



החומר מערכת וכוחות או:

מה קורה כאשר פיל
עולה על גלגש?

חלק ב': מושגי יסוד
בסטטיקה

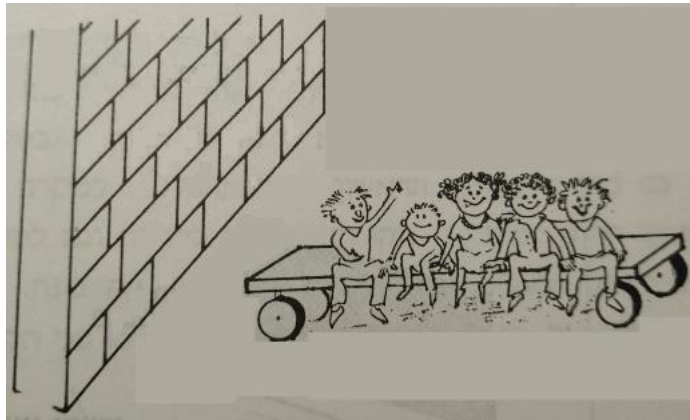
ב4: הפרדת כוח לרכיבים ישרי
זווית



פיתוח כתיבה ועריכה: דר' ירון דופלט – מפמ"ר מגמת הנדסת מכונות
מהדורת תשפ"ד

מבוא – הבנת ההשפעה של מהירות ושל כוח:

לאחר שמצאנו שקול כוחות לשני כוחות בעלי קו פעולה נחתך, נעלה על גלגשנו ונצא לסיבוב – נניח למסיבה של כל החבר'ה. עולים על הגלגש ומרביצים מהירות אדירה – נניח 2 מטרים לשנייה! (נו מילא, 2 מטרים לשנייה זו כמעט מהירותו של צב). בעודנו רוכבים על גלגשנו בנחת, **פתאום** צץ מולנו קיר! מה לעשות? להיכנס לפניקה???



תמונה של התנגשות חזיתית

אולי לפני הבהלה הגדולה כדאי לבדוק: האם המצב באמת מסוכן? ננתח את המצב" איזו בעייה גורם הקיר? ובכן, הקיר חזק יותר מאיתנו. אם ניכנס בקיר מי שיתקמט יהיה אנחנו – ולא הקיר! ככל שמהירות נסיעתנו גדולה יותר כך גדלות עוצמות ההתנגשות והקימוט – הנובע מההתנגשות... מאחר שאנחנו רוצים להגיע למסיבה בצורה מכובדת, כדאי שלפחות עד המסיבה לא נתקמט... במילים אחרות, הסכנה תלויה במהירות, שבה אנחנו מתקרבים אל הקיר.

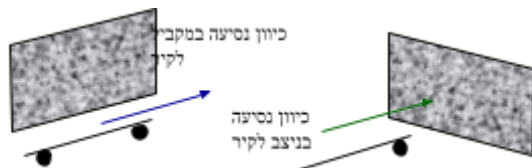
תכונות המהירות:

נרים ראש ונתבונן במצבים האפשריים:

מצב אפשרי אחד הוא, שאנחנו נוסעים בשיא המהירות **ישר מול הקיר!**

מצב אפשרי אחר הוא, שאנחנו נוסעים במקביל לקיר (כמובן, יכולים להיות כל מצבי הביניים: למשל התקרבות אל הקיר בזווית כלשהי. יכולים להיות אפילו מצבים שבהם אנחנו מתרחקים מהקיר אלא שמצבים אלו אינם מעניינים אותנו בהקשר של סכנת התקרבות לקיר).

נוכל לתאר שני מצבים קיצוניים אלו (נסיעה ישר מול הקיר ונסיעה במקביל לקיר) באיור הבא:



במקרה האחד אנחנו עומדים להתנגש בקיר בכל מהירותנו (בהחלט לא מצב מומלץ!) במקרה האחר, לא משנה באיזו מהירות אנחנו נוסעים – לא נתנגש בקיר (להזכירכם שני קווים מקבילים לעולם אינם נפגשים)!

