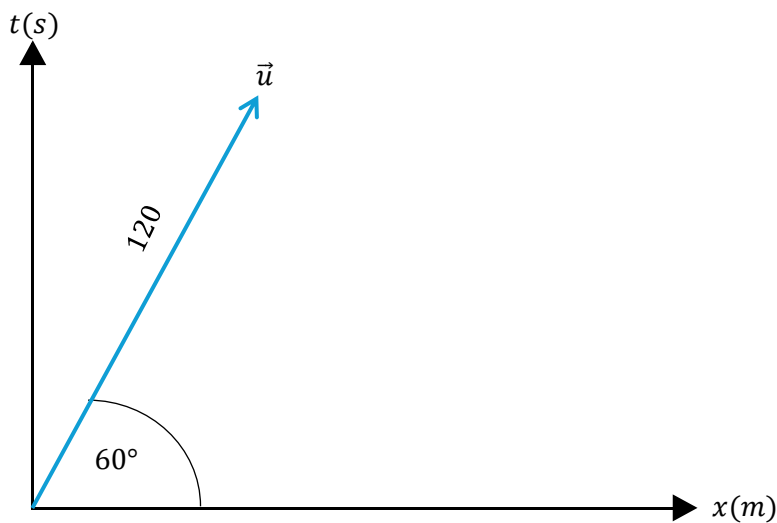


וקטורים

הגדרה: וקטור הוא גוף בעל **גודל** – למשל: 12 מטרים, ו**כיוון** – למשל 20° . וקטור גיאומטרי יסומן כחץ בגודל המתאים, ובזווית בגודל כיוון הווקטור, לעומת הציר האופקי. וקטור אלגברי יסומן באות לועזית, לרוב קטנה, עם חץ מעליה: $\vec{u}, \vec{v}, \vec{s}$.

במילים אחרות, וקטור הוא בסך הכל חץ. האורך בו החץ נמתח נקרא 'גודל הווקטור' ואילו הזווית הנוצרת בינו לבין הציר האופקי (ציר ה-x במערכת צירים מתמטית) היא 'כיוון הווקטור'.

לדוגמה:



ניתן להגיד כי גודל הווקטור $\vec{u}$ הוא 120m וכיוונו 60° - או בסימון מתמטי: $\vec{u} = (120m, 60^\circ)$.
כתיבה זו נקראת גם 'מישור פולארי'. במישור הפולארי, בהינתן (a, b) נדע כי a הוא גודל (של ווקטור) ו- b הוא כיוון (של ווקטור). לעומת זאת – במישור הרגיל שאנו הכרנו, המישור הקרטזי, (a, b) מסמנים כי a הוא הערך המתקבל בציר האופקי (ציר x) ו- b הוא הערך המתקבל בציר האנכי (ציר y).

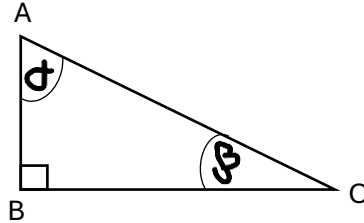
לפני שנבין כיצד אנו ממירים נתון (x, y) קרטזי לנתון (r, θ) פולארי, ולהפך, עלינו להתמצא בשלושת הפונקציות הטריגונומטריות:

היכרות עם הפונקציות הטריגונומטריות

נכיר את שלושת הפונקציות הטריגונומטריות:

$$\sin(a), \cos(a), \tan(a)$$

בהינתן משולש ישר זווית ABC:



מתקיים:

$$\sin(\alpha) = \frac{BC}{AC}$$

$$\cos(\alpha) = \frac{AB}{AC}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{BC}{AB}$$

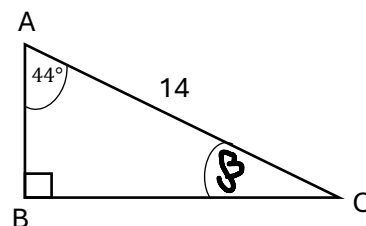
במילים יותר פשוטות: $\sin$ מחזיר את החלוקה בין הניצב שמול הזווית לבין היתר, $\cos$ מחזיר את החלוקה בין הניצב הסמוך לזווית, $\tan$ מחזיר את החלוקה בין הניצב שמול הזווית לניצב הסמוך לזווית.

! במחשבון שלנו ניתן למצוא את שלושת הפונקציות הטריגונומטריות. על מנת לוודא שהגדרות המחשבון נכונות, בדקו האם כתובה לכם בראש צג המחשבון האות 'D'. כמו כן, על מנת לפתור משוואה מהסוג: $\sin(x) = a$, $\cos(x) = a$, $\tan(x) = a$, נלחץ במחשבון shift, נבחר בפונקציה הטריגונומטרית הדרושה בתרגיל, ולבסוף נזין במחשבון את a . ביצוע כל השלבים הללו יחזיר לנו את ערכו של x .

לדוגמה:

$$\tan(x) = -\frac{5}{2} \rightarrow x \approx -68.2^\circ$$

תרגיל לבדיקת הבנה:



מצאו את BC, מצאו את זווית β , מצאו את שטח המשולש ABC.

$$S_{ABC} = 32.846, \beta = 46^\circ, BC = 9.725$$

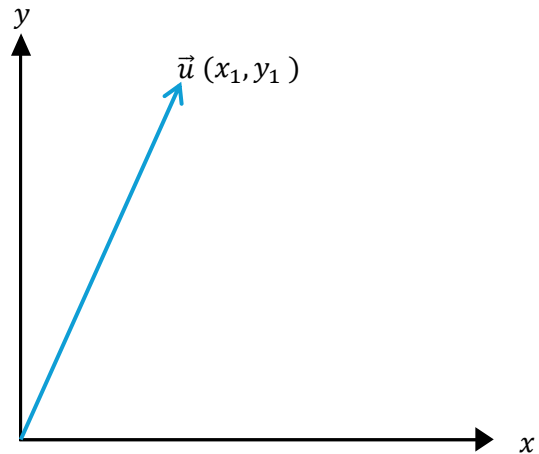
המרות ייצוגים: קרטזי $\leftrightarrow$ פולארי

המרה מייצוג קרטזי לייצוג פולארי

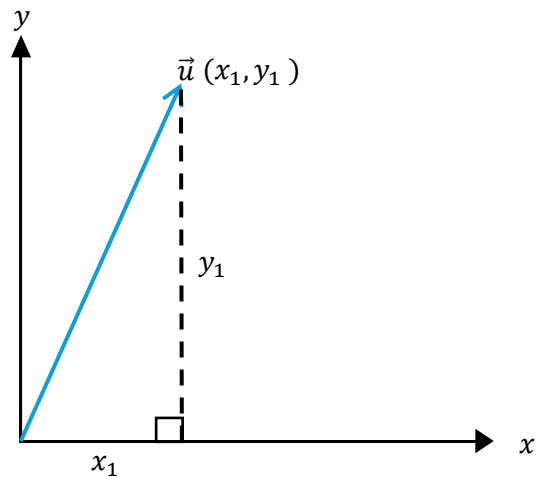
ההמרה הפשוטה יותר היא המרת רכיבים קרטזיים של וקטור, לרכיביו הפולאריים.

