

מאינטראקציה לרקטה

פיתוח הפעילות¹: זאב קרקובר, המכון למצוינות בהוראה, המרכז הישראלי למצוינות בחינוך

מטרות היחידה

יחידת לימוד זו היא חלק מתכנית הלימודים בתחום "תנועה ואינטראקציה בחלל". זוהי הרחבה ייחודית לתלמידי העתודה המדעית. היחידה עוסקת בפרקים הבאים מתוך מסמך האב:

שיגור רקטה

- תהליך שיגור רקטה
- הנעה רקטית
- מהירות הימלטות
- טילים מונחים (שיקולים במבנה הטיל, מערכת ההנחיה)

כוח כמשנה כיוון

- תנועת גופים בחלל - החוק הראשון של ניוטון
 - לוויינים מלאכותיים, תנועתם ותפקידם
 - החיים בחללית (לא מטופל ביחידה זו, נכלל ביחידת הלימוד כבידה)
 - עקרונות טיסה בחלל
- היחידה מרחיבה את העיסוק בשלושת חוקי התנועה של ניוטון.

מיומנויות: בניית ניסויי הדגמה
הסברים מילוליים

מבנה היחידה

החלק הראשון של היחידה עוסק במסקנות שעולות מצירוף הידע של החוק השני והחוק השלישי של ניוטון, וכולל הערות והדגמות שקשורות לתפיסות שגויות של תלמידים. החלק השני יעסוק בעקרונות ההנעה הרקטית; בהדגמות, בניסויים ובשימושים. החלק השלישי יעסוק בתנועה בשני ממדים וביישומה לתנועת לוויינים, כולל דיון מפורט במסעות בחלל.

לוח זמנים אפשרי

היחידה מיועדת לארבע שעות הוראה.

הרקע של התלמידים

ההנחה היא כי התלמידים למדו את תחום התנועה במסגרת לימודי העתודה בפיזיקה לכיתה ז' ואת היחידות "אינטראקציה", "כבידה", "כוח ומדידתו", "כוח בפעולה" ו"החוק השני של ניוטון" בכיתה ח'.

ציוד

רשימות הציוד להדגמות התלמידים ולהבנית הרקטה ולשיגורה נמצאות בסוף היחידה, לפני מקבץ הדפים לתלמיד.

¹ שותפים חשובים למעשה מוזכרים בעמוד הבא.

שותפים לעשייה

קראו והעירו:

ד"ר רוני מועלם, מדריך ארצי לפיזיקה במדע וטכנולוגיה, המינהל למדע וטכנולוגיה

מיכאל סבין, הפיקוח על הוראת הפיזיקה

אתי טל, מדריכה ארצית לעתודה המדעית-טכנולוגית במדע וטכנולוגיה, המינהל למדע

וטכנולוגיה

גניה חייקין, מדריכה ארצית במדע וטכנולוגיה, המינהל למדע וטכנולוגיה

ד"ר אבי פולג, ראש המכון למצוינות בהוראה, המרכז הישראלי למצוינות בחינוך

מלחמת הכוכבים

למדע יש השפעה נרחבת על המציאות. מדע מסייע לנו בחיינו האישיים בכל יום. לעתים יש למדע השפעה מקיפה על אוכלוסיות רחבות. לרקטות ולטילים, שאותם נכיר ונסביר ביחידת לימוד זו, הייתה השפעה נרחבת על ההיסטוריה האנושית בשבעים השנים האחרונות.

הגרמנים הצליחו להשתלט על אירופה במלחמת בזק יבשתית. הם התקשו לעשות זאת כנגד בריטניה בשל המכשול הימי שבדרך. כדי להתגבר על המכשול הזה הפעילו מטוסים, אך כשלו ב"קרב על בריטניה". בשלבים מאוחרים יותר של המלחמה עברו הגרמנים לשיגור של רקטות V2. לאחר הרבה למעלה מאלף רקטות ואלפי הרוגים בריטיים, הסתיים גם הקרב הזה מבלי שבריטניה הוכרעה.

לאחר המלחמה נוצרה מציאות גיאופוליטית חדשה, שבה יש שתי מעצמות-על – ארצות הברית וברית המועצות. שתי המעצמות נכנסו למרוץ של פיתוח רקטות וטילים. אלה יצרו איום ממרחק על המעצמה האחרת. הם יכלו לשאת ראשי חץ גרעיניים. שתי המעצמות ייצרו כמות עצומה של רקטות. אף שהטילים האלה לא הופעלו, הם יצרו "מאזן אימה" במסגרת של "מלחמה קרה". כל צד השתדל להסיט את מאזן האימה לטובתו. העולם כולו חי בצל האימה הזאת, שלעתים איימה להתפרץ.

רקטות וטילים נדרשו גם למרוץ מקביל שהתרחש בין המעצמות – כיבוש החלל. ברית המועצות הייתה הראשונה לשגר אדם להקיף את הארץ (1961). ארצות הברית הייתה הראשונה להנחית אדם על הירח (1969).

ב-1983 הכריז הנשיא האמריקני רונלד רייגן על "יוזמת ההגנה האסטרטגית" שכונתה "מלחמת הכוכבים". מטרת התכנית הייתה להעביר את המרוץ הרקטי למרוץ על הגנה כנגד טילים. רבים ביקרו את התכנית כדמיונית בגלל העלות הכבדה של אמצעים אנטי רקטיים (כולל טילים נגד טילים). הביקורת קבעה כי במרוץ חימוש כזה יפסיד מי שישקיע בנשק אנטי רקטי, מפני שיתמוטט כלכלית קודם לכן. הצורך בתכנית הלך וירד כאשר התברר כי ברית המועצות מתפרקת. יש כאלה שטוענים כי הניסיון הסובייטי לעמוד במלחמת הכוכבים היה מן הגורמים שמוטטו אותה.

מדינות ש מעוניינות להראות כי הן מעצמות אזוריות, אם לא למעלה מזה, משתתפות במרוץ הרקטי. בעת הזאת, מתנהל במזרח התיכון מרוץ בתחום הרקטי (כולל טילים נגד טילים ורקטות), כחלק מן המאמץ לשנות את פני ההיסטוריה.

מאמץ כלכלי כביר הושקע, ועדיין הושקע, בכל המהלכים האלה, שספק גדול אם היה מושקע ללא ההקשר של ביטחון לאומי. מתברר שלעתים עשייה שלא לשמה מביאה גם לתוצאות בתחומים חשובים שאחרת לא היו זוכים לקידום כה מהיר. מרוץ החימוש והמרוץ לחלל הביאו לקידום עצום של הטכנולוגיה במובן הרחב בגלל המשאבים הכבירים שהושקעו בהם. לזה יש פירות מופלאים בחיי היומיום ובקידום כוח האדם המדעי והטכנולוגי.

מאינטראקציה לרקטה

עקרונות, יישומים, מסעות בחלל

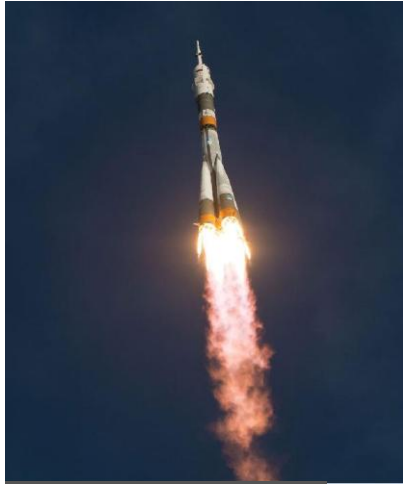


Photo credit: NASA/Bill Ingalls

בתמונה שלפנינו נראה השיגור של רקטת סויוז ב-23 באוקטובר 2012, מנמל החלל בייקונור שבקזחסטן. הרקטה הזו נשאה עמה צוות בין-לאומי לעבר תחנת החלל הבין-לאומית. רקטות הן תנאי הכרחי כדי להוציא אותנו מן הסביבה הקרובה של הארץ אל מה שמכונה "חלל". רקטות מאפשרות לנו להתגבר על כוח הכובד ועל הכוח המעכב שהאוויר מפעיל עלינו בתנועתנו המהירה. רקטות מסוגלות לסייע לנו לתמרון בחלל, כאשר אין בסביבה מי שיפעיל עלינו כוח חיצוני (פרט לכבידה שפועלת ממרחק). ללא רקטות אנו מרותקים לכדור הארץ. רקטות נותנות לנו תחושה של חופש למקרה של קטסטרופה. כיצד אפשר להניע רקטה בריק? בכך עוסקת יחידת לימוד זו, שתרחיב גם לעניין כיבוש החלל באמצעים רקטיים.