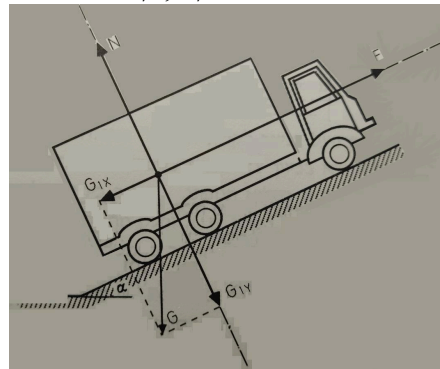
בעצם אנחנו מכירים מקרה דומה! לכוח יש שני מרכיבים חשובים: עוצמתו וכיוונו. גם למהירות הגלגש שבדוגמא האחרונה יש עוצמה וגם כיוון.

אם כך, גם בתופעת המהירות מתקיים התנאי, שלפיו תלויה עוצמת ההשפעה בכיוון ההשפעה.

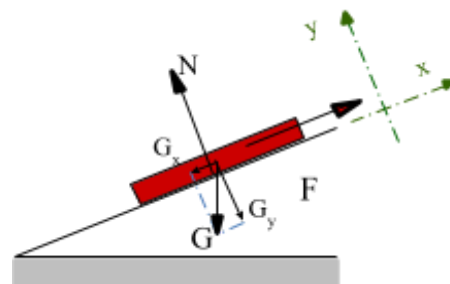
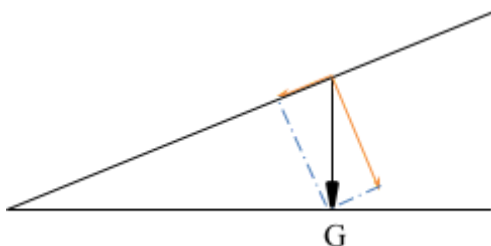
במקרה האחד התופעה הייתה כוח. בדוגמא האחרונה התופעה הייתה מהירות. וכעת ראינו כי התנהגות שתי התופעות דומה! האם נוכל להיעזר בדמיון זה כדי לנתח את התופעה?

עוצמה – נניח שאנחנו יודעים למדוד. אולם כיצד נמדוד כיוון?

כדי למדוד כיוון אנחנו משתמשים בזווית. אבל כדי למדוד זווית, צריך להגדיר שני קווים שביניהם הזווית תימדד. אחד מהקווים בוודאי יהיה קו הפעולה (קו פעולת ההשפעה או קו מגמת הפעולה). במקרה הזה קו הפעולה הוא קו ההתקדמות. הקו האחר (גם לכוחות וגם למהירויות) תלוי בגוף או בעצם, שעליו אנחנו רוצים למדוד את ההשפעה. כאשר מדובר בנסיעה מול קיר, קו הייחוס האחר יהיה, למשל, קו פני הקיר.

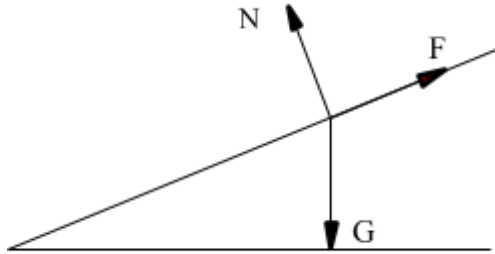


הכוחות, הזווית, וקווי הייחוס בתיאור משאית על מישור משופע



דג"ח של הכוחות על משאית במערכת צירים צמודת שיפוע הגדלה של המשולש עם הזווית

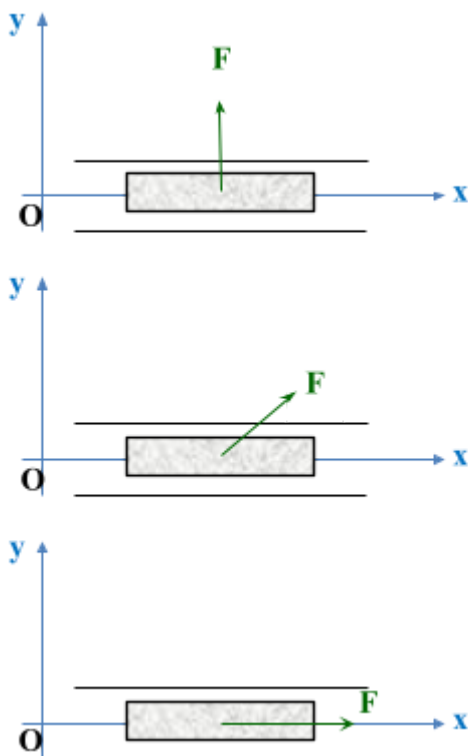
משימה:



העתק את התרשים ובצע את השלבים של העתקה והחלקה של הכוחות כדי למצוא את עוצמת השקול F_{Eq} וכיוונו בדרך גרפית.

