



החומר מערכת וכוחות או:

מה קורה כאשר פיל עולה על
גלגש?

חלק ב: מושגי יסוד
בסטטיקה

ב3: הרבים והיחיד –
הכוחות והשקול



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

הרבים והיחיד – הכוחות והשקול

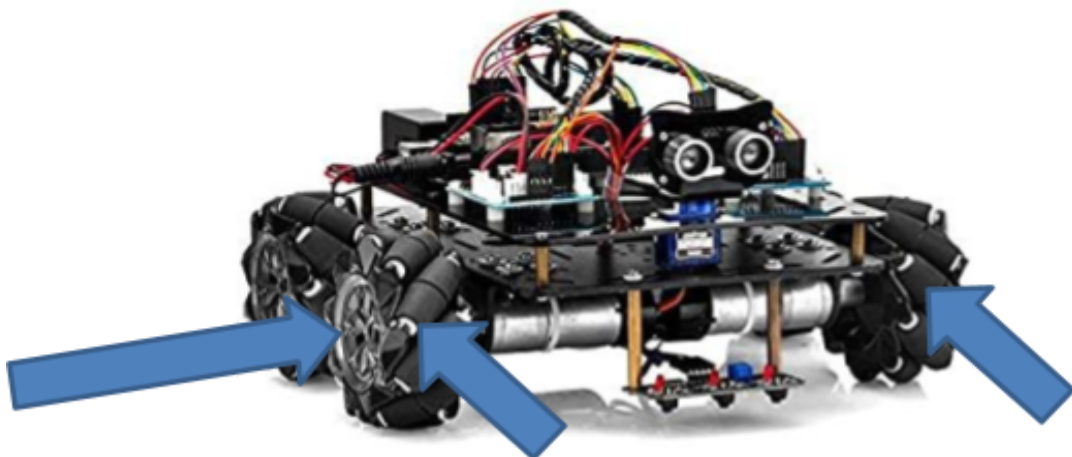
כפי שראינו לדג"ח חשיבות מרכזית בכל נושאי המכניקה - כל ניתוח של מצב מכני מתחיל בדיאגרמת גוף חופשי! הדיאגרמה מאפשרת לראות בבירור את כל ההשפעות הנפרדות על כל תת-מערכת. בעזרתה ניתן גם למצוא ולחשב את ההשפעה הכוללת של סך כל הכוחות, הפועלים על המערכת.

מהו "סך כל"? זה? מהיכן הוודאות שאכן יש מין "סך כל" כזה?

ובכן במציאות פועל כל כוח בפני עצמו, בלי התחשבות בכוחות אחרים, אבל ההשפעה של הכוחות אינה נפרדת! כדי להסביר זאת נניח, שהגוף יכול לזוז בהשפעת הכוחות: כל כוח גורם לדחיפה או למשיכה של הגוף בכיוון שבו הכוח פועל (זוהי, בעצם, המשמעות של קו פעולת הכוח - המגמה). אבל אפילו אם הגוף נתון להשפעה של כמה כוחות, עדיין גוף יחיד אינו יכול לזוז למספר כיוונים בו זמנית!

משימה: הזזת ספר בעזרת שני כוחות בכיוונים שונים

נסו להפעיל, על הספר שלכם כוח אחד בכיוון ציר x ובאותו רגע גם כוח שני בכיוון ציר y. האם הספר נע בכיוון אחד מהצירים או שהוא נע לכיוון חדש? לאיזה כיוון ינוע הרובוט שבתמונה? גלגלי המכאנום שלו (Mecanum) מאפשרים תנועה גם בכיוון הניצב לכיוון התנועה המקורי.



גם בהשפעת הפעולה של כמה כוחות יכול גוף יחיד לזוז בכיוון אחד בלבד! לכן, ניתן להתייחס לסך כל ההשפעה, שיש לכל הכוחות הפועלים על הגוף, כאל השפעה יחידה.

השפעה יחידה זו, השקולה (כלומר, שווה, ניתנת להמרה) כנגד סך כל הכוחות הפועלים על הגוף, נקראת סכום כל הכוחות, או שקול הכוחות, או הכוח השקול, ובקיצור השקול. לכוח השקול יש עוצמה וכיוון, שהם העוצמה והכיוון של ההשפעה הכוללת של כל הכוחות הפועלים על הגוף.

כוח שקול - מהו?

ובמקרה שלנו?

במקרה שלפנינו פועל כוח אחד כלפי מטה, ושני כוחות תגובה כלפי מעלה. הכוח כלפי מטה הוא כוח הכובד, הפועל על המשא (הפיל הרוכב על הגלגש) ומועבר באמצעותו אל בסיס הגלגש.



