

כיצד פועל הטריבושה?

כדי להבין כיצד פועל הטריבושה, עלינו להכיר את **עקרון פעולתו של המנוף**. עיקרון זה מבוסס על היחס בין אורכי שתי הזרועות של המנוף: המרחק מנקודת המשען (ציר הסיבוב) אל המקום שבו מופעל הכוח (מיקום המשקולות בטריבושה). שינוי היחס בין אורכי הזרועות יוצר פשרה בין כוח למהירות: קצה הזרוע הקצרה, שעליה נמצאת המשקולת הכבדה, נעה לאט ועל פני מרחק קצר, קצה הזרוע הארוכה נעה מהר יותר ועוברת קשת גדולה בהרבה באותו זמן סיבוב, שכן קצה רחוק יותר מהציר תמיד עובר קשת ארוכה יותר מקצה קרוב אליו. כך למשל, אם זרוע הקלע ארוכה פי שלושה מזרוע המשקולת, קצה זרוע הקלע ינוע במהירות קווית הגדולה פי שלושה מזו של קצה זרוע המשקולת — וזו בדיוק הסיבה שבטריבושה ממקמים את הקלע על הזרוע הארוכה: כדי לנצל את המהירות הגבוהה המתקבלת בקצה הרחוק, ולשגר אותו למרחק רב.

1. מהו מנוף?

המנוף הוא **מכונה פשוטה** המורכבת ממוט קשיח היכול להסתובב סביב נקודת משען (ציר סיבוב).

כאשר מפעילים כוח על צד אחד של המנוף, גם הצד השני נע. באמצעות בחירה מתאימה של אורכי שני צדי המנוף אפשר לקבל יתרונות שונים: לפעמים קל יותר להרים משא כבד, ולפעמים אפשר לגרום לקצה המנוף לנוע במהירות גבוהה מאוד.

בטריבושה אנחנו מעוניינים בעיקר במהירות גבוהה של הקלע.

2. מה משפיע על פעולת המנוף?

שני המרחקים החשובים ביותר במנוף הם:

- **זרוע המאמץ** – המרחק בין נקודת המשען לבין המקום שבו מופעל הכוח.
- **זרוע העומס** – המרחק בין נקודת המשען לבין המקום שבו פועל העומס.

בטריבושה:

- המשקולת מפעילה את הכוח (המאמץ).
- הקלע נמצא בצד השני של המנוף (העומס).



שינוי מיקום הציר משנה את אורכי שתי הזרועות, ולכן משנה גם את אופן פעולת הטריבושה.

3. כיצד המנוף פועל?

חשבו על דלת: האם קל יותר לפתוח אותה כשדוחפים ליד הידית, או כשדוחפים קרוב לצירים? התשובה המוכרת היא שקל יותר ליד הידית.

הסיבה לכך נובעת ממרחקים – הידית ממוקמת רחוק יותר מציר הסיבוב. לכן, הפעלת אותו כוח בדיוק במרחק גדול יותר מהציר מאפשרת ליצור סיבוב קל ויעיל בהרבה.

מהדוגמה הזו אפשר ללמוד שלא רק גודל הכוח קובע עד כמה גוף יסתובב סביב ציר, אלא גם **המקום** שבו מפעילים את הכוח. כאשר מפעילים את אותו כוח רחוק יותר מציר הסיבוב, קל יותר לגרום לגוף להסתובב.

כלומר, היכולת של כוח לסובב גוף תלויה בשני גורמים:

- גודל הכוח.
- המרחק בין נקודת הפעלת הכוח לבין ציר הסיבוב.