מה יקרה ביחידת לימוד זו?

יחידת לימוד זו עוסקת במסקנ ות שעולות מהפעלה סימולטנית של החוק השני והחוק השלישי של ניוטון, תוך כדי הדגש על הנעה רקטית ומסעות בחלל. לפני שניגש לסקירה מפורטת מעט יותר, נתייחס להיבטים דידקטיים, שעשויים להיות רלוונטיים גם ליחידות לימוד אחרות.

הדגמות של תלמידים: לחץ זמן וכיתה מרובת תלמי דים עלולים לגרום לכך שתלמידים יעסקו בהתנסויות פחות מכפי שנרצה, ושמורים לא יציגו את כל ההדגמות שהם מעוניינים להציג. ביחידת הלימוד שלפנינו יש כמה הדגמות שתלמידים מסוגלים להכין לקראת השיעור ללא קושי מיוחד, מתוך התבוננות בסרטי וידיאו (בלון כרקטה על חבל או על מ כונית, בלון מסתובב...). צוותים של תלמידים יתבקשו להכין הדגמות מתוך התבוננות בסרטי וידיאו ואפילו לשכלל אותן. התלמידים יציגו את ההדגמות המוכנות בכיתה מתוך שילוב אינטגרלי במהלך השיעור. הדגמות כאלה אפשר לתעד בוידאו ואפילו להעלות על הרשת. זה תקף, כמובן, גם ליחידות לימוד אחרות. זה מעצים את התלמידים המדגימים.

ניסויי שיא: עיסוק ברקטה מזמין בנייה של רקטה ושיגורה, כחלק ממהלך הלמידה השוטף. בניית הרקטה, השיגור, חקר הביצועים וההסבר – לכל אלה יש ממד אפקטיבי אפקטיבי חזק. כדאי לשריין "יום שיא" שבו יש מקום לפעילות כזאת שמשתרעת על פני כמה שעות.

נעבור עתה לסקירה קצרה של יחידת הלימוד.

חלק א – שינוי בתנועה באינטראקציה: זוהי הקדמה לעניין הרקטות, שעוסקת במסקנות שעולות משימוש סימולטני בחוק השני ובחוק השלישי של ניוטון. העניין מחזיר אותנו לסוגיה שמלווה אותנו לאורך היחידות – התפיסות השגויות שקושרות לחוק השלישי. הדברים שנרשמים כאן הם לשירות המורה, שיחליט מה הוא רוצה לבקש. אנו מעמידים לרשותו כמה סרטונים שעשויים לסייע להבנה.

חלק ב – רקטה: חלק זה יציג את עקרונות הפעולה של הרקטה ואת האופן שבו נוצר כוח הדחף. אשר להדגמות ולפעילות ניסויית נרחבת – ראו את ההערות הדידקטיות למעלה.

חלק ג – כוח כמשנה כיוון – תנועה בחלל: בחלק א אנו עוסקים בעיקר בתנועה בקו ישר. בחלק זה נראה כיצד כל מה שנלמד עד כה מסוגל להסביר את מה שאירע במסעות מרגשים בחלל, שבהם התנועה אינה חד ממדית.

בסוף יחידת הלימוד תמצאו המלצות על חלוקת זמן וסדר עדיפויות.

חלק א: שינוי בתנועה באינטראקציה

עתה, כאשר התלמיד מכיר את כל חוקי התנועה של ניוטון, נוכל ללכת צעד נוסף קדימה. נכיר עתה תוצאה שעולה מן הצירוף של החוק השני והחוק השלישי של ניוטון. אף שהתוצאה פשוטה למדי, יש לזכור ששני חוקי התנועה אינם אינטואיטיביים לתלמיד. גם אם אנו מודעים לזה, ופועלים בהתאם כבר כמה שיעורים, יש להביא בחשבון שהדברים עדיין רגישים. יש לפעול בכיתה מתוך מודעות לעניין זה. בעיקר הדברים אמורים בעניין החוק השלישי. התלמידים יודעים שהכוחות שווים, אך נוטים לסייג את תחולת החוק.

תאוצה באינטראקציה

הקשר בין התאוצות של שני הגופים

ניגש עתה למטרתנו בחלק זה של היחידה. נדון במערכת של שני גופים. המסה של גוף 1 תסומן ב- m_1 . המסה של גוף 2 תסומן ב- m_2 . הכוח שגוף 1 מפעיל על גוף 2 יסומן ב- $F_{1,2}$. הכוח שגוף 2 מפעיל על גוף 1 יסומן ב- $F_{2,1}$. על פי החוק השלישי הכוחות שהגופים מפעילים זה על זה, הם שווים גודל והפוכים כיוון (סימן):

$$F_{2,1} = -F_{1,2}$$

אם אין כוחות נוספים (שמופעלים על ידי גופים אחרים), נוכל לרשום כי על פי החוק השני מתקיים:

$$F_{2,1} = m_1 a_1 \quad F_{1,2} = m_2 a_2$$

כיוון ששני הכוחות שווים (בגודלם), כך גם המכפלות של המסה בתאוצה שוות (בגודל) והפוכות בכיוון (בסימן). אם לאחד משני הגופים יש מסה כפולה (פי 2) מזו של האחר, תאוצתו תהיה קטנה פי 2, כדי שהמכפלה ma תהיה זהה (בערכה המוחלט).

כבר הערנו כמה פעמים בעבר כי קשה יותר להניע גוף בעל מסה גדולה יותר, ולכן ציפינו שהשינוי במהירותו יהיה קטן יותר. כעת יש לנו דרך כמותית לקבוע את היחס בין שינויי המהירות של שני הגופים. הכלל הוא, אפוא, כי באינטראקציה בין שני גופים (ובהנחה שאין כוחות אחרים מעורבים) המכפלה של המסה בתאוצה של כל אחד משני הגופים היא זהה (בערך מוחלט).

אם אתם חשים כי תלמידים בשלים לכך, אתם מוזמנים לרשום את הדברים בס ימון מתמטי בפרמטרים:

$$m_1 a_1 = -m_2 a_2$$

$$a_2/a_1 = -m_1/m_2$$

$$|a_2/a_1| = |m_1/m_2|$$

הפשטה מתמטית בפיזיקה – הערה דידקטית

השורות האחרונות בסעיף הקודם כוללות הפשטה מתמטית מכמה בחינות. אין לנו שום מידע על הגופים, פרט למה שמעניין אותנו – המסות והתאוצות. גם אלה אינן נתונות כמותית, אלא מיוצגות פרמטרית. אנו מעבירים אגפים, כופלים ומחלקים, בפרמטרים (באותיות!). כל זה מופשט למדי. תלמידים אינם רגילים לִדְבֹר. זה נפלא ללומד המתקדם, אך עלול להיות נורא ללומד המתחיל. בסופו של תהליך, נרצה שהתלמידים יוכלו לעבוד באופן חופשי בשדה המתמטי. אנו עוד נשכנע אותם שמתמטיקה אינה עניין טרחני שיש להימלט ממנו בכל מחיר, אלא חלק אינטגרלי מן הדיון בפיזיקה, וכי היא מסייעת לנו להבין את המציאות מעבר לכל דמיון.

יש תלמידים שמסתדרים עם ההפשטה המתמטית מעצם טבעם. התכנית שלנו מבקשת להרחיב את המעגל. אנו מעוניינים להכניס לרוח הדיסציפלינה קהלים רחבים בהרבה, כאלה שזקוקים למעבר מדורג ומתמשך. כך עשינו בכיתה ז. עתה, בכיתה ח, אנו מוכנים להעביר מהלך גם בתחום האלגברי. יש לשכנע את התלמידים כי הדבר משתלם. הצלחנו להוציא כלל גדול ("חוק טבע") שרלוונטי לכל שני גופים, בלי קשר לתכונותיהם (פרט למסות), בכל סוגי האינטראקציות, בכל מקום ובכל זמן. לשם כך, כדאי לעבור להפשטה. מי שעושה זאת עולה מדרגה. אם אתם חשים שתלמידים בשלים לזה, עשו זאת עכשיו.