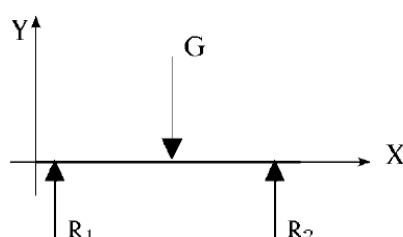
והכוחות כלפי מעלה? אלו הם כוחות התגובה (Reaction) שמפעילה הרצפה על הגלגלים בתגובה לכוח שהגלגלים מפעילים על הרצפה - אותו כוח שנמסר להם מהגלגש העמוס במשא.

אילו לא היו פועלים שני כוחות אלו, מן הסתם היית שוקע דרך הקרקע וממשיך וחודר - יחד עם גלגשך - בלי לעצור לתוך כדור-הארץ (דרך אגב, כנראה שממש למרכז לא היית מגיע, ובוודאי שלא היית יכול לחזור ולספר על כך מאחר וטמפרטורת פנים כדור-הארץ מגיעה לאלפי מעלות - מספיק כדי להעניק בישול הגון לכל מבקר מזדמן...).



נחזור כעת למציאות: הגלגש אינו חודר לתוך כדור הארץ, וגם לא עף מעלה. כלומר, שקול הכוחות על הגלגש שווה אפס. טוב ויפה, אך כיצד נסמן זאת???

הנה כך:



הסימן הזה F_{eq} - הוא הסימן לשקול הכוחות. האותיות eq הן קיצור של המילה שקול - Equivalent. סימן החץ $\rightarrow$ מעל F מציין שלגודל

$$F_{eq} = 0 \implies -G + R_1 + R_2 = 0$$

משרד החינוך, המינהל לחינוך טכנולוגי, רחוב
אתר המגמה, פורטל חומרי לימוד; מוקד מקצוע; ני

הזה ישנו גם כיוון, כחלק בלתי נפרד ממנו (כל "משהו" שיש לו גם גודל וגם כיוון נקרא בשם "וקטור" ומסומן בחץ מעל האות). בחרנו באופן שרירותי, את סימנו של הכוח G כשלילי, ואת סימנם של כוחות התגובה כחיובי.

נסכים מעתה והלאה, כי תמיד נסמן את הכוחות כלפי מרכז כדור הארץ בסימן "מינוס" (=שלילי) ואת הכוחות שפועלים כלפי מעלה (בכיוון החיובי של ציר ה-Y בסימן "פלוס" (=חיובי)).

שקול של כוחות מקבילים

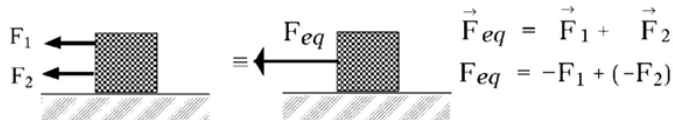
ראשית נגדיר:



הציור הזה מתאר מערכת צירים קרטזית (צירים מאונכים = מערכת צירים ניצבת) ימנית (הכיוון החיובי של ציר x כלפי צד ימין והכיוון החיובי של ציר y כלפי מעלה), לכל הציורים.

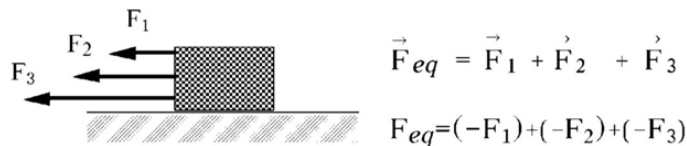
עתה נתבונן במספר סידורים אפשריים של כוחות, ונמצא את השקול שלהם:

ראשית נתבונן במקרה של שני כוחות



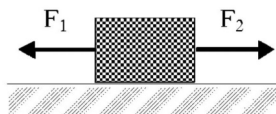
בקו פעולה אחד:

כעת בשלושה כוחות באותו כיוון:

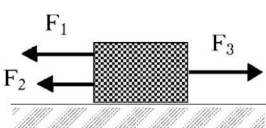


סימן המינוס בא להראות, שהכוחות מכוונים לצד שמאל, לפי כללי מערכת צירים ניצבת ימנית (ימין שווה חיובי, שמאל שווה שלילי).