נתונים הרכיבים (x_1, y_1) המייצגים את נקודת הקצה אליה מצביע הווקטור.

הבה נשרטט את הבעיה בכדי להבין כיצד תתבצע ההמרה.



נוריד ישר $x = x_1$ על מנת ליצור בין החץ של $\vec{u}$ לבין הצירים משולש ישר זווית.



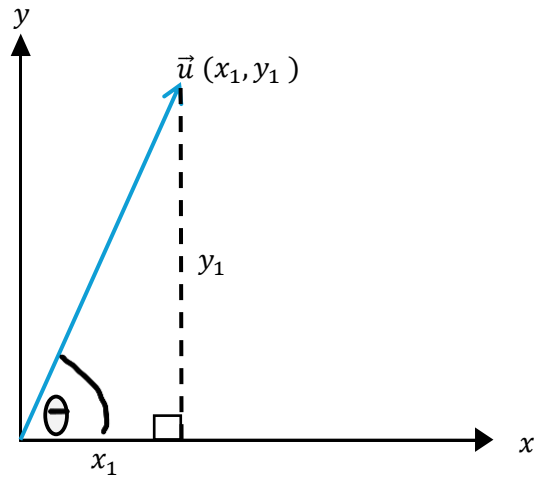
על מנת למצוא את גודל הווקטור, עלינו למצוא את אורכו של היתר. ניעזר במשפט פיתגורס:

$$r^2 = x_1^2 + y_1^2$$

נפעיל שורש ריבועי על הנוסחה ונקבל:

$$r = \sqrt{(x_1)^2 + (y_1)^2}$$

כעת נסתכל על הזווית שעלינו למצוא – אותה נסמן כ- θ :



נשים לב כי אנחנו יכולים להפעיל את פונקציית $\tan$ בכדי למצוא את שיעור θ :

$$\tan(\theta) = \frac{y_1}{x_1}$$

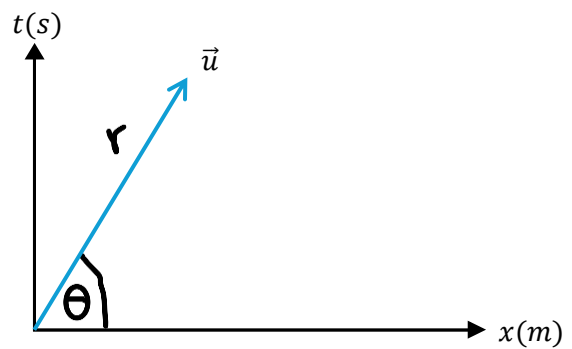
ומכאן מצאנו דרך ישירה להעביר רכיבי וקטור מייצוג קרטזי לייצוג פולארי:

$$(x_1, y_1) = \left(\sqrt{x_1^2 + y_1^2}, \tan(\theta) = \frac{y_1}{x_1} \right)$$

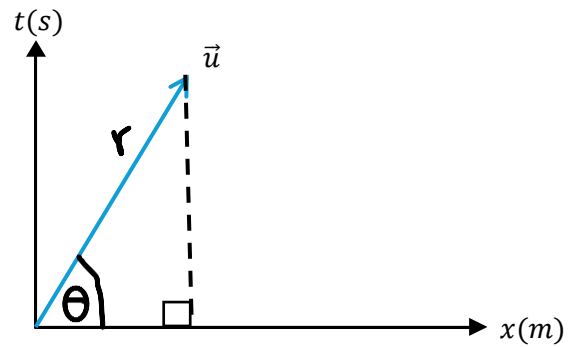
המרה מייצוג פולארי לייצוג קרטזי:

נתונים הרכיבים (r, θ) המייצגים גודל וכיוון של וקטור $\vec{u}$. נרצה למצוא את הרכיבים הקרטזיים של $\vec{u}$, כלומר, לעבור מ- (r, θ) ל- (x_1, y_1) .

נשרטט את הבעיה, כמו קודם לכן:



גם כאן, נרצה לשרטט את הניצב הסמוך לראש הווקטור:



נשים לב שבעזרת היתר הנתון r והזווית הנתונה θ – ניתן למצוא את רכיבי ה- x, y של הווקטור בצורה טריגונומטרית:

$$x_1 = r \cdot \cos(\theta)$$

$$y_1 = r \cdot \sin(\theta)$$

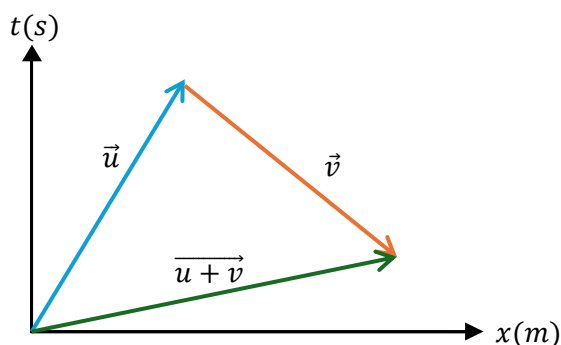
נשים לב שהנוסחה יכולה להשתנות בהתאם לשרטוט ולזווית שנבחר להתמקד. (לדוגמה אם במקום העברת הניצב האנכי בשרטוט לעיל, היינו מעבירים ישר אופקי בין ציר ה- y לבין ראש הווקטור...)

! לכן מומלץ תמיד לשרטט את הבעיה, לבחור את דרך הפתרון הנוחה ביותר – ולזכור את הגדרות הפונקציות הטריגונומטריות.

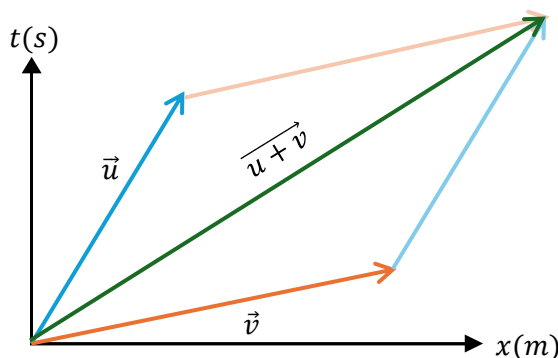
פעולות על וקטורים:

חיבור וקטורים:

הגדרה גיאומטרית: יהיו $\vec{u}$, $\vec{v}$ שני וקטורים מתלכדים (וקטור אחד ממשיך את השני). שרטוט וקטור הסכום $\vec{u} + \vec{v}$ יהיה וקטור אשר יוצא מראש הווקטור $\vec{u}$ אל ראש הווקטור $\vec{v}$. כלל זה נקרא גם 'כלל המשולש' שכן חיבור של שני וקטורים תמיד שואף 'לסגור' משולש בין הווקטורים.



