

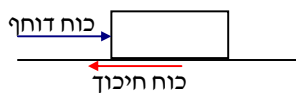
כוחות חיכוך

הכוח שמקשה עלינו לעקור גופים ממקומם

זיהוי הכוח

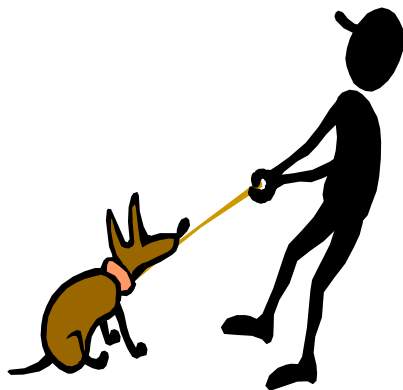


לעתים קשה לעקור דברים ממקומם. תיבה מונחת על הרצפה. אנו מבקשים לדחוף אותה. שום דבר אינו עומד בדרכה. ובכל זאת, הכוח האופקי שאנו מפעילים עליה אינו עוקר אותה ממקומה, כאילו הייתה דבוקה לרצפה. התיבה נותרת במנוחה. זה מעיד על כך שפועל עליה כוח נוסף, שמקזז את השפעת הכוח שאנו מפעילים. הכוח הזה פועל בכיוון אופקי, הפוך לכיוון הכוח שאנו מפעילים.



איזה גוף מפעיל את הכוח הזה? מי השותף לאינטראקציה הזאת? אין זו אינטראקציה ממרחק. הכוח שהארץ מפעילה ממרחק אינו פועל בכיוון אופקי. אין לנו עדות לקיום של כוחות חשמליים או מגנטיים ממרחק. מדובר, אם כן, באינטראקציה במגע. הגוף שלנו נמצא באינטראקציה רק עם הרצפה ואתנו. אנו מפעילים כוח אופקי בכיוון אחד. הרצפה מפעילה, אפוא, כוח בכיוון הנגדי. כוח זה מכונה **"חיכוך"**. הפעם הסרטוט אינו מציג זוג של כוחות באינטראקציה, אלא תרשים של הכוחות שפועלים על התיבה, כאשר כל כוח משתייך לאינטראקציה אחרת. כל זמן שהגוף נותר במנוחה, כוח החיכוך "מתאים את עצמו" כך שהוא שווה בגודלו לכוח הדוחף. מעבר לסף מסוים, החיכוך אינו מסוגל לספק כוח נגדי, והגוף נעקר ממקומו. גודלו של הסף הזה תלוי בחומרים שמהם עשויים שני הגופים המתחככים ובכוח הנורמלי. **לא נרחיב על כך בכיתה ח'.**

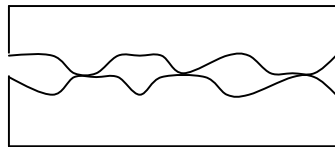
פיזיקה עם חינוך – הערה דידקטית



נתבונן בציור שלפנינו, שמקורו בערכת ה.ל.ה., שפותחה על ידי די"ר רוני מועלם. ציור זה מציג השקפה דידקטית. לפנינו אדם שיצא לטיול בוקר עם כלבו ומוצא עצמו מתקשה לעקור את הכלב מן המקום שבחר לנוח בו. השאלה היא מדוע הכלב נותר במנוחה אף על פי שפועל עליו כוח. גם כאן התשובה היא כי החיכוך שהרצפה מפעילה על הכלב, מקזז את השפעת הכוח המושך. ובכל זאת, יש הבדלים דידקטיים בהצגת הדיון. למעלה הצגנו "גוף" חסר זהות, שיוצג על ידי מלבן. גם הכוח הדוחף יוצג על ידי חץ. כל התצוגה הייתה מופשטת למדי, כפי שפיזיקאים מקצועיים נוהגים לעשות, כדי להמחיש את התוקף הרחב של הטיעון שאינו מתייחס לסיטואציה מסוימת דווקא. השימוש בסיטואציות מן החיים אמור לרכז את הטיעון המופשט, בעבור התלמיד המתחיל. השימוש בקומיקס הוא צעד נוסף בכיוון זה ("פיזיקה עם חינוך"). זה עשוי לסייע לתלמידים מתחילים, שגישה מופשטת מדי עלולה להיות מנוכרת בעבורם. אם נשמור על הזיקה שלהם לפיזיקה בדרך כזאת, יש סיכוי שיישארו בקהילת לומדי הפיזיקה, ובסופו של דבר יתוודעו גם ליתרונות ההפשטה.