מבחן התוצאה – כאשר המסות שונות

אחד הקשיים הגדולים בהוראת החוק השלישי של ניוטון הוא מבחן התוצאה. במקרים רבים אין שום הדדיות בתוצאה. גוף אחד עובר שינוי ניכר, בעוד השני עובר שינוי מתון ולעתים אפילו זעיר ובלתי ניכר. כאשר פיל צועד ומעיף ברגלו אבן חצץ, האבן עשויה לעוף למרחק גדול, אך לא נזהה שינוי במהירות הפיל. במבחן התוצאה יש פער. לחלק מן התלמידים קשה ליישב את הפער הזה עם טענת השוויון בין הכוחות. עתה, כאשר אנו מצרפים את החוק השני ואת החוק השלישי לדיון משותף, אנו מבינים ששוויון בכוחות אינו שוויון בשינוי, שהרי השינוי תלוי גם במסה.

שינויי מהירות באינטראקציה

נלך עתה צעד נוסף קדימה. כזכור, התוצאה היא הקצב של השינוי במהירות. אם לגוף המסיבי יותר יש תאוצה קטנה יותר, הרי שגם השינויים במהירותו קטנים יותר. אנו מצפים, אפוא, לראות שינוי גדול יותר במהירותו של הגוף שהמסה שלו קטנה יותר. נבחן את הדברים בכמה דוגמאות.

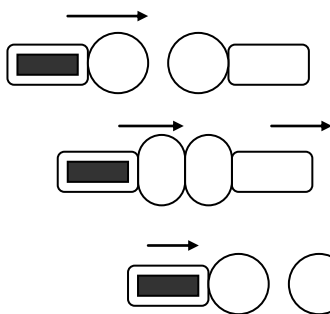
רתע

שני הסרטונים הקצרצרים שלפנינו ממחישים היטב את הדברים. בסרטון הראשון (ארבע שניות) אנו רואים ירי של פגז מתותח (https://www.youtube.com/watch?v=b9qvt_LS5sg). הפגז נורה קדימה והתותח נרתע אחורה. בתחילת הסרטון הפגז והתותח נמצאים במנוחה. הפגז אינו נראה. אפשר לראותו כחלק מן התותח. בעקבות הצתת אבק השרפה, הפגז מתחיל לנוע קדימה. זה מחייב שיתרת התותח תנוע אחורה. מהירות הרתיעה של התותח (שהיא השינוי במהירותו) קטנה ממהירות הפגז, מפני שהמסה שלו גדולה מן המסה של הפגז. בהמשך הדרך התותח נעצר בגלל החיכוך עם הקרקע. אם נרצה לצמצם את הרתיעה, יהיה עלינו להגדיל מאוד את מסת התותח. דרך אפשרית נוספת היא להצמיד את התותח לקרקע (או לכלי רכב) ככל האפשר, כך שגם הקרקע תהיה חלק מן האינטראקציה. בדרכים כאלה אפשר לקבל "תותח ללא-רתע". בעיקרון תמיד יש רתע, אך מהירות הרתיעה עשויה להיות זניחה.

בסרטון השני צופים בירי מרובה (<https://www.youtube.com/watch?v=ADSOHOMP-tg>).

כוחות שווים ושינויים שונים במהירות

נציג עתה ניסוי שבו אפשר להיווכח בעין כי הכוחות באינטראקציה שווים, אך במבחן התוצאה מתברר כי השינויים במהירות אינם זהים.



בניסוי שלפנינו יש התנגשות בין שתי עגלות זהות. לכל אחת מן העגלות הצמידו טבעות קפיציות (פס ברזל מעגלי דק, כמו מסורית). על העגלה האחת מוסיפים משקולת ומעניקים לה מהירות התחלתית לעבר העגלה הנחה. כאשר הטבעות הקפיציות מגיעות למגע, צורתן משתנה במידה זהה מפני ששני הכוחות באינטראקציה זהים. לאחר ההיפרדות הטבעות חוזרות למצבן המעגלי המקורי. מתברר כי התוספת במהירות של העגלה הנחה גדולה בהרבה מן הפקת במהירות העגלה הנעה, הכבדה ממנה. הכוחות היו שווים. במבחן התוצאה (השינוי במהירות) לא היה שוויון. החוק השלישי אינו מחייב זאת כאשר המסות שונות.

בכתובת הבאה יש סרטון שבו מוצגים חמישה ניסויים כאלה:

<https://www.youtube.com/watch?v=x45bXUwBgE4>

הניסויים נבדלים זה מזה במהירויות ההתחלתיות ובמסות. חלק מן ההתנגשויות מוצגות באיכות טובה מאוד בכתובת הבאה: <http://fnoschese.posterous.com/colliding-carts>.

אפשר להריץ את הסרטונים ולעצור אותם מדי פעם, כדי לראות שאכן הטבעות נראות בעיוות זהה בכל רגע.

מבחן התוצאה – כאשר יש כוחות נוספים

ראינו כי אינטראקציה בין גופים בעלי מסות שונות מביאה לתו צאות שונות בתנועת שני הגופים, אך כאשר המסות שוות או מצפים לתוצאה דומה. מתברר שיש מקרים רבים שבהם הדבר אינו מתרחש. נבחן את הדברים.

משיכת חבל

בתחרות במשיכת חבל יש מנצח. גם כאשר המסות של שתי הקבוצות זהות, עדיין יש מנצח. ייתכן אפילו שהקבוצה עם המסה הקטנה יותר היא זו שתנצח. כיצד אפשר להבין את הדברים? צפייה בסרטי YouTube מן הסוג שיש בכתובת שלפנינו, עשויה לחשוף את הגורם:

https://www.youtube.com/watch?v=FKCh6LvWPmo&playnext=1&list=PL587B7F11CC314056&feature=results_main

בסרט אנו רואים כי המתחרים משקיעים מאמץ גדול מאוד בניסיון להתחרה באדמה. כלומר: מלבד הכוח שנובע מן האינטראקציה שבין שתי הקבוצות (באמצעות החבל המתווך), יש כוחות נוספים שהאדמה מפעילה על המתחרים. הקבוצה שתצליח להפעיל כוח גדול יותר על הקרקע תנצח, מפני שהקרקע תפעיל עליה כוח גדול יותר בכיוון התרחקות מן הקבוצה השנייה. זה מה שיכריע את הקרב. אם הקבוצה החזקה תימצא על משטח חלק, בעוד הקבוצה החלשה נמצאת על אדמה, יש חשש שהקבוצה החזקה תפסיד, שהרי ברגע שהיא תגדיל את הכוח שהיא מפעילה, החבל ימשוך אותה קדימה חזק יותר.

והנה סרטון שמתאר תחרות משיכת חבל בכיתה:

<https://www.youtube.com/watch?v=jO6B0yx3FHE>.

הסרטון מדגים את היתרון שיש במדי כוח בעלי תצו גה גדולה במיוחד. אם יש לכם מכשירים כאלה, עשו את הניסוי בכיתה. אם לא – כדאי להראות את הסרטון.