עבור שני וקטורים שאינם מתלכדים, נפעל בכלל המקבילית: נבנה את הווקטורים המקבילים לשני הווקטורים הנתונים, ונמתח אלכסון בין נקודות המפגש. אלכסון זה יהווה את סכום הווקטורים.



הגדרה אלגברית: יהיו $\vec{u}$, $\vec{v}$ שני וקטורים בעלי הרכיבים הקרטזיים הבאים בהתאמה: (x_1, y_1) , (x_2, y_2) . וקטור הסכום יהיה וקטור בעל הרכיבים הקרטזיים הבאים: $(x_1 + x_2, y_1 + y_2)$.

לדוגמה, סכום הווקטורים $(5, 12)$ ו- $(-3, 9)$ הוא הווקטור $(2, 21)$.

! במידה והווקטורים שאנו מעוניינים לסכום מופיעים בייצוג פולארית, נבצע כנלמד המרה של הווקטורים לייצוג קרטזי להקלה על ההליך.

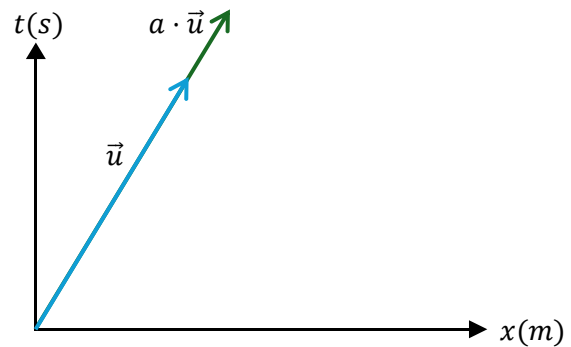
!! וקטור הסכום נקרא גם 'הווקטור השקול' או 'השקול'.

כפל בסקלר:

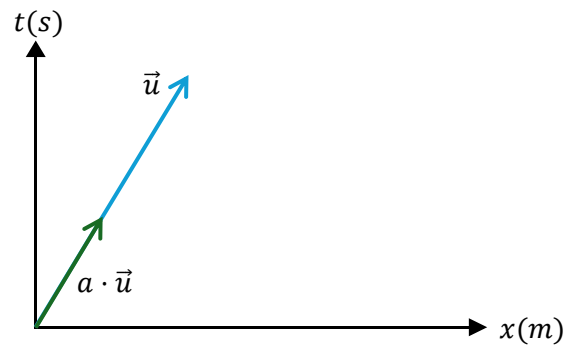
הגדרה: סקלר הוא קבוע ממשי כלשהו (מספר ללא יחידת מידה או ייחודיות).

הגדרה גיאומטרית: יהי הווקטור $\vec{u}$ והסקלר a . פעולת הכפל בסקלר $a \cdot \vec{u}$ משפיעה על אורך הווקטור $\vec{u}$ ואף עשויה להפוך את כיוונו.

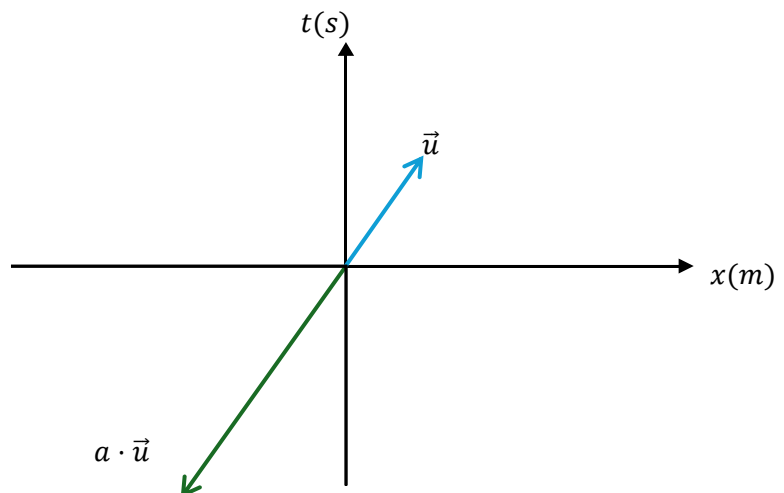
עבור סקלר חיובי הגדול מן 1, הווקטור יתארך.



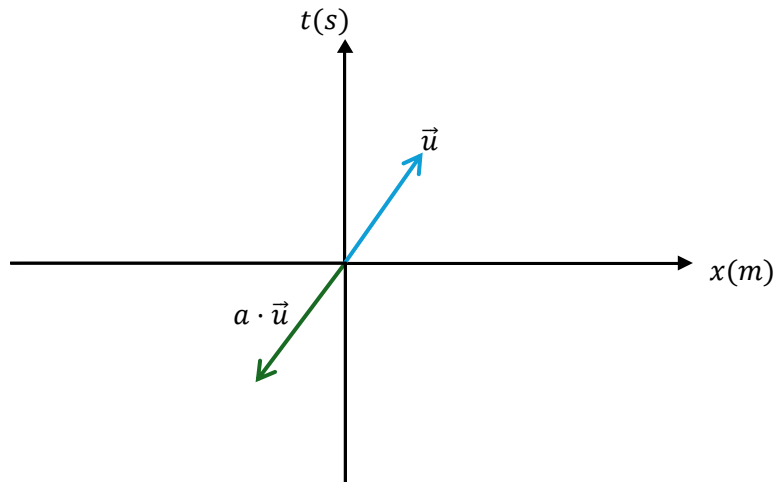
עבור סקלר חיובי הקטן מן 1, הווקטור יתקצר.



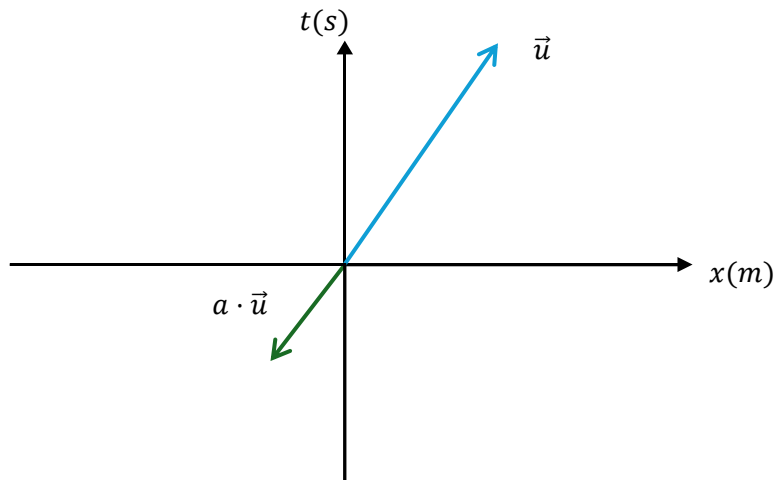
עבור סקלר שלילי הקטן מן -1, הווקטור יתהפך ויתארך לכיוון הנגדי.