הגודל הפיזיקלי שמתאר את הקשר הזה נקרא **מומנט (נסמנו ב M)**. המומנט שווה למכפלת גודל הכוח (F) באורך הזרוע (R). אורך הזרוע מוגדר כמרחק הניצב לכיוון הפעלת כוח לבין נקודת ציר הסיבוב. המשמעות הפיזיקלית היא שכלל שנקודת הפעלת הכוח רחוקה יותר מציר הסיבוב, אותו כוח בדיוק יצור מומנט חזק יותר. נוסחת המומנט שווה ל

$$M = F \cdot R$$

M- מומנט

R- מרחק הניצב לכיוון הפעלת הכוח לבין נקודת ציר הסיבוב

F- גודל הכוח

לסיכום: המומנט תלוי לא רק בגודל הכוח אלא גם במרחק מנקודת ההפעלה לציר הסיבוב. כאשר מאריכים את זרוע המנוף, מתקבל מומנט גדול יותר עבור אותו הכוח, והזרוע יכולה להסתובב בקלות רבה יותר.

בטריבושה, כאשר זרוע הקלע ארוכה יותר ביחס לזרוע המשקולת, קצה זרוע הקלע נע במסלול גדול יותר (הקשת גדולה יותר) מאשר צד המשקולת. מכיוון ששני הצדדים

מסתובבים סביב אותו ציר ובאותו פרק זמן, הקצה שנמצא רחוק יותר מציר הסיבוב חייב לנוע **במהירות גבוהה יותר** (כי עליו לעבור מרחק גדול יותר באותו הזמן). מהירות גבוהה זו של הקלע גורמת לכך שהקליע משתחרר מהר יותר ויכול להגיע למרחק רב יותר (בהנחה שזווית השיגור נשארת קבועה).

נסכם

בטריבושה המטרה אינה להרים משא כבד בקלות, אלא **לזרוק קליע במהירות גבוהה מאוד**. לכן הטריבושה בנוי בצורה הפוכה לדלת:

1. **צד המשקולת (זרוע קצרה):** משקולת כבדה מאוד מפעילה כוח כובד גדול במרחק קצר מהציר. היא מייצרת את המומנט שמסובב את המערכת.
2. **צד הקלע (זרוע ארוכה):** הקליע הקל ממוקם בקצה הזרוע הארוכה.

מכיוון ששני צדי המנוף מסתובבים יחד סביב אותו ציר באותו פרק זמן, הקצה שנמצא בזרוע הארוכה עובר מרחק גדול בהרבה בזמן קצר. **התוצאה:** הקליע מקבל מהירות קווית גבוהה מאוד ומשתחרר למרחק רב.

הטריבושה מוותר על היתרון המכני בכוח (שזרוע קצרה הייתה מספקת) — ובתמורה מרוויח במהירות: מכיוון שהקורה קשיחה, שתי הזרועות מסתובבות תמיד יחד ועוברות, באותו פרק זמן בדיוק, את אותה זווית סיבוב. אך קצה הזרוע הארוכה יותר עובר, עבור אותה זווית סיבוב, קשת ארוכה יותר — ולכן קצה זרוע הקלע חייב לנוע מהר יותר כדי לעבור את הקשת הארוכה שלו באותו הזמן שבו קצה זרוע המשקולת עובר קשת קצרה משלו. זוהי בדיוק המהירות הגבוהה, יחד עם זווית השחרור, שקובעת את טווח השיגור של הקלע.

השפעת שינוי מסת הקלע על מהירות הקלע

חשוב לזכור כי פעולת הטריבושה מבוססת על מאבק בין שני מומנטים הפועלים בכיוונים מנוגדים: המומנט שיוצרת המשקולת (השואף לשוב את הזרוע) והמומנט שיוצר הקלע (המתנגד לסיבוב זה).

ההפרש בין שני המומנטים הללו (המומנט השקול) הוא שמאיץ את סיבוב הזרוע. ככל שהמומנט השקול גדול יותר, הזרוע תגיע לתאוצה גבוהה יותר ותעניק לקלע מהירות יציאה גבוהה יותר.