מבחן התוצאה – כאשר לגופים יש תכונות שונות

ראינו כי מסות שונות או קיומם של כוחות נוספים עלולים להשפיע על "מבחן התוצאה". התוצאה לא תשקף את ההדדיות שבאינטראקציה בצורה פשוטה. מתברר כי גם כאשר המסות שוות ואין כוחות נוספים, "מבחן התוצאה" לא יציג הדדיות. כאשר גוש מתכת פוגש בגוש זכוכית, הזכוכית תישבר בעוד המתכת תישאר שלמה. זה יתרחש גם אם יש לגופים צורות זהות ומסות זהות. גופים נבדלים בתגובה שלהם לכוח, ככל שהדבר נוגע לשמירה על צורתם. מצב צבירה, קשיחות ופריכות עשויים להשפיע על התוצאה. גם אם גוף אחד נשבר והשני נותר בשלמותו, עדיין החוק השלישי של ניוטון תקף.²

בכך סימנו את הדיון ב "במבחן התוצאה" בשלושה מקרים (מסות שונות, קיומם של כוחות נוספים, תכונות שונות של חומרים). אכן, במקרים רבים תלמידים מתחילים מזהים כי במבחן התוצאה אין הדדיות. עלינו לשכנעם כי ההדדיות מתבטאת בשוויון בכוחות. הדיון הזה מצטרף לדיונים קודמים שערכנו בחוק השלישי של ניוטון ביחידות קודמות (חוסר ההדדיות באנרגיה, לדוגמה). הרחבנו בכך כדי שמורים יכירו את המקורות האפשריים של תפיסות שגויות. כדאי להיות ערים לדבר. כדאי להשיב לתלמיד תשובה משכנעת כאשר הוא מעלה תהיות. עם זאת, אין להפוך את הדיון לקורס בתפיסות שגויות. זה עלול להעמיס על התלמידים.

² נוסף מעט רקע למורה: לכאורה, הדבר נוגד את הטענה של ניוטון שהכרת הכוחות והמסות (ותנאי ההתחלה) מספיקה כדי לדעת מה יקרה. מתברר שיש צורך במידע נוסף על תכונות אחרות של הגוף. ניוטון לא היה מוטרד מזה. מנקודת הראות שלו, כל התכונות הנוספות האלה מתקבלות מחוקי התנועה שלו, כאשר מיישמים אותם על החלקיקים שמרכיבים את הגוף.

יש שאלה אחרת שאפשר לשאול על תנועת גוף שאינו שומר על צורתו המקורית בעקבות האינטראקציה. לאיזו נקודה בגוף אנו מתייחסים כאשר אנו דנים ב "תנועת הגוף", שהרי עיוות מתבטא בכך שנקודות שונות בגוף נעות בצורה שונה. האם חוקי התנועה רלוונטיים רק לחלקיקים היסודיים ולא לגופים מורכבים? מתברר שהחוקים רלוונטיים למה שאנו מכנים "גופים נקודתיים", שהם גופים שמנקודת הראות שלנו הם זעירים וקשה להבחין בשינוי הצורה שלהם. אנו מרחיבים את הכינוי "גופים נקודתיים" גם לגופים גדולים ששומרים על צורתם ונעים כך שכל חלקיהם נעים במקביל. במקרה זה אכן כל חלקי הגוף נעים באותה צורה.

ומה באשר לגופים אחרים, האם ניוטון אינו רלוונטי להם? במקרה זה משוואות התנועה של ניוטון מתארות את תנועת "מרכז המסה" של הגוף. לא נוכיח זאת כאן (וגם לא נגדיר כאן את המונח "מרכז המסה").

תנועה יזומה בחלל

ראינו כי אנו מסוגלים לנוע על פני הארץ תוך כדי שאנו משתמשים בכוח החיכך. וכן. ראינו כי אנו מסוגלים לשנות את כיוון התנועה בתחנת החלל תוך כדי שימוש בקירות ובידיות. הגופים שבסביבתנו משמשים לנו כעזר. הם מפעילים את הכוחות שמשנים את המהירות ואת כיוון התנועה. מה אפשר לעשות בחלל הריק, כאשר אין אפשרות של מגע עם שום גוף? שם אנו נתונים לחסדו של כוח הכבידה, אך איננו יכולים ליזום שינוי משלנו במסלול, שהרי אין בסביבה גוף אחר שנוכל לנצל כדי להיות באינטראקציה עמו – אינטראקציה שתשנה את תנועתנו.

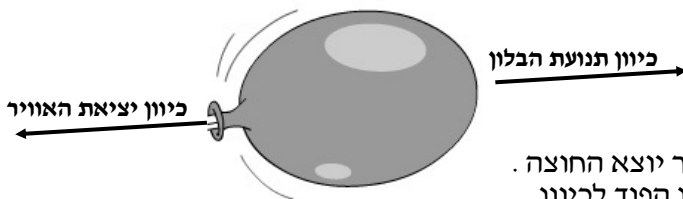
ובכל זאת, אם יש בכיסנו חפץ כלשהו, יש פתרון. נוכל להפעיל על החפץ כוח ולהשליכו מאתנו והלאה. כאשר אנו מפעילים על החפץ את הכוח הזה, פועל עלינו כוח בכיוון הפוך. אם נרצה לפנות ימינה, נשליך את החפץ שמאלה. אם נרצה להאיץ בכיוון מסוים, נזרוק את החפץ בכיוון הנגדי. למרבה הצער, לא נוכל לעשות זאת בלי סוף, שהרי כמה חפצים כאלה יש באמתחתנו?

ובכל זאת, אם נצא למסע מתוכנן היטב, האם לא כדאי שניקח עמנו חפצים כאלה, שיסייעו לנו לתקן מסלולים לפי הצורך? מתברר שזה מה שאכן עושים, בצורה מסוימת. בכך נעסוק בהמשך היחידה.

מכל מקום, בחלל, וגם על הארץ, פיצוץ (מבוקר או בלתי מבוקר) של גוף הוא תהליך שבו כוחות פנימיים בתוך הגוף דוחים את חלקי הגוף זה מזה. כל חלק נדחה על ידי האחרים. אפשר "להכריז" על חלק מן הגוף כחיצוני, שמפעיל, על מה שנותר מן הגוף, "כוח חיצוני".

חלק ב: רקטה

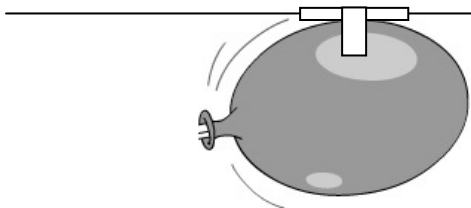
עתה ניגש אל הדובדבן שבקצפת – הרקטה. נתחיל מן הבלון ונסיים בטיילים בליסטיים.



בלון מעופף

הדגמות

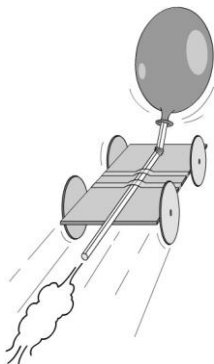
כאשר משחררים את הפייה של בלון מנופח, האוויר יוצא החוצה. אם משחררים את הבלון, הוא נע כך שכיוון תנועתו הפוך לכיוון יציאת האוויר. אין כאן חידוש. ראינו זאת (וגם הסברנו) כאשר עסקנו בירי הפגז מן התותח ובירי הכדור מן הרובה.



זוהי התנסות חביבה, שתלמידים ישמחו לעשותה. עם זאת, הבלון נע כאחוז תזזית. כדי להסדיר את תנועתו, אפשר להצמיד לו (בעזרת מדבקה) קשית, להשחיל דרכה חוט ולקבוע את שני קצותיו. הבלון ינוע לאורך החוט. אם יש צורך, הסרטונים שבכתובות הבאות יציגו לתלמידים כיצד לעשות את הדבר.

<https://www.youtube.com/watch?v=5i5nuWRcUv8>

<https://www.youtube.com/watch?v=zz5ENQqtJfI>



אפשר לחבר את הבלון עם הקשית למכונית מאולתרת, ולקבל מכונית שנדחפת קדימה על ידי האוויר שפורץ ממנה אחורה.

כדאי שהדגמות חביבות אלה יוצגו על ידי תלמידים. כדי לחסוך זמן הציגו לצוותי תלמידים את הסרטונים ואת כתובות הסרטונים ובקשו מהם להכין הדגמה מושלמת ככל האפשר לקראת השיעור. כדאי להפעיל את ההליך הזה מדי פעם, כאשר בכל פעם צוות אחר מתבקש להכין מראש את ההדגמות. זה יניע את התלמידים להכין הדגמות מושקעות היטב.

כאשר אנו עוקבים אחרי תנועת הבלון, אנו עוקבים אחרי סדרה רציפה של פיצולים. בכל רגע חלק מן האוויר נפלט אחורה ודוחף את הבלון, עם האוויר שנשאר בתוכו, קדימה. התוכן החומרי של הבלון משתנה כל הזמן. בכל רגע ורגע הבלון הוא גוף אחר.

