1 \cdot F_1 + L_2 \cdot F_2 + L_3 \cdot F_3}{F_{Eq}} = \frac{3 \cdot 200 + 8 \cdot 100 + 12 \cdot 50}{350} = \frac{2000}{350} = 5.71\text{m}$$

וכמה שווה המומנט שיוצר הכוח השקול F_{Eq} ושגילינו שפועל במרחק L_F מהריתום A?

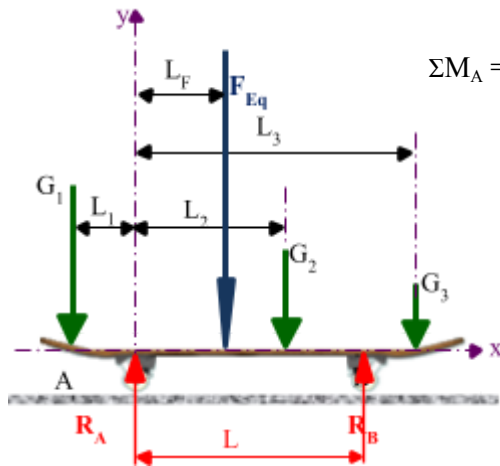
$$M_{Eq} = L_F \cdot F_{Eq} = 5.71 \cdot (-350) = -2000\text{m}\cdot\text{N}$$

כעת אנחנו רגועים! המומנט השקול שיוצרים שלושת הכוחות מנסה לסובב את הקורה עם כיוון השעון ולכן כיוונו שלילי והוא זהה בעוצמתו למומנט שהריתום יוצר ומנסה להתנגד לסיבוב הקורה הפעם נגד כיוון השעון. ולכן סכום המומנטים הללו על הקורה באמת שווה אפס ואכן הקורה נמצאת בשיווי משקל של כוחות ושל מומנטים.

משימת אתגר:

האם אתה יכול לעלות על גלגשך יחד עם אחותך והכלב ועדיין שהגלגש יישאר בשיווי משקל?

נזכיר: $G_1=650\text{N}$ $G_2=500\text{N}$ $G_3=150\text{N}$
 נגדיר את המרחקים: $L_1=0.15\text{m}$ $L_2=0.9\text{m}$ $L_3=1.6\text{m}$ $L=1.5\text{m}$



$$\Sigma M_A = 0 \quad L_1 \cdot G_1 + L \cdot R_B - L_2 \cdot G_2 - L_3 \cdot G_3 = 0$$

$$0.15 \cdot 650 + 1.5 \cdot R_B - 0.9 \cdot 500 - 1.6 \cdot 150 = 0$$

$$97.5 + 1.5 \cdot R_B - 450 - 240 = 0$$

$$1.5 \cdot R_B - 405 = 0$$

$$1.5 \cdot R_B = 405 \quad \Rightarrow \quad R_B = 395\text{N}$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad R_A + R_B - 650 - 500 - 150 = 0$$

$$R_A = 1300 - R_B$$

$$R_A = 1300 - 395 \quad \Rightarrow \quad R_A = 905\text{N}$$

$$F_{Eq} = 1300\text{N}$$

$$L_F = \frac{L_1 \cdot G_1 + L_2 \cdot G_2 + L_3 \cdot G_3}{F_{Eq}}$$

המרחק הוא שלילי ביחס לראשית הצירים

$$L_F = \frac{-0.15 \cdot 650 + 0.9 \cdot 500 + 1.6 \cdot 150}{1300} = \frac{592.5}{1300} = 0.4558\text{m}$$

נבדוק את התוצאות שקיבלנו באמצעות סכום מומנטים על נקודה B:

$$\Sigma M_B = 0 \quad \Rightarrow \quad (L - L_F) \cdot F_{Eq} - L \cdot R_A = 0 \quad \Rightarrow \quad (1.5 - 0.4558) \cdot 1300 - 1.5 \cdot 905 = 0$$

$$1.0442 \cdot 1300 - 1357.5 = 0$$

$$1357.5 - 1357.5 = 0$$

R_A – יוצר מומנט שלילי F_{Eq} – יוצר מומנט חיובי
 סביב נקודה B סביב נקודה B

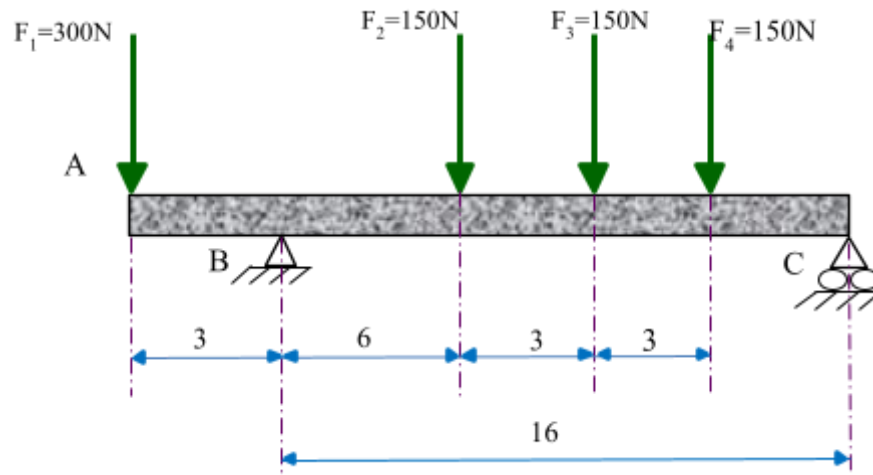
הגלגש נמצא בשיווי משקל מומנטים!!!

תרגילי סיכום

תרגיל 1:

על קורה פועלים הכוחות כמתואר בציור. המידות נתונות במטרים והכוחות בניוטונים.

חשב את כוחות התגובה בנקודות B ו-C.



תרגיל 2:

הנח שהתגובה בסמך B, בתרגיל הקודם שווה ל- 2000 ניוטון, והתגובה בסמך C. היא אנכית בלבד. מה צריך להיות הכוח בנקודה A, ומה כיוונו?

תרגיל 3:

לפניך שלוש צורות של קיבוע המבנה ABC. באיזו צורה כוח התגובה בנקודה A הוא הגדול ביותר? נמק!