עבור סקלר 1-, הווקטור פשוט יהפוך את כיוונו ויתהפך. ללא שינוי בגודל הווקטור. (וקטור נגדי)



עבור סקלר הקטן מן 1-, הווקטור יתהפך ויתקצר לכיוון הנגדי.



! כפל בסקלר 1 חסר כל השפעה על הווקטור.

!! כפל בסקלר 0 משנה את הווקטור להתלכד עם הציר האופקי.

הגדרה אלגברית: יהי הווקטור $\vec{u} = (x_1, y_1)$ והסקלר a . הווקטור $a \cdot \vec{u}$ יהיה מורכב מן הרכיבים הקרטזיים $(a \cdot x_1, a \cdot y_1)$.

לדוגמה, הווקטור $(12, 3)$ $\cdot 5$ הוא הווקטור $(60, 15)$.

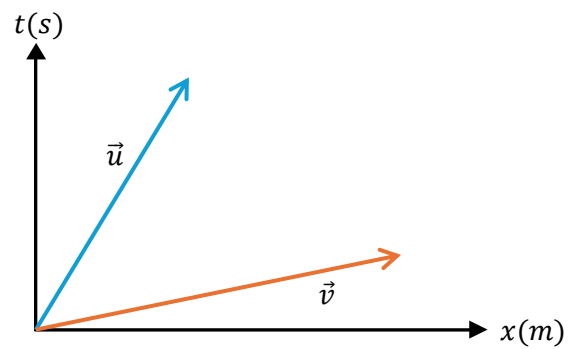
! גם פה, הפעולה מתבצעת בצורה אלגברית ישירות על וקטור המיוצג קרטזית. על מנת לבחון את הרכיבים האלגבריים של כפל בסקלר עם וקטור המיוצג פולארית, יש לבצע המרה כנלמד.

חיסור וקטורים:

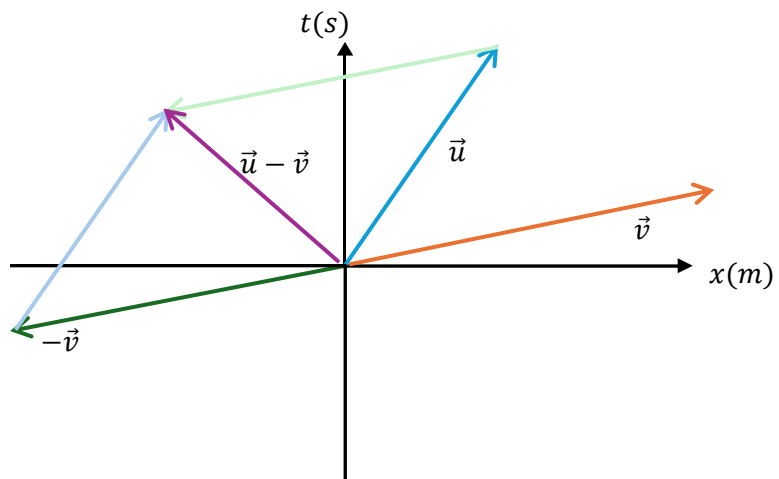
למעשה, ניתן להגדיר חיסור וקטורים בעזרת הפעולות הקודמות שהגדרנו:

הגדרה: יהיו $\vec{u}$, $\vec{v}$ שני וקטורים. וקטור ההפרש $\vec{u} - \vec{v}$ הוא חיבור הווקטור $\vec{u}$ עם הווקטור הנגדי (כפל בסקלר -1) של הווקטור $\vec{v}$. במילים אחרות, מתקיים: $\vec{u} - \vec{v} = \vec{u} + (-1 \cdot \vec{v})$.

דוגמה גרפית:



נשרטט את הווקטור הנגדי של $\vec{v}$, ונחבר אותו עם הווקטור $-\vec{v}$:



דוגמה אלגברית:

$$(5,4) - (2,4) = (3,0)$$

הרחבה: אופרטור הסכום $\sum$:

כאשר אנחנו מעוניינים למצוא וקטור שקול לכמה וקטורים (למשל עבור n וקטורים), עלינו לחבר אותם באחד אחרי השני לקבלת וקטור סכום מלא.

ישנן שתי צורות כתיבה לפעולה:

$$\vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \vec{v}_3 + \dots + \vec{v}_n$$

אך בעזרת אופרטור הסיגמא הגדולה $\sum$, ניתן לקצר את הכתיבה:

$$\sum_{i=1}^n \vec{v}_i$$

אם נתרגם את הנאמר: לכל המספרים מ-1 עד n , תוסיף לסכום את ערכי הווקטור הנוכחי $(1,2,3,\dots,n)$.

לדוגמה, עבור הווקטורים $\vec{v}_1 = (1,3)$, $\vec{v}_2 = (-3,7)$, $\vec{v}_3 = (2,4)$ ניתן לייצג את הסכום כך:

$$\sum_{i=1}^3 \vec{v}_i = (1,3) + (-3,7) + (2,4) = (0,14)$$

מבוא לכוחות

הגדרה: כוח הוא השפעה הדדית בין שני גופים ע"י שינוי תנועה או שינוי צורה.

לדוגמה: כאשר דוד קופץ באוויר, הוא מפעיל כוח כלפי הקרקע, וכך מתרומם לאוויר. כוח הכבידה הפועל על דוד כלפי מטה, מחזיר אותו חזרה לקרקע.

יחידת המידה ניוטון (N) וחוק הוק:

מסה לעומת משקל

על מנת למדוד כוח, אנו נעזרים ביחידת המידה ניוטון N, על שמו של אייזיק ניוטון.

כאן עלינו לשים דגש על ההבדל בין משקל למסה:

מסה היא כמות החומר בגוף מסוים. היא נמדדת ביחידות מידה כגון גרם, קילוגרם, טון..
משקל הוא הכוח הפועל על הגוף תוך תלות במסתו. המשקל נמדד ביחידת ניוטון, המסומנת N.

חוק הוק:

חוק הוק נועד לחישוב הכוח המופעל על גוף אלסטי (קפיץ לדוגמה).

Δl הוא הפרש האורכים של הגוף. לדוגמה: לפני תליית משקולת על קפיץ, אורכו היה 4cm. לאחר תליית המשקולת, אורכו היה 7cm. מכאן כי $\Delta l = 7 - 4 = 3cm$.

K נקרא 'קבוע הקפיץ' – הוא מהווה מספר ממשי קבוע שתלוי בפרמטרים כמו מסת הגוף, צפיפותו, שטח הפנים..

F הוא הכוח הפועל על הגוף.

לפי חוק הוק מתקיים:

$$F = k \cdot \Delta l$$

דוגמה:

נתון קפיץ S בעל קבוע הקפיץ 0.427, באורך 5.7cm

מה יהיה אורך הקפיץ לאחר תליית משקולת השוקלת 2N עליו?