השפעת מסת הקלע:

- **קלע כבד:** יוצר מומנט מתנגד גדול ומגדיל את ההתנגדות של המערכת לתאוצה (התמד). התוצאה היא תאוצה נמוכה ומהירות שיגור קטנה.
- **הקטנת מסת הקלע:** מקטינה את המומנט המתנגד ואת ההתנגדות לתאוצה. כתוצאה מכך, המומנט של המשקולת מצליח להאיץ את הזרוע במהירות רבה יותר, והקלע מגיע למהירות שיגור גבוהה יותר.

מתי וכיצד הקלע משתחרר מהטריבושה?

כדי להבין כיצד הקלע עוזב את הטריבושה, עלינו להתבונן ב**כוחות המגע** הפועלים בין הקורה לקלע. הקורה מפעילה על הקלע שני כוחות:

1. **כוח דחיפה קדימה (נורמל):** הקורה דוחפת את הקלע ומאיצה אותו.
2. **כוח חיכוך:** מנסה למנוע מהקלע להחליק החוצה לאורך הקורה תוך כדי הסיבוב.

מדוע הקלע מתנתק?

כאשר הטריבושה מתחיל להסתובב, הכפית דוחפת את הקלע והוא נע יחד איתה. בנוסף לדחיפה, יש גם **חיכוך** בין הקלע לכפית, שמונע ממנו להחליק על גבי הכפית.

אפשר לדמיין תיק שמונח על רצפת אוטובוס. כל עוד הנהג מאיץ או בולם בעדינות, החיכוך בין התיק לרצפה מספיק כדי שהתיק יישאר במקומו. אבל אם הנהג יאיץ או יבלום בפתאומיות, החיכוך כבר לא יספיק, והתיק יתחיל להחליק על הרצפה.

כך קורה גם בטריבושה. בתחילת התנועה החיכוך מספיק כדי שהקלע ינוע יחד עם הכפית. אולם במהלך הסיבוב משתנים הכוחות שפועלים על הקלע. בשלב מסוים נדרש חיכוך גדול יותר מזה שהכפית יכולה לספק. מרגע זה הקלע מתחיל להחליק על הכפית.

לאחר שהקלע מחליק עד לקצה הכפית, הוא מתנתק ממנה וממשיך לנוע באוויר.

מועד ההתנתקות תלוי בכמה גורמים, ובהם:

- מידת החיכוך בין הקלע לכפית.
- מסות הקלע והמשקולת.
- מיקום הציר.
- הזווית שבה מתחיל השיגור.

ככל שהחיכוך בין הקלע לכפית גדול יותר, קשה יותר לקלע להחליק. לכן הוא נשאר על הכפית זמן רב יותר ומתנתק בזווית גדולה יותר. כאשר החיכוך קטן יותר, הקלע מתחיל להחליק מוקדם יותר ולכן מתנתק מוקדם יותר עוד לפני שהקורה מגיעה למצב אנכי. אם החיכוך גדול מאוד, ייתכן שהקלע כלל לא יחליק על הכפית. במקרה כזה הוא יישאר צמוד אליה עד לרגע שבו הכפית כבר אינה דוחפת אותו (במצב 90 מעלות), ואז הוא יתנתק וימשיך לנוע באוויר.

ממודל תיאורטי למציאות: מדוע תוצאות הניסוי מפזרות?

המודל הפיזיקלי שביססנו עד כה, עוזר לנו להבין את מנגנוני היסוד של המערכת, אך המציאות במעבדה מורכבת בהרבה: שינויים זעירים במיקום ההתחלתי של הקלע, חיכוך משתנה לאורך הכפית, מבנה הכפית, רעידות של המבנה ואף חיכוך עם האוויר – כל אלה משפיעים על נקודת הנתק.

כתוצאה מכך, כאשר נחזור על הניסוי מספר פעמים באותם תנאים, נקבל פיזור של תוצאות ולא תוצאה יחידה וקבועה.