ולכן מרגע זה נפסיק לרשום את סימן הוקטור (סימן החץ $\rightarrow$) מעל האות F אלא ישר נכתוב את עוצמת הכוח עם הסימון הנכון (חיובי "+" או שלילי "-")



שני כוחות מנוגדי כיוון (אבל על אותו קו פעולה): $F_{Eq} = F_2 - F_1$



שלושה כוחות מנוגדי כיוון: $(F_{Eq} = F_3 - (F_1 + F_2))$

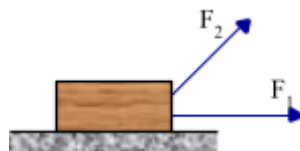
הערה:

בכל הציורים הכוחות מסומנים על-ידי חיצים. והאות ליד החץ מציינת את עוצמת הכוח בלבד.

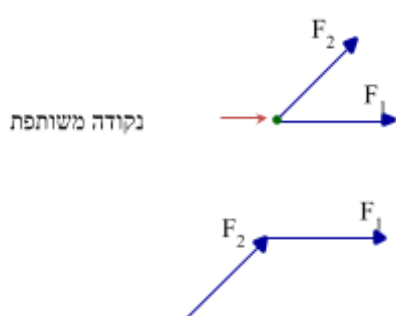
שקול כוחות בעלי קו פעולה נחתך

אנחנו רוצים למצוא את השקול של כוחות שקו הפעולה של כוח אחד יכול לחתוך את קו הפעולה של כוח האחר ולהיפגש בנקודה משותפת באופן כזה שהכוחות נמצאים בזווית האחד כלפי השני.

דוגמא 1:



שלב א':

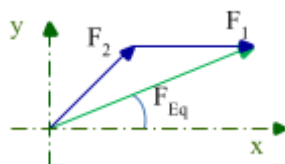


מביאים את הכוחות לנקודה משותפת. פעולה זו נקראת "החלקה" כלומר מושכים אותם לאורך קו פעולתם (מחליקים חץ אחד עד שהוא נפגש עם הזנב של חץ שני) או שמאריכים את הזנבות של שני החיצים עד שהם נפגשים.

שלב ב':

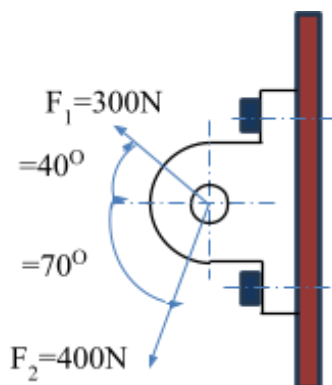
מעתיקים את אחד החיצים כך שזנב החץ נוגע בראש החץ האחר.

שלב ג':



מודדים את אורך החץ המחבר את זנב החץ האחד עם ראש החץ האחר, כיוון החץ תמיד מהזנב של החץ האחד לראשו של החץ האחר. הגודל הנמדד מייצג את עוצמת הכוח השקול F_{Eq} . את כיוון הכוח השקול מייצגת הזווית γ , היא הזווית בין הכוח השקול לציר x .

דוגמא 2:



נדרש לחשב בצורה גרפית את העוצמה והכיוון של שקול שני הכוחות, המופעלים על וו ההרמה בציור. גודל הכוחות וכיוונם מופיעים בשרטוט. כדי לחשב בצורה גרפית חייבים לשרטט את הציור בקנה מידה כך ש: $10\text{mm} = 50\text{N}$. מומלץ שתבצע את שלבי הפתרון תוך כדי שאתה קורא את מה שאנחנו ביצענו, שלב אחר שלב.

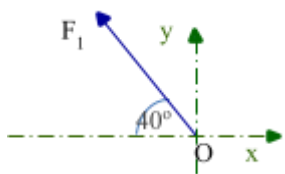
פתרון:

שלב א': משרטטים מערכת ייחוס
(מערכת צירים ניצבת ימנית).



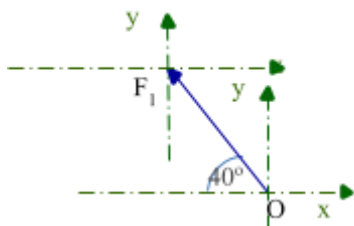
שלב ב':

משרטטים את הכוח F_1 לפי קנה המידה (קנ"מ) הנתון. עוצמת הכוח $F_1=300\text{N}$ לכן אורך החץ שנשרטט יהיה 60mm, בזווית של 40° כמתואר בציור.