פתרון: נסמן: $\Delta l = x - 5.7$ כאשר x הוא האורך הסופי שאנו מעוניינים למצוא.
נתון כי הכוח הפועל על הקפיץ הוא 2N, וכי קבוע הקפיץ הוא 0.427. מכאן על פי חוק הוק מתקיים:

$$2 = 0.427 \cdot (x - 5.7)$$

$$2 = 0.427x - 2.4339$$

$$0.427x = 4.4339$$

$$x \approx 10.38cm$$

ומכאן אורך הקפיץ לאחר תליית המשקולת הוא 10.38cm.

ביטוי כוחות כווקטורים:

כאשר אנו מדברים על כוחות הפועלים על גוף מסוים, עשויות לצוץ מספר שאלות:

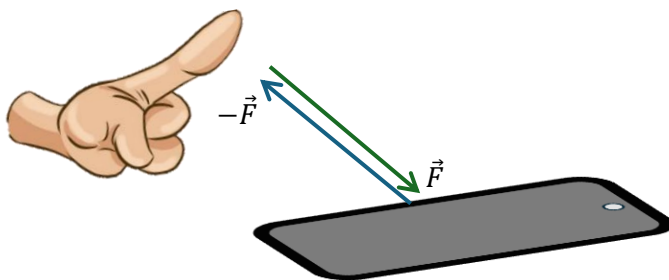
- מי מפעיל את הכוח?
- על מי הכוח פועל?
- מה עוצמת הכוח?
- מה כיוון הכוח?

לדוגמה, כוח הכבידה פועל בכל גוף בכדור הארץ, בעוצמה המשתנה לפי מסת הגוף, ובכיוון הקרקע.

מבנה מתמטי התורם לנו מידע על שאלות אלו, הוא וקטור.

נראה דוגמה:

1. יהי $\vec{F}$ וקטור הכוח הפועל על טלפון נייד, בעת לחיצה על הצג. ל- $\vec{F}$ יש גם גודל – כמה N הכוח? וגם כיוון: כלפי הצג. הבא נראה תרשים:



! נשים לב כי בתרשים ישנם שני כוחות: הכוח המופעל על הטלפון מהאצבע, והכוח שהטלפון מחזיר לאצבע. נרחיב על העניין כאשר נדבר על החוק השלישי של ניוטון.

החוק הראשון של ניוטון:

חשבתם מדוע אנו לא מרגישים את כוח הכבידה כאשר אנחנו בעמידה על הקרקע? מדוע אנו לא מרגישים 'לחץ' שדוחף אותנו מטה? הסיבה לכך היא שפועלים עלינו שני כוחות מנוגדים: כוח הכבידה, אשר מפעיל כוח שדוחף אותנו ארצה – והכוח שהקרקע מחזירה אלינו, שדוחף אותנו מעלה.

מצב זה נקרא מנוחה – הכוחות הפועלים מבטלים אחד את השני ולא יוצרים בגוף שלנו תנועה חריגה.

ניקח דוגמה נוספת: בחלל הריק, חללית שתנוע בכיוון מסוים תמשיך לנוע במהירות ובכיוון הזה בלי שינוי, משום שאין חיכוך או כוחות חיצוניים שיבלמו אותה. או במילים אחרות, ובלשון קינמטית – תנועה שוות מהירות. על הגוף לא פועלים כוחות, ולכן ממשיך את מסלול השיגור שלו בצורה רציפה.

נשים לב שמנוחה היא מקרה פרטי של תנועה שוות מהירות: כל גוף במנוחה בהכרח נע במהירות $v=0$, ולפיכך תנועתו אומנם אפסית – אך גם קבועה.

החוק הראשון של ניוטון: גוף אשר שקול הכוחות הפועלים עליו (סכום ווקטורי הכוחות) הוא $\vec{0}$, הוא גוף אשר מתמיד בתנועתו. (גוף הנמצא ב'התמדה').

תרגיל לדוגמה:

הוכיחו כי בהכרח פועל כוח (ואינו מתבטל) על גוף הנופל נפילה חופשית בכדור הארץ. (אין לקחת בחשבון חיכוך והתנגדות עם האוויר)

פתרון: בכיתה י' למדנו כי התאוצה של גוף הנופל נפילה חופשית על פני כדה"א היא $a = 10m/s^2$. מכאן כי המהירות של הגוף **אינה קבועה** – ועל פי החוק הראשון של ניוטון, אם התנועה אינה קבועה, שקול הכוחות אינו $\vec{0}$. או במילים אחרות: קיים כוח הפועל על הגוף, וגורם לכך שתנועתו אינה שוות מהירות. (כוח הכבידה במקרה המתואר)

החוק השלישי של ניוטון:

! אל דאגה: החוק השני של ניוטון נשמט מכיוון שרלוונטי לפרק יותר מאוחר בחומר הלימוד, ולפיכך יימצא בסיכומים מתקדמים יותר.

בצעו ניסוי:

זרקו שני כדורים הזהים במסתם לעבר אחד השני באותה העת.

(1) אילו מהכדורים הושפעו מן המהלך?

(2) מי מהכדורים הושפע יותר? מדוע?

וודאי התווכחתם כי שני הכדורים הושפעו בצורה שווה מן המהלך. כלומר – שניהם 'עפו' הצידה בערך באותה המהירות ועברו בערך מרחק זהה ממקום פגישתם.

הסיבה לכך היא ששני הכדורים הפעילו יחד, באותה העת, כוחות בעוצמה זהה, אך בכיוונים מנוגדים.

במילים אחרות: הכוח שכדור א' הפעיל על כדור ב' **שקול בגודלו** לכוח שכדור ב' הפעיל על כדור א', **אך נגדי בכיוונו** והפעלת הכוחות בשני הצדדים פעלה באותו הרגע, יחדיו.

מכאן נגזור את חוקו השלישי של ניוטון:

החוק השלישי של ניוטון: בעת אינטראקציה של שני גופים, אם הכוח שהפעיל גוף A על גוף B הוא $\vec{F}$, בהכרח הכוח שגוף B מפעיל על גוף A הוא $-\vec{F}$.

תרגיל לדוגמה:

תלמיד א' שמשקלו 800N ותלמיד ב' שמשקלו 900N יושבים על זוג כיסאות שמסתם זהה ודוחפים אחד את השני באותו הרגע. איזה כוח פועל בעוצמה גבוהה יותר? הכוח שהפעיל תלמיד א' או הכוח שהפעיל תלמיד ב'?

פתרון: על פי החוק השלישי של ניוטון, מכיוון ששני הגופים הפעילו כוחות אחד על השני באותו הזמן, הכוחות בהכרח זהים בגודלם (בעוצמתם) ומנוגדים בכיוונם. לכן הכוח שהפעיל תלמיד א' שקול בעוצמתו לכוח שהפעיל תלמיד ב'.