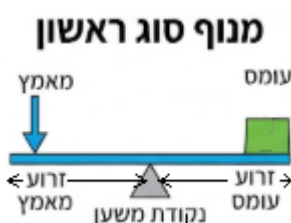
ניתוח נתונים הוא הכלי שלנו להתמודד עם אי הוודאות בניסוי: הוא עוזר לנו להסתכל על כל התוצאות שקיבלנו, לחשב ממוצעים ולהבין מה בעצם קרה באמת – גם כשיש רעשים ותוצאות שלא נראות בדיוק אותו דבר.

הידעת?

הטריבושה שלנו משתמש במנוף מסוג ראשון, שבו נקודת המשען נמצאת בין הכוח המופעל לבין העומס. אך האם ידעתם שקיימים עוד שני סוגי מנופים? ההבדל ביניהם תלוי אך ורק במיקום של שלושת הרכיבים: **נקודת המשען, הכוח המופעל (מאמץ) והעומס.**

הנה הדרך הקלה לזהות אותם לפי מה שנמצא בין:

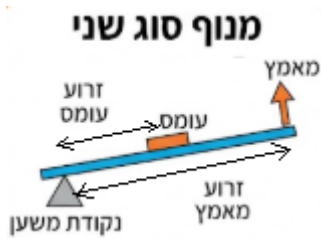
1. מנוף מסוג ראשון (המשען בין הכוח המופעל לבין העומס)



- **מה קורה כאן?** נקודת המשען (הציר) נמצאת בין הכוח שאנחנו מפעילים לבין העומס שאנחנו מרימים.
- **למה זה טוב?** מאפשר לשנות כיוון כוח (כמו בנדנדה - כשאחד עולה השני יורד) ויכול להגדיל כוח או מהירות.

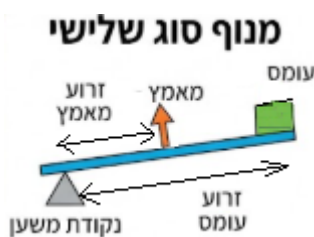
- **דוגמאות:** נדנדה, מספריים, מזמרה, וכמובן – הטריבושה שלנו.

2. מנוף מסוג שני (העומס בין נקודת המשען לבין הכוח)



- **מה קורה כאן?** אנחנו מפעילים כוח בקצה אחד, נקודת המשען נמצאת בקצה השני, והעומס נמצא ביניהם (ב"אמצע").
- **למה זה טוב?** המנוף הזה תמיד נותן לנו "בנוס" של כוח – הרבה יותר קל להרים משא כבד.
- **דוגמאות:** מריצה (המשא באמצע), מפצח אגוזים, סוחט לימונים.

3. מנוף מסוג שלישי (הכוח בין נקודת המשען לבין העומס)



- **מה קורה כאן?** נקודת המשען בקצה אחד, העומס בקצה השני, ואנחנו מפעילים את הכוח ב"אמצע".
- **למה זה טוב?** כאן אנחנו לא מנסים להרים משקל כבד, אלא רוצים מהירות, טווח תנועה ודיוק. היד שלנו פועלת בדיוק כך.
- **דוגמאות:** מלקחיים (פינצטה), חכה, מטאטא, זרוע אנושית.

טבלת סיכום והשוואה בין סוגי המנופים:

סוג מנוף	מיקום נקודת המשען, הכוח, והעומס	יתרון/חסרון מכני	שימוש עיקרי	דוגמאות
סוג ראשון	נקודת המשען בין הכוח לעומס	משתנה	שינוי כיוון, הגדלת כוח או מהירות	נדנדה, מזמרה (קאטר), לום (מוט ברזל), טריבושה.
סוג שני	נקודת העומס בין המשען לכוח	תמיד יתרון לכוח	הגדלת כוח להרמת משאות כבדים	מריצה, מפצח אגוזים, סוחט לימונים ידני.
סוג שלישי	נקודת הכוח בין המשען לעומס	תמיד חיסרון לכוח	הגדלת טווח תנועה, מהירות ודיוק	מלקחיים (פינצטה), חכה, זרוע אנושית, מטאטא.