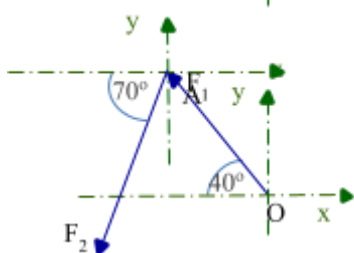
שלב ג':

בראש החץ המשורטט מציבים מערכת
צירים נוספת כמתואר בציור:



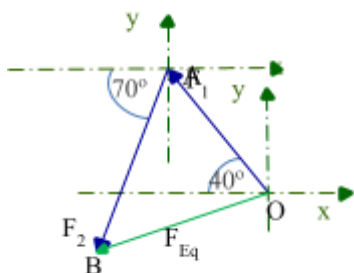
שלב ד':

כעת מעתיקים את הכוח האחר (F_2) אל קצהו של F_1 (נקודה A).
עוצמת הכוח $F_2=400\text{N}$ לכן אורך החץ שנשרטט יהיה 80mm , בזווית של 70° כמתואר בציור.



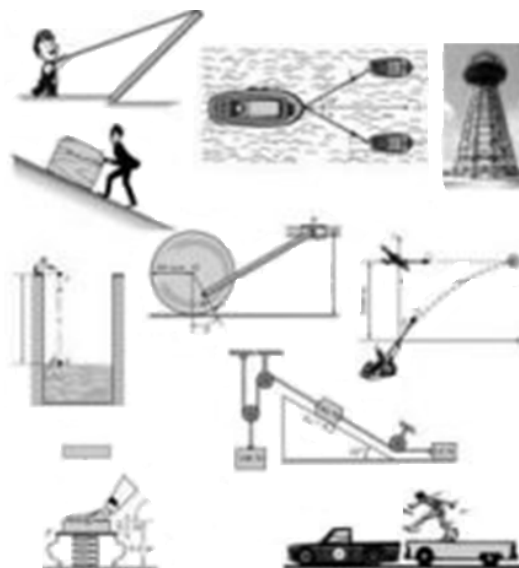
שלב ה':

נחבר את זנב החץ האחד נקודה O עם ראש החץ האחר (נקודה B) ונקבל את עוצמת הכוח השקול (אורך החץ המתקבל) ואת כיוונו (הזווית γ) שהיא הזווית בין הכוח השקול לציר האופקי. נשאר לך את ביצוע המדידות האלה למציאת עוצמת הכוח השקול וכיוונו.



משימה:

סמן בצבע אדום את הכוחות החיצוניים שלדעתך פועלים במערכות המתוארות באיורים.

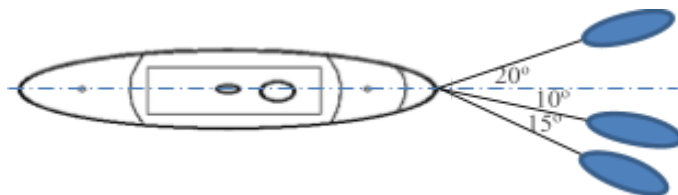


תרגילי סיכום:

לפניך שלוש שאלות, בכל אחת מהן עליך למצוא את עוצמת השקול ואת כיוונו.

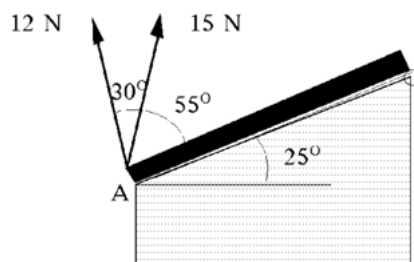
תרגיל 1:

אוניית נוסעים נגררת לנמל על-ידי 3 ספינות גוררות הקשורות אליה בכבלים, כמתואר בציור. המתיחות בכל כבל היא: $T=2500\text{N}$. מצא בדרך גרפית את עוצמת השקול ואת כיוונו.



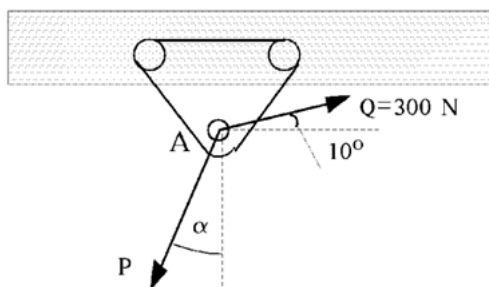
כלומר: מה תהיה המתיחות בכבל (שקול), אילו גררה רק ספינת גרר אחת את הספינה ומה כיוון שיוטה?

תרגיל 2:



מרימים מכסה של תיבה על-ידי שני כוחות כמתואר בציור. מצא בדרך גרפית את שקול שני הכוחות ואת כיוונו.

תרגיל אתגר:



חשב, בדרך גרפית, את ערכו של הכוח P ואת כיוונו, אם ידוע שהשקול של P ושל כוח נוסף, $Q=300\text{N}$, הוא כוח שעוצמתו $F_{eq}=900\text{N}$, כיוונו אנכי כלפי מטה ומקום פעולתו בנקודה A .