לקראת סוף החוברת תמצאו הדרכה לתלמיד לצורך בניית ההדגמות שביחידה זו.

משרד החינוך

המינהל למדע וטכנולוגיה

הפיקוח על הוראת הפיזיקה

הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

הסבר חלקיקי

כיצד מצליח האוויר שיוצא אחורה לדחוף את הבלון קדימה? אפשר להיעזר במודל החלקיקי של האוויר. חלקיקי (מולקולות) האוויר נעים בתוך הבלון במהירויות גדולות בכל הכיוונים. הם פוגעים בקצב מהיר במעטפת הבלון (מן הצד הפנימי שלה). באופן כזה החלקיקים מפעילים כוח גם על הצד הימני של מעטפת הבלון וגם על הצד השמאלי, גם על הצד העליון של מעטפת הבלון וגם על הצד התחתון. כל זמן שהבלון סגור, הכוח שהאוויר מפעיל על מעטפת הבלון בכיוון מסוים, שווה בדיוק לזה שהוא מפעיל על הבלון בפיית הבלון, חלק מן האוויר חומק החוצה, ולכן הכוח שחלקיקי האוויר מפעילים על החלק האחורי של המעטפת, פוחת ואינו מאזן יותר את הכוח שחלקיקי האוויר מפעילים על החלק הנגדי של הבלון. הכוח השקול שפועל על המעטפת, הוא קדימה. זה יימשך כל זמן שצפיפות החלקיקים בתוך הבלון גדולה מצפיפות החלקיקים מחוץ לו, שהרי גם חלקיקי האוויר שמחוץ לבלון מפעילים כוח על מעטפת הבלון.

הבלון המסתובב

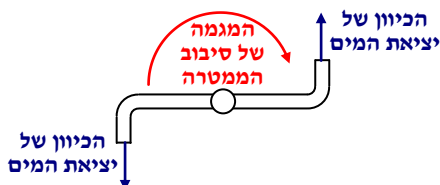


בסרטוט שלפנינו אנו צופים בבלון, שהפייה שלו מחו ברת לקשית שתייה (ללא דליפה). הקשית מכופפת הצדה בחלק המרוחק מן הבלון. נועצים בקשית (בכיוון ניצב לה) סיכה שחלקה התחתון ננעץ במחק שניצב על השולחן. מיקום הסיכה נקבע כך שהמערכת נמצאת בשיווי משקל. מנפחים את הבלון (דרך הקשית) ומשחררים אותו (במידת הצורך תוכלו לאחוז במחק). האוויר יוצא מבעד לקשית המכופפת. מעטפת הקשית מסיטה אותו ימינה. מכאן שהאוויר מטה את מעטפת הקשית שמאלה. הקשית תסתובב כנגד כיוון מחוגי השעון סביב הסיכה, שמשמשת כציר.

בכתובת הבאה תמצאו תיאור של בניית מערכת דומה ושל הפעלתה:

<https://www.youtube.com/watch?v=JkSIWpR4Ymk>

גם זוהי הדגמה חביבה. גם הפעם אפשר לבקש מצוות תלמידים להכין אותה לקראת השיעור, על סמך הסרטוטים והסרטון שלמעלה. ראו גם "דף מחקר" בסוף יחידת לימוד זו.



ההדגמה הזאת עשויה להזכיר למורי פיזיקה ממטרה "של פעם", שבה רואים היטב את תוצאות האינטראקציה בין המים לצינור המעוקל. הצינור מטה את המים בניגוד למגמת מחוגי השעון, והמים מטים את הממטרה לנוע במגמה ההפוכה.³

הנעה רקטית

עקרון ההנעה – כוח הדחף

הבלון ממחיש היטב את עקרון ההנעה הרקטית. גזים שנפלים בכיוון אחד, דוחפים את הרקטה בכיוון ההפוך (ראו גם את ההסבר החלקיקי למעלה). גז דחוס לוחץ על דופןות המכל בעוצמה רבה. כל זמן שהמכל אטום, הגז לוחץ בכל הכיוונים, ואין מתקבל כיוון תנועה מועדף. כאשר פותחים לגז פתח, מאזן הכוחות משתנה. הגז משתחרר דרך הפתח. הרקטה נדחפת בכיוון הפוך. כך נוכל לשנות את גודל המהירות ואת כיוון התנועה של הרקטה. מבחינה עקרונית אפשר לקחת גז דחוס מתחילת הדרך. במנוע רקטי הגז נוצר בתהליכי בעירה או בתהליכים כימיים אחרים.

הנעה רקטית היא תהליך שבו הרקטה משחררת חומר. זה מחייב אותנו לקחת את החומר הזה מתחילת הדרך. אם היו בדרך "תחנות חומר" שבהן היה אפשר לטעון את הרקטה בחומר נוסף, הדבר היה מקל. זה איננו מתרחש בחלל, ששמו מעיד על היותו ריק. זה מכביד. ככל שנרצה להיות חופשיים יותר בניווט, ונרצה להגיע רחוק יותר, יהיה עלינו לקחת עמנו יותר חומר. האצת החומר הזה היא עניין יקר. זה עושה את ההנעה הרקטית לאתגר מעניין.

הכוח שמפעיל הגז הנפלט על הרקטה, מכונה **כוח הדחף**.

³ נציג הרחבה שתעניין את המורה. מה יקרה אם נזרים דרך הצינור המעוקל אוויר (במקום מים), כאשר האוויר נשאב אל תוך הצינור (משאבת ריק)? מה תהיה מגמת הסיבוב הפעם? לאחר שתשקלו ותכריעו, תוכלו לצפות בהכרעת הניסוי, בסרטון שנמצא בכתובת שלפנינו: <https://www.youtube.com/watch?v=sxwBUCpVImY>.

משרד החינוך

המינהל למדע וטכנולוגיה

הפיקוח על הוראת הפיזיקה

הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

מטוס סילון

תנועה באטמוספירה אינה תנועה בריק. יש לאורך המסלול גז זמין – אוויר. במטוס סילון יש צורך להטעין דלק מן ההתחלה, אך אין צורך לטעון חומר מחמצן לתהליך הבעירה. את האוויר הנדרש בכל רגע "אוספים" בדרך. עיקרון זה מוריד מאוד את המסה הנדרשת להנעה רקטית בתחילת הדרך. לעומת זאת, מסעות במרחבי החלל אינם יכולים ליהנות משיטה זו.

ההנעה הסילונית של המדוזה

בעולם החי יש דוגמה מעניינת של הנעה סילונית, שבה ממלאים המים את תפקיד האוויר. המדוזה משתמשת בשיטה זאת כדי להתקדם. היא מכניסה מים לתוך כיפת גופה ומתיזה אותם כנגד כיוון ההתקדמות הרצוי. יש ברשת סרטונים יפים מאוד, שמדגימים את הדבר. הם עשויים להכניס "צבע" לשיעור. הסרטון הראשון כולל גם את הקולות שנשמעים ב"עולם הדממה":

http://www.youtube.com/watch?annotation_id=annotation_929525&feature=iv&src_vid=71FA4aYWj9U&v=jxlucMAnTqk

לסרטון המופלא הבא הוצמדו צלילים מופלאים מעולם אחר:

<https://www.youtube.com/watch?v=tJqXp934YkI>

הנה דוגמאות נוספות של סרטוני מדוזות:

http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=rzNI1Yh0F5A

https://www.youtube.com/watch?v=F2rpBZO4G_s

מהירות הימלטות

המונח "מהירות הימלטות" (או "מהירות מילוט" או "מהירות בריחה") מוגדר היטב בעולם של פיזיקאים. כאשר אנו זורקים עצם כלפי מעלה, הוא חוזר ונוחת עלינו. ככל שנעניק לעצם הנזרק מהירות התחלתית גדולה יותר, הוא יתרחק יותר ויחזור אלינו כעבור זמן ממושך יותר. מתברר כי יש גבול לתהליך הזה. אם נעניק לגוף בתחילת דרכו את מהירות ההימלטות, הוא לא יחזור ארצה לעולם, הגוף הזה ילך ויתרחק במרחבי החלל, אך בשום שלב לא ייעצר (וודאי שלא יחזור על עקבותיו). זוהי מהירות ההימלטות. לכל גרם שמים יש מהירות הימלטות משלו. אפשר להראות (אך הדבר חורג מגבולות הקורס הזה) כי מהירות ההימלטות מפני גרם השמים ניתנת להצגה באמצעות הרדיוס שלו (R) ותאוצת הנפילה החופשית על פניו (g). במונחים האלה מהירות ההימלטות היא $v_{\text{escape}} = \sqrt{2gR}$. מהירות ההימלטות מפני הארץ היא 11.2 km/s (שימו לב: היחידות הן ק"מ לשנייה! מהירות ההימלטות גדולה בערך פי 33 ממהירות הקול).⁴

אם נרצה לשגר רקטה מעל פני גרם שמים כזה, יהיה עלינו להשקיע יותר ככל שמהירות ההימלטות גדולה יותר. עם זאת, יש חשש שתלמידים יפרשו את המושג באופן מוטעה. נתייחס, אפוא, להיבטים בעלי פוטנציאל של טעות.