סוגי כוחות ושיטת העבודה עם כוחות

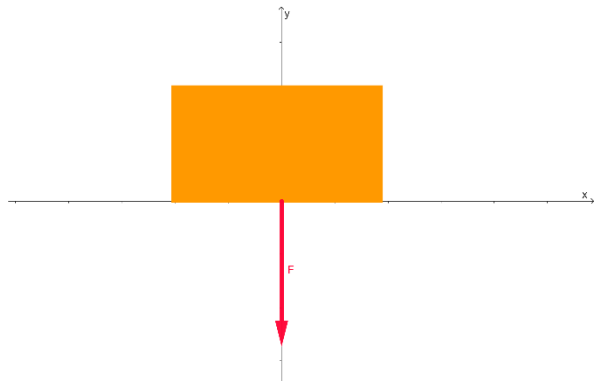
כוח הכבידה - משקל:

הכוח הבסיסי ביותר עליו כבר דיברנו הוא כוח הכבידה. משמעותו היא שכל גוף בעל מסה, נמשך בעוצמה מתאימה למרכז כדור הארץ.

כוח הכבידה תמיד יהיה וקטור אשר 'מושך' את הגוף לקרקע בצורה מאוזנת.

ניתן לסמן כוח זה כ- $\vec{F}$ שכן הוא כוח ככל הכוחות, $\vec{W}$ (וכך ננהג לקרוא לו) או כ- $\vec{F}_g$, כאשר g עומדת עבור gravity.

תרשים כוחות לדוגמה:



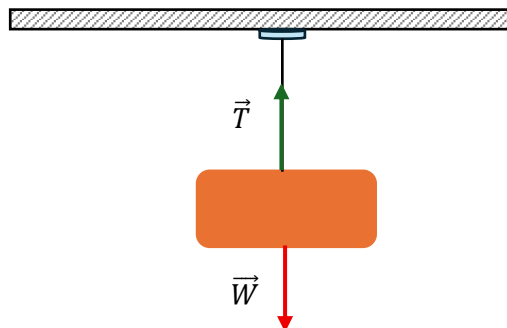
כוח המתיחות:

כאשר אנו עוסקים בשאלות עם חוטים\חבלים, נרצה להתייחס למושג המתיחות.

נסמן את מתיחות החבל T בעזרת הווקטור T_1 (T קיצור ל-TENSION).

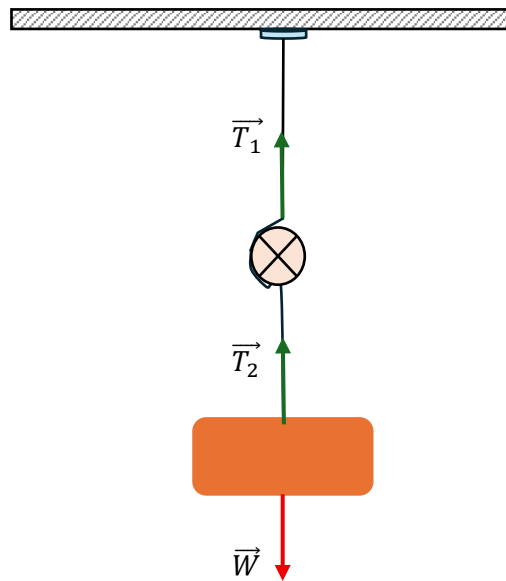
חבל מתוח יכול אך ורק **למשוך** גוף המחובר לחבל, ולא לדחוף אותו.

נראה דוגמה גרפית:



הייחוד של כוח המתיחות הוא שכוח המתיחות של החבל T זהה בגודלו לאורך כל אורך החבל.

נראה דוגמה של מתיחות מחולקת:



מכיוון שמתיחות החבל זהה לאורך כל החבל, מתקיים:

$$T_1 = T_2$$

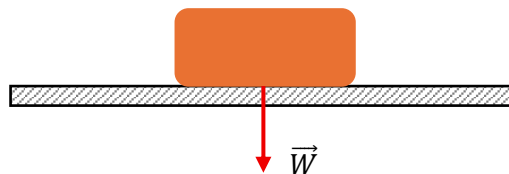
(תרגיל לדוגמה – נתון כי משקל התיבה הוא 50 ניוטון. מצאו את T_2)

הכוח הנורמלי:

למדנו מן המשפט הראשון של ניוטון כי מתקיים לכל גוף בהתמדה (מנוחה/תנועה קצובה) כי שקול הכוחות שלו הוא 0.

ניתן להסיק מכך כי לגוף הנמצא בהתמדה מתקיים: $\Sigma F_y = 0$ – כלומר, סכום כל רכיבי ה-y של ווקטורי הכוח הפועלים בתרשים הכוחות של הגוף הוא 0.

נשים לב לבעיה העולה כאשר אנו מדברים על דוגמה: גוף במנוחה שמשקלו w על מישור אופקי:

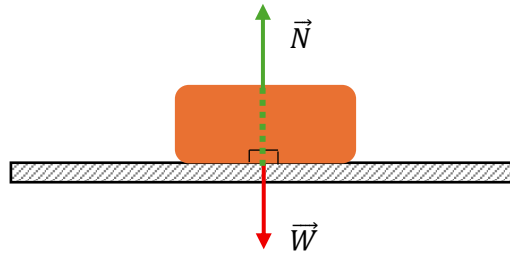


נשים לב שמתקיים $W = W_y$, אך מכיוון שאין שום כוח נוסף מעורב במערכת – שקול הכוחות הוא W ולא 0. אז האם הגוף בהתמדה או לא?

התשובה היא שהגוף כן בהתמדה, אך על מנת לגלות זאת – נכיר את הכוח הנורמלי. אם כדור הארץ מפעיל את הכוח W על הגוף, הגוף מפעיל את הכוח הנורמלי, המסומן N , על כדור הארץ.

הכוח הנורמלי תמיד מאונך למשטח עליו מונח הגוף

נסתכל על הדוגמה הקודמת שלנו, ונוסיף את הכוח הנורמלי N :

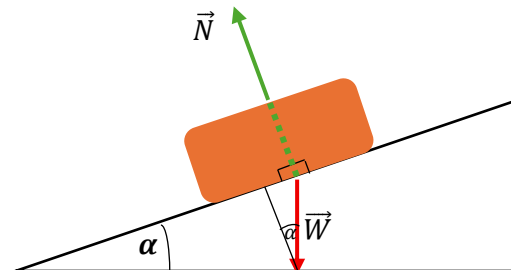


כעת נסתכל שוב על שקול הכוחות:

$$\Sigma F_y = N - W$$

כלומר, הגוף מתמיד כאשר הוא מונח על **משטח אופקי** אם ורק אם מתקיים $N = W$. נשים לב שבמשטח משופע, הכוח הנורמלי אינו בהכרח שווה למשקל.

נראה דוגמה נוספת:



נבחר את ציר ה-x במערכת הצירים של תרשים הכוחות להיות מקבילה למדרון. לפיכך מתקיים $N = N_y$ ו- $N_x = 0$. נבדוק מה הוא רכיב ה-y של W : $W_y = W \cos(\alpha)$.