והנה עוד דוגמא:

נתאר לעצמנו קרון המונח על מסילת רכבת. תכונתה של מסילת רכבת היא לאפשר תנועה בכיוון הנסיעה, ולמנוע לחלוטין תנועה לרוחבה של המסילה (כלומר, בניצב לכיוון הנסיעה). נניח שאנחנו מפעילים כוח על הקרון כדי לגרום לתנועתו. אנחנו יכולים להפעיל את הכוח בניצב לפסי הרכבת, במקביל להם, או בכל אחד מתוך איך-סוף מצבי הביניים. נתאר זאת בציור:



לכוח, F , המושך את הקרון, המיוצג על-ידי **החיצים**, יש עוצמה זהה כמתואר בשלושת התרשימים.

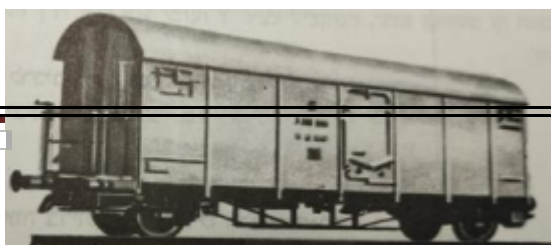


באיזה מקרה מתקבלת מהירות נסיעה מרבית, קטנה או אפסית? מה הסיבה לכך שכוחות זהים בעוצמתם, המופעלים על אותו קרון, גורמים להשפעות שונות?

התשובה נובעת, כמובן, מכיוון הפעלת הכוח!

כאשר הכוח מופעל במקביל לפסי הרכבת, כל הכוח מנוצל לצורך יצירת תנועה בכיוון המצוין על-ידי ראש החץ. כאשר הכוח מופעל בניצב לפסים, הפסים מחזיקים את הקרון ומונעים את תנועתו. ובמצבי הביניים?

במצבים אלו רכיב (בעמוד הבא נרחיב על המילה "רכיב") אחד של הכוח מנוצל לדחיפת הקרון, ורכיב אחר דוחף את הקרון כנגד הפסים המחזיקים אותו.



לוגי
מצרע

קרון על מסילה

כיצד נוכל להגיע למסקנות אלו בצורה מסודרת ושיטתית?

רכיבי הכוח:

כדי לארגן את המחשבה, נשים קודם כל את מערכת הצירים על הציור. תפקידה של מערכת הצירים – להראות את הכיוונים החשובים בתופעה שאנחנו מנתחים. למשל: במסילת הרכבת אחד הכיוונים החשובים הוא כיוון הנסיעה. נסמן כיוון זה על-ידי ציר, ונקרא לו ציר x . כיוון אחר, חשוב לא פחות, הוא הכיוון לרוחב המסילה (הכיוון הניצב או הכיוון המאונך לכיוון שסימנו באות x). נסמן גם כיוון זה בציר ונקרא לו y .

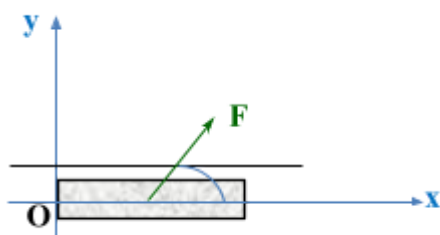
ראינו כי כאשר הכוח פעל בניצב לקרון, המסילה התנגדה לכוח, והקרון לא זז: לא בכיוון X ולא בכיוון y . ואילו כשמשכנו את הקרון על-ידי כוח בכיוון ציר x , הקרון זז במלא תנופתו. במצב ביניים חלק מהכוח תרם לתזוזת הקרון (עובדה – הקרון זז!), וחלק מהכוח "הלך לאיבוד" (גם כן עובדה – הקרון זז, אבל פחות מאשר כשמשכנו אותו בכיוון ציר x). בעצם הכוח לא "הלך לאיבוד", אלא המסילה לא איפשרה למלוא עוצמתו לבוא לידי ביטוי בהזזת הקרון.