התנגדות האוויר: מהירות ההימלטות, כפי שהיא מוגדרת על ידי פיזיקאים, וכפי שהצגנו אותה, מביאה בחשבון את הצורך להתגבר על הכבידה, אך אינה מביאה בחשבון את הצורך להתגבר על התנגדות האוויר, בשלב ההתחלתי שבו הגוף המשוגר עובר מבעד לאטמוספירה.

הנעה רקטית: הגדרת מהירות ההימלטות רלוונטית למצב שבו כל ההאצה נעשית מיד בשיגור. לאחר מכן יש רק האטה שנובעת מהשפעת הכבידה. זה אינו רלוונטי כאשר מדובר ברקטה, כאשר פועל גם כוח הדחף.

⁴ יש לשים לב שהחישוב מבוסס על ההנחה שהארץ היא הגורם היחיד שמשפיע על תנועת העצם הנמלט. אם נביא בחשבון שגם השמש מפעילה כוח כבידה על אותו עצם, יתברר שהוא מסוגל להימלט מהשפעת הארץ, אך כדי להימלט מהשפעת השמש נדרשת מהירות מילוט גדולה מזה - כ- 42 km/s .

משרד החינוך

המינהל למדע וטכנולוגיה

הפיקוח על הוראת הפיזיקה

הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

תחנת החלל : כדי להגיע אל תחנת החלל שנמצאת מחוץ לאטמוספירה , אך קרוב יחסית לפני הארץ , נזקק למהירות שיגור נמוכה בהרבה ממהירות ההימלטות , שהרי איננו מעוניינים להתרחק מן הארץ עד אינסוף , אלא לסביבה הקרובה בלבד. כאן אפשר לזהות תפיסה שגויה רווחת למדי . תלמידים שומעים על המונח "מהירות ההימלטות" וחושבים שמדובר במהירות הנדרשת לצאת מן האטמוספירה אל "החלל". לעתים הם מניחים שמעבר לאטמוספירה כוח הכבידה שהארץ מפעילה מתאפס . זוהי שגיאה גסה . במרחק שבו ממוקמת תחנת החלל , הכבידה אינה שונה בהרבה מזו שעל פני הארץ (עסקנו בכך בהרחבה ביחידת הכבידה). אכן יש להשקיע הרבה כדי לצאת מן האטמוספירה , אך לא לזה מתייחס המונח "מהירות ההימלטות".

חור שחור

מהירות ההימלטות מזמנת דיבור על חורים שחורים , לשמחתם של התלמידים . כבר לפני למעלה מ-200 שנה העלה פייר סימון לפלס את השאלה מה יקרה אם כוכב יהיה צפוף במידה קיצונית כך שמהירות ההימלטות ממנו תעלה על מהירות האור . במקרה כזה , אם הכבידה פועלת גם על האור , אפילו אור לא יגיע אלינו אם נהיה רחוקים מן הכוכב , והוא יראה לנו שחור . לא נוכל להבחין בין הכוכב לסביבתו הריקה והאפלה . תורת היחסות הכללית של איינשטיין , העדכנית יותר , צופה שאם הכוכב אכן יהיה צפוף מאוד , האור לא יוכל לצאת מעבר לרדיוס מסוים .

אמנם אי אפשר לראות חורים שחורים , אך אפשר לזהות את השפעת הכבידה שלהם על סביבתם .

טילים מונחים

הרקטה הפשוטה ביותר היא זו שמרגע השיגור היא נעה ללא שליטה חיצונית וללא מערכות ניווט עצמיות. כדי לממש את מטרות הרקטה בדיוק רב , אנו מעוניינים במערכות מונחות . לעתים אנו מעוניינים לעקוב אחרי הרקטה ולהיות מסוגלים להכניס שינויים במסלולה באמצעות שדרים שנשלח אליה ממרחק . לעתים אנו מעוניינים ברקטה שיהיו לה חיישנים ואמצעים לעיבוד נתוני החיישנים ולהכנסת שינויים במעוף הרקטה , לדוגמה : רקטה שמטרתה היא לפגוע ברקטה אחרת , תדיוק יותר אם תהיה מצוידת במערכות כאלה . "כיפת ברזל" מיועדת למטרות כאלה.

רקטה (Rocket) שיש לה מערכות הנחיה כאלה , נקראת **טייל** (Missile).

טילים שמיועדים לנקודה אחרת על פני הארץ (או סמוך לה) , נעים באטמוספירה . מכאן שלטיל אמור להיות מבנה אווירודינמי (לא ניכנס כאן לדיון באווירודינמיקה , שנמצא מעבר לתחומי הקורס). מכאן שהטיל אמור להיות בעל צורה של גליל מוארך , עם "כנפיים" בחלקו האחורי .

בחלקו האחורי של הטיל נמצאים המנוע והדלק . קדימה מזה נמצא חלק הרקטה שתפקידו הוא הנחיית הטיל. קדימה מאלה נמצאים החיישנים . בראש הטיל נמצא ראש הנפץ .

מבנה הטיל ומערכת ההנחיה עשירים מאוד מבחינה פיזיקלית , אך חורגים במידה ניכרת מן העיסוק בכוח ובתנועה (חוקי התנועה של ניוטון). מדובר בהרחבה מעניינת , אך לא נעסוק כאן בהיבטים דידקטיים מן הסוג של תפיסות חלופיות שגויות . לא נעסוק כאן בתרגול . במקרה זה נראה טבעי לתת לתלמידים שמתעניינים בתחום זה להכין "הרצאות" קצרות (כחמש דקות כל אחת) שיתייחסו לעניינים האלה . אפשר להפנות את התלמידים לוויקיפדיה ולאתרים נוספים .

בתצלום שלפנינו מתועד שיגור הטיל הראשון של NASA (24 ביולי 1950).



Image credit: NASA



משרד החינוך

המינהל למדע וטכנולוגיה

הפיקוח על הוראת הפיזיקה

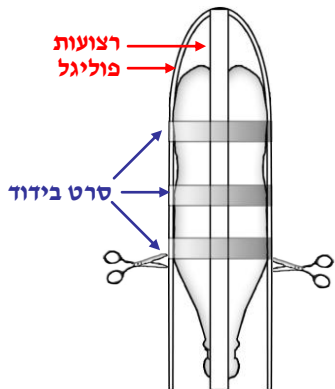
הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

בנייה של רקטת מים

תלמידים אוהבים לשגר רקטות. יש משהו מרגש בחפץ שמתעופף לגובה רב. "רקטות מים" מקובלות בשכבות גיל שונות. אין בהן הסיכון של חומר דליק או נפיץ. אפילו ילדים בגן טרום חובה יכולים ליהנות מן העניין כפי שאפשר לראות בסרטונים שבכתובות הבאות, שיכולים לשמש כמדריך לבניית רקטה ולשיגורה⁵:

<https://www.youtube.com/watch?v=5w5hW8BfBlk>

http://www.youtube.com/watch?annotation_id=annotation_743153&feature=iv&src_vid=5w5hW8BfBlk&v=ENf5urah0TA



כדאי לתת לתלמידים לבנות רקטות כאלה בצוותים, כחלק מלמידת הרקטה ועקרונות פעולתה. יש מקום גם למדוד את הגובה המרבי שאליו מגיעה הרקטה. כאן אפשר ליישם את השיטה למדידת מרחקים גדולים שנלמדה בכיתה ז ביחידת הלימוד "מדידת מרחק". במציאות ייתכנו אילוצים שלא יאפשרו לעשות זאת בזמן האופטימלי (מזג אוויר גרוע, לחצי זמן בהוראה). במקרה כזה אפשר לעסוק בבנייה של רקטה, בשיגורה ובחקר הביצועים שלה, במסגרת "יום שיא". הנה הנחיות קצרות לבניית הרקטה. ראו גם "דף מחקר" לקראת סוף החוברת.