על פי החוק הראשון של ניוטון, מכיוון שהגוף מתמיד מתקיים:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N - W_y = 0$$

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

והכרנו מצב בו הכוח הנורמלי אינו שווה בגודלו לגודל המשקל של הגוף.

חיכוך:

חיכוך הוא כוח המפעיל גוף על פני המשטח עליו נמצא. חיכוך מתחלק לשניים:

חיכוך סטטי:

הוא כוח חיכוך פעיל שבו הגוף **עדיין במנוחה**. כלומר – כוח החיכוך לא גדול מספיק בשביל לגרום לתנועת הגוף.

נסמן את החיכוך הסטטי בין גוף למשטח עליו מונח כ- f_s .

נשים לב שתמיד מתקיים:

$$0 \leq f_s \leq f_{\max(s)} = \mu_s \cdot N$$

נתרגם את הנוסחה:

כוח חיכוך סטטי תמיד אי שלילי, ויש לו מגבלת גודל בשם $f_{\max(s)}$. החיכוך הסטטי מגיע לגודל זה כאשר הגוף בדיוק על סף התנועה (אם הכוח יגדל מעבר, הגוף יתחיל לנוע).

החיכוך הסטטי המקסימלי מוגדר בנוסחה קבועה:

$$f_{\max(s)} = \mu_s \cdot N$$

N: הכוח הנורמלי שמפעיל הגוף המעורב בחיכוך.

μ_s : קבוע החיכוך הסטטי.

חיכוך קינטי:

מן הרגע בו החיכוך הסטטי עובר את $f_{\max(s)}$ הוא הופך להיות חיכוך קינטי: חיכוך בין גוף בתנועה לבין המשטח עליו הוא נע.

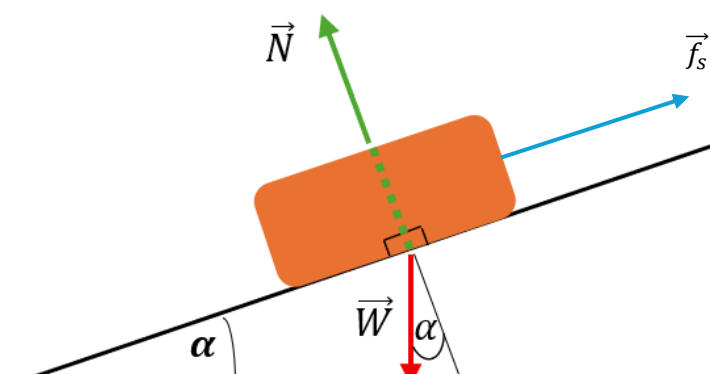
בחיכוך קינטי תמיד מתקיים:

$$f_k = \mu_k \cdot N$$

N: הכוח הנורמלי שמפעיל הגוף המעורב בחיכוך.

μ_k : קבוע החיכוך הקינטי.

דוגמה גרפית:



שיטת עבודה לפתרון בעיות עם כוחות:

כעת נראה פרוצדורה קבועה בה נעבוד כשניתקל בבעיות עם כוחות.

1. נשרטט איור המציג את הבעיה.
2. נבחר את הגופים הרלוונטיים לבעיה.
3. נוסיף מידע **קינמטי** לבעיה (מהירות, תאוצה...)
- לכל גוף נבצע את השלבים הבאים:
4. נספור כמה גופים במגע עם הגוף שבחרנו. מספר הכוחות הפועלים = מספר הגופים שבמגע + כוח הכבידה.
5. ניצור תרשים כוחות.
6. נשרטט מערכת צירים. (עבור בעיה עם מדרון, נרצה לבחור בציר x שיהיה מקביל למדרון).
7. נפרק לרכיבים את כל הכוחות שאינם **על הצירים**.
8. ניצור ונפתור משוואות המתבססות על המידע הקינמטי ועל חוקי ניוטון.

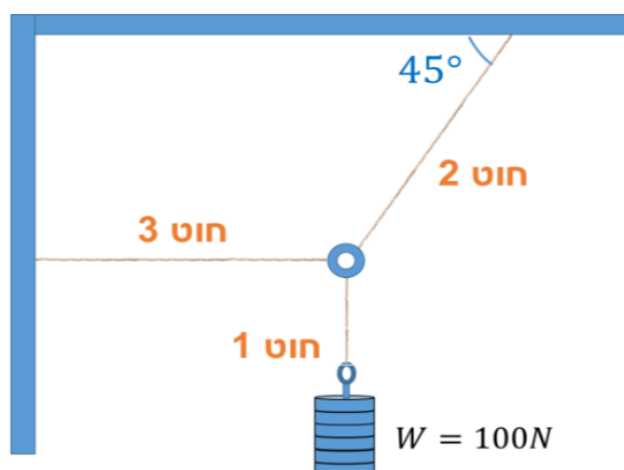
דרך השלבים הללו נוכל לענות על שלל בעיות הכוללות כוחות. נציג דוגמה:

במערכת במנוחה נתון גוף A שמשקלו 100N תלוי באמצעות חוט באוויר. החוט קשור לטבעת התלויה לתקרה באמצעות חוט נוסף הנמצא בזווית שמאלית לתקרה של כ-45° וחוט אחרון המאונך לקיר מצד שמאל. הזניחו את משקל הטבעת ומשקלי החוטים.

מצאו איזה חוט מבין שלושת החוטים הוא המתוח ביותר.

פתרון:

1. נשרטט את הבעיה:



2. נבחר את הגופים הרלוונטיים:

נרצה להתמקד בגוף התלוי באוויר ובטבעת המקשרת את שלושת החוטים.

3. נוסיף מידע קינמטי:

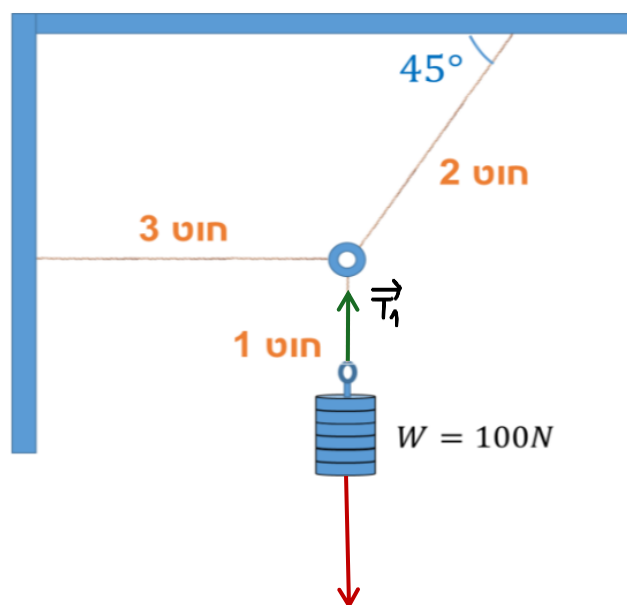
מכיוון שהמערכת במנוחה מתקיים $a = v = 0$.