הסיטואציה הזאת (שיש בה מן האנושיות ואפילו מן הכלביות) מרמזת על מורכבות המערכת המציאותית, כפי שהתלמיד מכיר אותה מחיי היומיום. אכן מופעל על הגוף כוח, אך התמונה מדגישה שיש מי שמפעיל את הכוח, ויש לדון גם בו אם רוצים להבין את המצב לאשורו. יתר על כן, בעצם אנו רואים שלושה גופים – אדם, רצועה, כלב. כאשר נציג את כל מערך הכוחות (שייוצגו על ידי חצים), נמצא זוגות כוחות של פעולת גומלין, ונמצא גם כי יש לקחת בחשבון כוחות נוספים שמופעלים על ידי גופים נוספים (ארץ, רצפה).

מקור הכוח



כדי להבין את סיבת קיומו של הכוח, עלינו להתבונן על פני החומר ברמה המיקרוסקופית. ברמה זו, גם משטחים שנראים לעין כחלקים, כלל אינם חלקים. למעשה המגע בין הגופים מתרחש על פני שטחי מגע קטנים (ביחס לשטח המגע כפי שהוא נצפה בעין). על אזורים אלה מופעל לחץ עצום (במובן היומיומי של המושג הזה, שטרם הגדרנו אותו). תחת לחץ זה האטומים שנמצאים באזור המגע, נמצאים באינטראקציה גבוהה, מן הסוג שמייצר קשרים כימיים. כאשר מבקשים להניע את אחד הגופים, יש צורך לנתק את הקשרים הללו.

כיצד מקטינים חיכוך

דרך יעילה לצמצום החיכוך היא הכנסת נוזל בין שני הגופים. נוזל צמיג מייצר שכבות נוזל בין שני הגופים. זו הסיבה שמשמנים משטחים כדי לצמצם חיכוך. כאשר אנו מחליקים על קרח, אנו ממיסים שכבת מים דקה ומעלימים את החיכוך כמעט לחלוטין.

חיכוך בתנועה – כוח מרסן וכוח מניע

החיכוך כמרסן תנועה

חיכוך אינו פועל רק למנוע עקירה של גופים ממקומם. חיכוך גם מתנגד לתנועה של גופים על פני הקרקע. זו הסיבה שכל כך קשה להבחין בתכונת ההתמדה. קשה להתמיד בעולם שבו יש חיכוך שפועל ככוח מעכב. כדי לשמור על מהירות קבועה יש צורך לספק כוח בכיוון התנועה, שיקזז את השפעת החיכוך.

חיכוך סטטי וחיכוך קינטי

בסעיפים הקודמים ראינו שתי דרכי פעולה של החיכוך. ראינו מצבים שבהם החיכוך מונע תנועה של גוף אחד ביחס לגוף שני, מפני שנוצר איחוי בין אתרים מתאימים בשני הגופים. זהו **חיכוך סטטי**. במצב של חיכוך סטטי שני הגופים נחים כאחד או נעים כאחד. החיכוך הסטטי פועל למנוע תנועה יחסית בין הגופים.