כאשר רק חלק מהכוח גורם להשפעה בכיוון מסוים, אנחנו מכנים חלק זה של הכוח בשם רכיב. אבל מכיוון שכוח אף פעם לא הולך לאיבוד, תמיד יהיו שני רכיבים (לפחות בבעיות שאנחנו נטפל בהן הקרויות "בעיות מישוריות" – ב"בעיות מרחביות" – בעלות שלושה ממדים – יהיו שלושה רכיבים).

**כל כוח ניתן להמיר לשני רכיבים.
הפועלים בכיוון צירי המערכת.**

אמנם ניתן לפרק כל כוח
אולם יש שני מקרים, שלא כדאי לפרק אותם לרכיבים. התוכל לצייןם? (כל פעם שאנחנו שואלים שאלה אנחנו מדמינים שאתם חושבים במשך 10 שניות על התשובה לפני שתקראו את התשובה בפסקה הבאה...)

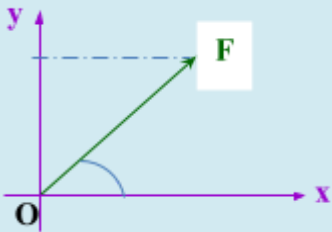
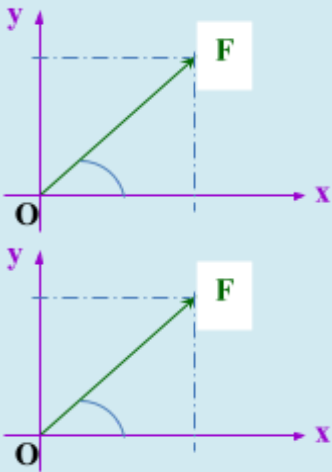
המקרה האחד הוא כשכיוון הכוח מתלכד עם כיוון ציר x . במקרה זה יהיה גודל הרכיב בכיוון y שווה בדיוק לכוח, ואילו הרכיב הניצב, רכיב ה- y , יהיה שווה בדיוק לאפס.



במקרה האחר הכוח פועל בכיוון ציר y , לכן גודל הרכיב בכיוון y יהיה שווה בדיוק לגודל הכוח עצמו וגודל הרכיב בכיוון x יהיה שווה לאפס.

נצייר את מערכת הצירים ואת הכוח F (שימו לב, הזזנו את ציר y לראשית הצירים (נקודה O) הנמצאת במרכז המלבן שמתאר את הקרון) וכיוונו המיוצג על-ידי הזווית α :

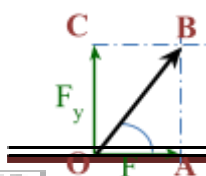
כעת נראה איך מוצאים באופן מעשי, את חלוקת הכוח F לרכיביו:

	1. נמתח קו מקווקו (כחול) המקביל לציר x ועובר דרך ראש החץ המייצג את הכוח F.
	2. נמתח קו מקווקו אחר (כחול), המקביל לציר y ועובר אף הוא דרך ראש החץ. קיבלנו מלבן. צלעותיו בכיוונים x ו-y ואלכסונו הוא הכוח F, שאותו רצינו לפרק לרכיבים.
	3. הצלע המונחת על ציר x, היא רכיב הכוח בכיוון ציר x ונסמנה בסימון (F_x), והצלע המונחת על ציר y היא רכיב הכוח בכיוון ציר y (ונסמנה בסימון (F_y)).

אולם כדי לציין שהצלעות מייצגות כוחות ויש להן כיוון – ולא רק גודל, הוספנו לקווים ראשי חיצים וגם צבענו אותם **בירוק** כדי להדגיש שאלו רכיבי הכוח F .