הנחיות בנייה: הרקטה עשויה מבקבוק פלסטי לשתייה קלה (1.5 ליטר). מכינים זוג רצועות פוליגל (1.2 מטר $\times$ 2-3 ס"מ). מצמידים אותן זו לזו במרכזן באמצעות סיכה מתפצלת (ראו סרטוט למעלה), מקיפים את הרקטה ברצועות פוליגל שאותן מצמידים לבקבוק עם סרט בידוד (יש לגזור את עודפי הפוליגל במקומות המסומנים).

מצרפים ארבע כנפיים מייצבות (ראו מידות מומלצות בשתי כנפיים לדוגמה בסרטוט). הכנפיים ייחטבו מפוליגל באופן שהחללים בפוליגל ניצבים לצלע שאורכה 5 ס"מ. משחילים שיפוד דק דרך החלל שסמוך לצלע שאורכה 15 ס"מ. חלקו העליון של השיפוד יוחדר בין הבקבוק לבין סרט הפוליגל (ראו דוגמה בסרטוט). בדרך זו יחוברו המייצבים לבקבוק. צורת החיבור הזאת מאפשרת להגביה או להנמיך את כל אחד מן המייצבים, כך שהרקטה תעמוד אנכית לפני השיגור.

מכניסים לבקבוק מים כדי רבע עד שליש מן הבקבוק. סוגרים את הבקבוק עם פקק גומי (בעל גודל מתאים!) שהוחדרה לתוכו סיכת ניפוח (שלב זה מחייב הפעלת כוח רב והוא מסוכן, ולכן ייעשה מראש על ידי המורה). מחברים את הסיכה למשאבה (יש לוודא מראש התאמה בין סיכת הניפוח למשאבה). מפעילים את המשאבה עד לרגע שבו לחץ האוויר מפריד בין הבקבוק לבין הפקק. הרקטה יוצאת לדרך!

חלק ג: כוח כמשנה כיוון – תנועה בחלל

כוח כמשנה כיוון

רקע

על פי החוק הראשון של ניוטון, גוף ממשיך לנוע במהירות קבועה בקו ישר אם אין פועלים עליו כוחות חיצוניים. עסקנו בכך ביחידת ההתמדה הנרחבת בכיתה ז, ובעוד כמה הזדמנויות בכיתה ח. בשלב זה, הדבר אמור להיות מבוסס היטב אצל התלמידים (אם לא – יש לתקן). כוח חיצוני עשוי לשנות את גודל המהירות או את כיוון התנועה (או את שניהם כאחד). העובדה שכוח משנה כיוון תנועה אינה מפתיעה. די אם נשאל את התלמידים מה יקרה למי שהולך ממערב למזרח, כאשר במשך זמן קצר מישהו מנסה למשוך אותו דרומה בשולי הבגד. יש להניח שהתלמידים יגידו שכיוון התנועה ישתנה ויהיה בין המזרח לבין הדרום.

⁵ הנה הצעה לרקטה פשוטה למי שקל לו להשיג קרח יבש: מניחים חתיכה קטנה של קרח יבש בתוך בקבוק פלסטי שמיועד למשקה מוגז עם מעט מים. פוקקים את הבקבוק ומניחים את ה"רקטה" על הפקק בצורה אנכית. כעבור זמן מה ה"רקטה" מזנקת יפה כלפי מעלה (הקרח היבש ממריא ממצב נוזל למצב גז, והלחץ עולה מאוד). הדגמה כזאת תמצאו בכתובת שלפנינו: <http://www.youtube.com/watch?v=IfTms81RxeK>

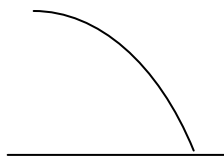
משרד החינוך

המינהל למדע וטכנולוגיה

הפיקוח על הוראת הפיזיקה

הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

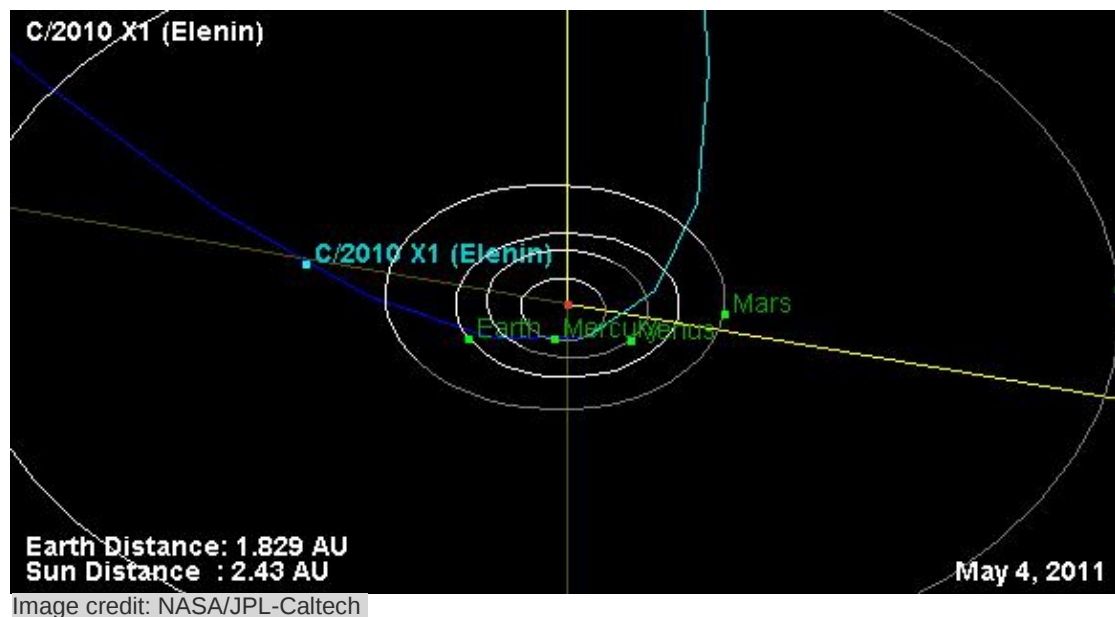
דוגמה אחרת: שאלו את התלמידים מה יקרה אם ספינה קטנה שטה על המים ממערב למזרח, ולמשך זמן קצר נושבת רוח עזה מצפון לדרום. גם במקרה זה, הדעת של ההדיוט נותנת כי הסירה תיטה ימינה לכיוון שבין המזרח לבין הדרום. מה תהיה מידת ההטיה של המסלול? **לא נעסוק בזה ברמה הכמותית**. המפתח לדיון בזה כלול בחוק השני של ניוטון ($F=ma$), אך הצגת שינוי הכיוון כתאוצה חורגת מתחומי תכנית הלימודים, ואינה קלה כל עיקר (בוודאי בשלב זה). הדבר גם לא יסייע לנו לשפר את הבנת התנועה במערכת השמש, שבה נעסוק בהמשך.



נתבונן בדוגמה דומה לאלה שהזכרנו למעלה. נתבונן בכדור שנזרק אופקית. לאחר שהכדור עוזב את המשגר, הוא נע במהירות אופקית קבועה. אם הכדור נע על רצפה ללא חיכוך, הכוח השקול האופקי הוא אפס (כוח כובד כלפי מטה וכוח נורמלי כלפי מעלה מקזזים זה את זה). לעומת זאת, אם אין רצפה, פועל כוח בלתי מאוזן כלפי מטה (כוח הכובד), שמטה את כיוון התנועה (בדיוק כמו בדוגמאות שלמעלה). הדבר קורה לכל אורך המסלול (עד לפגיעה ברצפה), ולכן בשום שלב התנועה אינה בקו ישר. הכדור פונה "ימינה" (כלומר: מטה) בכל נקודה על המסלול. אנו מבינים את הטיית המסלול, גם אם איננו יכולים לתת הערכות כמותיות. אפשר לערוך ניסוי כזה כאשר זורקים את הכדור מראש התורן ועוקבים אחרי תנועתו עד לארץ. תוצאה זהה מתקבלת כאשר עוזבים את הכדור, ללא הענקת מהירות נוספת, מראש התורן של ספינה שנעה במהירות גדולה.