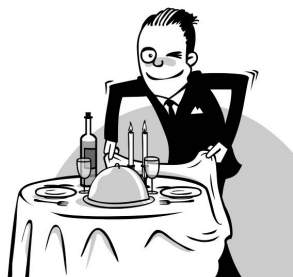
ראינו גם כי לעתים החיכוך מתנגד לתנועתו של גוף נע (ביחס לגוף שהוא במגע עמו). במקרים כאלה יש תנועה יחסית בין הגופים המתחככים. החיכוך מצמצם אותה. חיכוך זה מכונה **חיכוך קינטי**. גודל הכוח תלוי בשני החומרים שמהם עשויים הגופים המתחככים ובכוח הנורמלי. **לא נרחיב על כך בכיתה ח'.**

החיכוך ככוח מניע

קנייה במרכול מסתיימת באירוע מצער משהו. הקונה ניצב מול הקופאי. הקונה מניח את המוצרים על מסוע. המסוע הוא רצועה שאפשר להניע אותה. מדי פעם הקופאי מפעיל את המסוע. הרצועה והמצרכים שמונחים עליה, נעים יחד עד לרגע שהקופאי עוצר את המסוע. מדוע המצרכים מתחילים לנוע ברגע שבו הרצועה מתחילה לנוע? מדוע הם נעצרים יחד עם הרצועה? אם לא הייתה אינטראקציה של חיכוך, המצרכים היו אמורים להמשיך בתנועתם. התנועה המשותפת של הרצועה ושל המצרכים מעידה על קיומו של חיכוך. זהו חיכוך סטטי מפני שאין תנועה יחסית בין המצרכים לבין המסוע. זהו, אפוא, מקרה שבו חיכוך סטטי מביא גוף נח לתנועה (אך אינו עוקר אותו ממקומו ביחס לגוף השני).

משיכת מפה

דוגמה דומה נמצא במקרה שבו אנו מנסים למשוך מפה ולחלץ אותה מתחת לכלים שנמצאים עליה. מתברר שהמשימה אינה קלה. הכלים שמונחים על המפה, נעים יחד אתה הודות לחיכוך (הסטטי).



כדי להימנע משבירת כלים, יש למשוך את המפה במהירות גדולה. השינוי החד במהירות מביא לכך שכלים נעקרים ממקומם על המפה ואינם מתקדמים באותו קצב שבו המפה מתקדמת (אך פועל עליהם חיכוך קינטי שמושך אותם קדימה). אם המשיכה חדה מספיק, זמן המשיכה אינו מספיק כדי לאפשר לכלים להתקדם אל שולי השולחן (הם נעצרים על השולחן בגלל החיכוך הקינטי).

הליכה

אם אנו ניצבים על משטח חלק (קרח לדוגמה), נתקשה מאוד להניע את עצמנו. אי אפשר לעבור ממנוחה לתנועה ללא כוח חיכוך. עלינו לרתום כוח חיכוך זה. כיצד אנו עושים זאת על רצפה לא חלקה? אנו רותמים את כוח החיכוך. נבחן, אפוא, כיצד אנו מביאים את הרצפה להפעיל עלינו כוח חיכוך קדימה.



כדי ללכת אנו דוחפים את הרצפה אחורה (באמצעות הרגל שהיא חלק מאתנו). הרצפה מפעילה עלינו כוח חיכוך קדימה כחלק מאינטראקציה של חיכוך בין הרגל לבין הרצפה. בשלב הבא, הרגל השנייה נוגעת ברצפה, דוחפת אותה קדימה, והרצפה דוחפת את הרגל אחורה. זהו שלב של הקטנת המהירות (האטה), שבעקבותיו יבואו שלבים נוספים של האצה והאטה.

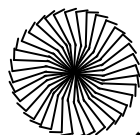
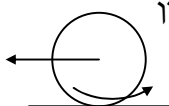
שימו לב כי הפעם זוג החצים אינו תרשים כוחות על גוף מסוים. שני הכוחות האלה פועלים על גופים שונים. זה איננו "תרשים כוחות" לגוף מסוים.

.)

נסיעה במכונית

ראינו כי כדי ללכת אנו מנצלים את החיכוך. לשם כך אנו דוחפים את הרצפה אחורה באמצעות הרגל. שתי הרגליים עוסקות במשימה הזאת, לסירוגין. במכונית, הרגליים מוחלפות בגלגלים. גלגל שנמצא בתנועה אמור להמשיך לנוע במהירות קבועה, בתוקף ההתמדה. כיצד אפשר להגדיל את המהירות או להקטין? כיצד אפשר להתגבר על כוחות חיכוך מעכבים?