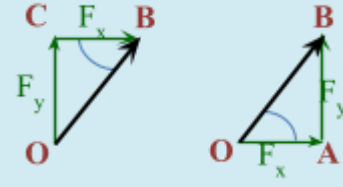
ניזכר בשיעורי ההנדסה שלמדנו לפני הרבה מאוד שנים (בערך לפני חודשיים...): הצורה שקיבלנו היא מלבן. אחת מתכונותיו המיוחדות של המלבן היא, שכל זוג צלעות נגדיות – שוות (צלעות נגדיות נמצאות זו מול זו). נפריד את המלבן ממערכת הצירים ונסמן את קודקודיו באותיות (כן בדיוק כמו בגיאומטריה אותה המציאו המהנדסים הקדמונים ביוון כדי לפתור בעיות הנדסיות).

הצלעות השוות הן: $OC=AB$ $OA=CB$



מאחר שהצלעות שוות אז אפשר את החץ הירוק OC להעביר לצלע המקבילה, הנגדית והשווה AB או להעביר את החץ הירוק OA לצלע CB. כלומר, ניתן להציג את הפירוק של הכוח לרכיביו ישרי הזווית בשני אופנים שונים (האם צורת ההצגה של פירוק כוח לרכיבים מזכירה לך משהו?):

ראינו, בעמוד 27, כיצד **מתברים** שני כוחות בזווית כלשהי, כדי למצוא את הכוח השקול. וכאן פירקנו את הכוח לשני רכיבים, אבל בעצם העיקרון דומה! במקום לומר שאנחנו מפרקים את הכוח F לשני רכיבים, אנחנו יכולים לומר שהכוח F הוא השקול של הרכיבים F_x ו- F_y .



אכן השקול ורכיביו הם שני צדדים של אותו משולש! אנחנו יכולים לבחור האם לחבר את הכוחות לשקול אחד – או לפרק כוח יחיד לרכיביו. הכל בהתאם לנוחות שלנו ולמעשה לצרכי התכנון שלנו. חשיבות מיוחדת לפירוק כוח לרכיביו ישרי הזווית בגלל תכונה אחת מיוחדת: כוחות מאונכים (יש ביניהם זווית ישרה – 90°) זה לזה, אין להם רכיבים האחד בכיוון האחר! המשמעות היא שכוחות המאונכים זה לזה, אינם משפיעים זה על זה. לכן כשמפרקים כוח לרכיביו ישרי הזווית, ניתן לבדוד את ההשפעות השונות בכיוונים השונים של כל רכיב ורכיב.

אם נרצה למצוא שקול של שני כוחות בלבד ניתן להשתמש בשיטת משולש הכוחות ובעזרת משפט הסינוסים למצוא את השקול. אולם בהנדסה קיימים מקרים רבים בהם יש יותר משני כוחות חיצוניים ולכן, השיטה של הפרדה לרכיבים וחיבורם ומציאת השקול של הרכיבים בנפרד מתאימה לכל המקרים בהנדסה.

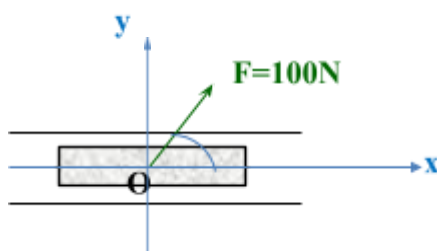
כיצד מחשבים שקול כוחות זה?

בדיוק על כך אנחנו מרחיבים בעמודים הבאים.

אולם לפני כן נסיים חלק זה בכך שניתן לך משימה:

משימה:

באיור המוכר שלפניך הוספנו את עוצמת הכוח, $F=100\text{N}$.



חשב את הערכים של רכיב הכוח בכיוון ציר x ואת רכיב הכוח בכיוון ציר y כאשר הזווית משתנה:

1. $\alpha = 30^\circ$

2. $\alpha = 45^\circ$

3. $\alpha = 60^\circ$

ניתן לבנות גיליון אלקטרוני, Excell, בו תכניס את גודל הכוח, את הזווית ואת הנוסחה לשני הרכיבים בשתי העמודות הבאות בהן יחושבו עוצמות רכיבי הכוח עבור כל אחד מהזוויות הנתונות.