--- עבור הגוף A הנתון:

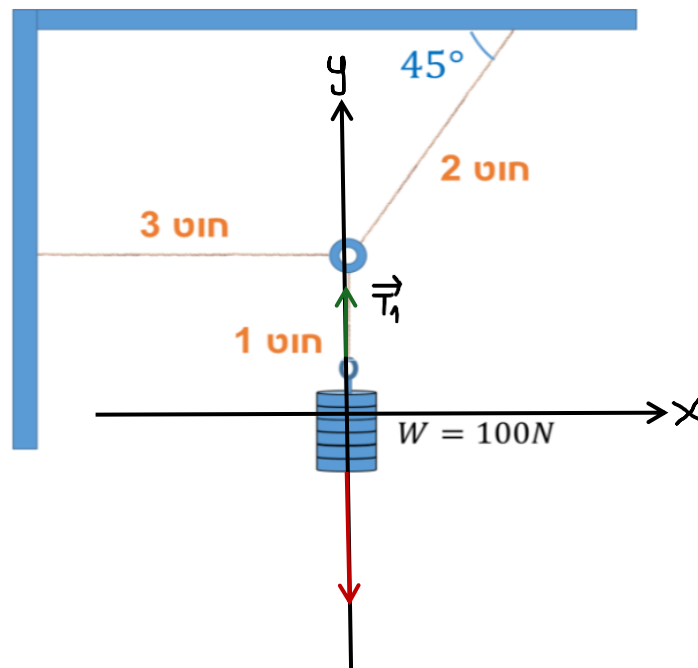
4. נספור כמה גופים במגע ישיר:

ישנו גוף אחד במגע ישיר עם הגוף A, וזה הוא החוט הראשון. לפיכך סך הכוחות הוא 2 (נכלול את הכבידה).

5. ניצור תרשים כוחות:



6. נשרטט מערכת צירים:



7. נפרק לרכיבים כוחות שאינם על הצירים:

כל הכוחות שלנו $(\vec{W}, \vec{T}_1)$ על הצירים, ולפיכך אין צורך לבצע פעולה מיוחדת.

8. נכתוב ונפתור משוואות לפי המידע הקינמטי וחוקי ניוטון:

ידוע כי $a = v = 0$, כלומר הגוף A בהתמדה, ועל פי החוק הראשון של ניוטון מתקיים:

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ T_1 - W &= 0 \\ T_1 &= W = 100N\end{aligned}$$

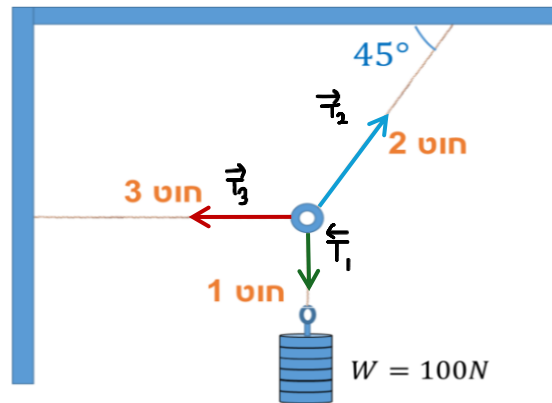
וגילינו מה היא מתיחות T_1 . נזכור שמכיוון שמתוחות החבל זהה לכל אורכו, גם המתיחות של החבל מצד הטבעת היא $100N$.

--- נחזור לסוף סעיף 3 ובבחר להתמקד בטבעת:

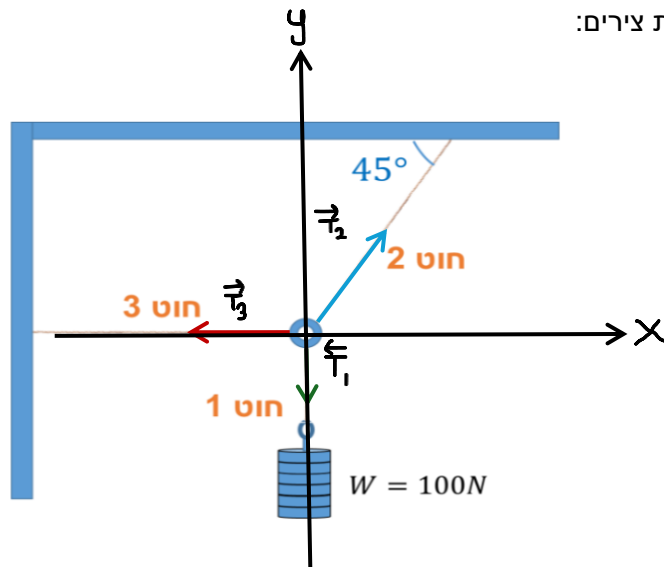
4. נספור כמה גופים במגע ישיר:

ישנם שלושה גופים במגע ישיר עם הטבעת – שלושת החוטים. מכיוון שהתבקשנו להזניח את משקל הטבעת, ישנם רק שלושה כוחות בתרשים.

5. ניצור תרשים כוחות:



6. נבנה מערכת צירים:



7. נפרק לרכיבים כוחות שאינם על הצירים:

נצטרך לפרק רק את T_2 :

$$T_2x = T_2 \cos(45^\circ), T_2y = T_2 \sin(45^\circ)$$

8. ניצור ונפתור משוואות לפי המידע הקינמטי וחוקי ניוטון:

ידוע כי $a = v = 0$ ולכן הטבעת בהתמדה. על פי החוק הראשון של ניוטון מתקיים:

$$\begin{aligned}\Sigma F_x = 0 &= T_2 \cos(45^\circ) - T_3 \\ \Sigma F_y = 0 &= T_2 \sin(45^\circ) - T_1\end{aligned}$$

אנחנו יודעים ש $T_1 = 100N$ לפי הדרך שעשינו בהתמקדות על גוף A. לפיכך המשוואות הן:

$$\begin{aligned}T_2 \cos(45^\circ) - T_3 &= 0 \\T_2 \sin(45^\circ) - 100 &= 0\end{aligned}$$

נסדר את המשוואות:

$$\begin{aligned}T_2 \cos(45^\circ) - T_3 &= 0 \\T_2 &= \frac{100}{\sin(45^\circ)} = 141.42N\end{aligned}$$

ומצאנו את מתיחות החבל השני.

נציב במשוואה הראשונה:

$$\begin{aligned}141.42 \cdot \cos(45^\circ) - T_3 &= 0 \\T_3 &= 141.42 \cdot \cos(45^\circ) = 100N\end{aligned}$$

ומצאנו את מתיחות החבל השלישי.

נסכם:

$$\begin{aligned}T_1 &= 100N \\T_2 &= 141.42N \\T_3 &= 100N\end{aligned}$$

ולכן החבל המתוח ביותר הוא החבל השני.