נדון בשאלה כיצד אפשר לעבור ממנוחה לתנועה. כדי לעשות זאת אנו מסובבים את הגלגל כנגד כיוון ההתקדמות. אם אנו מעוניינים להתקדם שמאלה, נסובב את הגלגל נגד כיוון תנועת מחוגי השעון (לצורך זה נסובב את ציר הגלגל). החיכוך הסטטי באזור המגע יגרום לכך שנפעיל על הכביש כוח ימינה. הכביש יתרום את חלקו באינטראקציה וידחף את הגלגל שמאלה. הכול דומה למה שראינו בהסבר ההליכה.



ובכל זאת, יש הבדל בין רגליים לגלגל. אנו זקוקים לשתי רגליים כדי שידחפו את הרצפה לסירוגין (כאשר הרגליים מתחלפות בתפקיד בתנועת מספריים). בגלגל אין מדובר בשתי רגליים ובתנועת מספריים. בכל רגע יש נקודת מגע (במציאות זהו אזור מגע קטן) שבה נעשה החיכוך; נקודות המגע מתחלפות באופן רציף. אפשר לראות את הגלגל כרצף של רגליים, שאינן נזקקות לתנועת מספריים. כאשר הגלגל מתקדם, גובה הציר נותר קבוע, ולכן התיבה שבתוכה יושבים הנוסעים, משייטת אופקית בנחת.

כל זמן שאנו מגדילים את קצב הסיבוב של הגלגל, מהירות המכונית תגדל. כאשר קצב הסיבוב נותר קבוע, הגלגל אמור להמשיך להתקדם בתוקף ההתמדה. הוא אינו דוחף את הכביש אחורה מפני שקצב הסיבוב של הגלגל תואם את קצב ההתקדמות של המכונית (ושל מרכז הגלגל).

כדאי להציג לתלמידים את העיקרון. אין צורך להעמיק מעבר לכך.

התנגדות תווך למעבר דרכו

התנגדות האוויר

כדי להציב תחנת חלל יש צורך לשגר אותה מפני הארץ. השיגור הזה קשה במיוחד. עלינו להניע גוף כבד מאוד כנגד כוח הכובד. יתר על כן, מתברר כי גם האוויר מפעיל כוח התנגדות בלתי מבוטל. גם הנעת מטוסים מחייבת התגברות על התנגדות האוויר. אפילו מכוניות עומדות לעתים בפני כוח התנגדות גדול של האוויר. בדרך כלל אנו מספרים לתלמידים כי כוח ההתנגדות של האוויר אינו משמעותי, ולכן כל הגופים נופלים באותו אופן, אך מתברר שהעניין מורכב מעט יותר. התנגדות האוויר אכן נמוכה כאשר המהירויות נמוכות. ככל שמהירות העצם הנע גדולה יותר, התנגדות האוויר גדולה יותר. במהירויות גבוהות התנגדות האוויר גדלה לפי ריבוע המהירות (לדוגמה: הכפלת המהירות פי 10 מגדילה את כוח ההתנגדות פי 100).

התנגדות האוויר עשויה להיות גורם מועיל. היא מאפשרת לנו לצנוח מגובה רב מבלי שהמהירות תגדל יותר מדי. יריעה גדולה שנפרסת נמצאת באינטראקציה עם האוויר המעכב, וקצב הנפילה מואט מאוד.

צמיגות

גם נוזל מתנגד לתנועה. במקרים רבים יש "כוח חיכוך" בין שכבות נוזל שמחליקות זו על גבי זו. תופעה זו מכונה צמיגות. אנו מכירים אותה היטב מהתנהגות השמן. גם הכוח הזה תלוי במהירות. נוזל שבו כוח הצמיגות נמצא ביחס ישר למהירות של העצם הנע (ביחס לנוזל שדרכו הוא חולף), מכונה "נוזל ניוטוני".