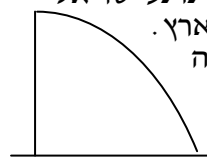
התמדה וכבידה מעצבות את התנועה של עצמים בחלל

באיור שלפנינו מתוארים מסלולים של כמה כוכבי לכת סביב השמש ושל השביט אֶלְנִין שעורר דאגה ב-2011 כאשר חלף סמוך לפני הארץ.



המסלולים של כוכבי הלכת הם בעלי צורת אליפסה, די קרובה לצורת מעגל. מסלולו של שביט אֶלְנִין (המסלול הכחול) שונה. מה קובע את צורות המסלול השונות של גרמי השמים? עסקנו בזה מעט ביחידת ההתמדה בכיתה ז. דיון נוסף, לאור מה שנלמד השנה, לא יהיה מיותר.

כל גרמי השמים שמתוארים במסלול נמשכים על ידי השמש, אך אף אחד מהם אינו נע ישר אל השמש. הכוח אינו קובע בלעדית את כיוון התנועה. נתבונן בדוגמה מוכרת על פני הארץ. בסרטוט שמשמאל מתוארים המסלולים של שני כדורים - האחד שוחרר ממנוחה ונפל אנכית, השני נזרק ימינה ונע במסלול עקום. לאורך כל הדרך, עד לפגיעה ברצפה, פעל על שני הכדורים אותו כוח, ובכל זאת הם לא נעו באותו מסלול, גם אחרי שעזבו את ידינו, ולא הפעלנו עליהם יותר כוח. לגוף שנזרק ימינה הייתה מהירות ימינה בתחילת הדרך. ברגע שהכדור עזב את ידינו, כוח הכובד היה הבלעדי שמושך אותו כלפי מטה. הכוח הזה מוסיף מהירות כלפי מטה, אך אינו מבטל את המהירות שהייתה בכיוון האופקי. כוח אינו מבטל מהירות שקיימת. זו נשאר בתוקף ההתמדה. כוח מכניס תוספת מהירות, במקרה הזה כלפי מטה. בסך הכל הגוף נע גם ימינה וגם מטה. כך נוצר המסלול העקום.

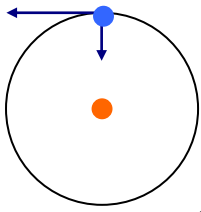


משרד החינוך

המינהל למדע וטכנולוגיה

הפיקוח על הוראת הפיזיקה

הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה



דברים דומים מתרחשים במערכת השמש. ברגע מסוים המרחק של אלנין מן השמש שווה למרחק של הארץ מן השמש. הארץ ממשיכה לנוע במסלול כמעט מעגלי ואינה נופלת על השמש, אף שהיא נמשכת אליה. זה מפני שבכל רגע מהירותה מורכבת מן המהירות שהייתה לה קודם, ומתוספת המהירות שנובעת מן הכוח שפועל אל השמש. צירוף שתי אלה מביא לתנועה המעגלית. הכוח מטה את הארץ מכיוון התנועה בכל רגע ורגע. כאשר אלנין עובר באותו מרחק מן השמש, יש לו מהירות אחרת וכיוון תנועה אחר. הצירוף של המהירות הזאת עם תוספת המהירות שנובע מכוח הכבידה, מניב תנועה אחרת מזו של הארץ, הן במהירות והן בכיוון התנועה.

לסיכום: תנועתם של גרמי שמים בחלל (כמו גם תנועתם של עצמים אחרים) מעוצבת על ידי שני גורמים: המהירות שהייתה, שאינה נעלמת (בתוקף ההתמדה), ושינוי במהירות שהוא תוצאה של פעולת כוח הכובד. השינוי במהירות מצטרף למהירות שהייתה. ייתכן מאוד שהשינוי במהירות יהיה בכיוון שונה מזה של המהירות המקורית. הדבר מזמין דיון וקטורי, אך לא ניכנס אליו בכיתה ח.

התמדה, כבידה ומנוע רקטי מעצבים את התנועה של טילים ורכבי חלל

הגורמים שמעצבים את תנועתם של גרמי שמים טבעיים, מעצבים גם את התנועה של עצמים ששוגרו על ידי אדם. ובכל זאת, אפשר עדיין לעשות משהו, ולא להיות נתונים לחסדי ההתמדה והכבידה. אנו יכולים להפעיל מנועים רקטיים, שישנו את גודל המהירות ואת כיוון התנועה. אמנם, הדברים אינם כל תי מוגבלים, שהרי עלינו לקחת עמנו חומר מכביד שנוכל להיפרד ממנו בכל פעם שהדבר יידרש, ולא נוכל לעשות זאת בלי הגבלה, אך זה עדיין מותיר בידינו מידה מסוימת של שליטה. זה ממש הכרחי, מפני שסטייה קלה בכיוון עלולה להביא לכך שהתמדה וכבידה ייקחו אותנו למרחבי החלל, מבלי שנוכל לשוב ארצה. אפשר לתקן סטיות קטנות באמצעות מנוע רקטי. זה הכרחי כאשר אנו רוצים לתמרן לקראת נחיתה או היצמדות לחללית אחרת.

לויינים מלאכותיים

- כדי להכניס לוויין למסלול סביב הארץ יש לשגר אותו באמצעות רקטה לעבר המסלול הרצוי.
 - שימוש במנוע רקטי נדרש גם לשינוי י כיוון של התנועה כדי להכניס את הלוויין למסלול המיועד.
- גובה המסלול (מעל פני הארץ) תלוי בשימוש של הלוויין. הנה כמה דוגמאות.

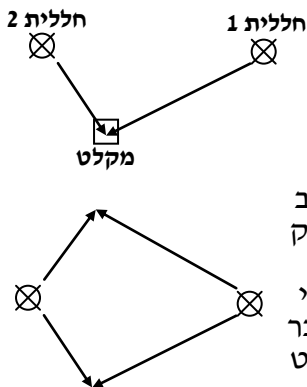
לויינים במסלול נמוך

לויינים אלה נעים ברדיוס של מאות ק"מ מעל פני הארץ. תחנת החלל הבין-לאומית היא לוויין כזה. לויינים למטרות צילום, ריגול, חיזוי מזג אוויר וחיפוש אחרי משאבי טבע, נעים במסלולים נמוכים מפני שהקרבה לארץ מאפשרת רזולוציה טובה יותר של התמונה המתקבלת. החיסרון של לוויין במסלול נמוך הוא בכך שבכל רגע הוא צופה רק בחלק קטן מפני הארץ (בגלל הקרבה הגדולה לפני הארץ). לויינים כאלה מקיפים את הארץ במשך כשעה וחצי עד שעתיים.

מערכות ניווט לווייניות

לויינים אלה נעים בגובה של כ- 20,000 ק"מ. מערכת הלוויינים המוכרת ביותר היא ה-GPS (מערכת איכון עולמית – Global Positioning System). הלוויינים האלה משגרים אותות שנקלטים על פני הארץ. האות הנקלט כולל מידע על רגע יציאתו מן הלוויין ועל מקומו של הלוויין. מקלט של GPS קולט מידע כזה מכמה לויינים.

כדי להבין כיצד נעשה זיהוי המקום נתבונן בעולם דו ממדי, שאותו אפשר להציג היטב על דף הנייר (או צג המחשב). אם המקלט מצויד בשעון מדויק, אפשר לחשב את המרחק של המקלט מ כל אחת משני הלוויינים כמכפלה של מהירות האור במשך הזמן שעבר מרגע השידור עד לרגע הקליטה. אמנם יש במישור עוד נקודה עם אותם מרחקים משתי החלליות, אך רק אחת משתי הנקודות נמצאת על פני הארץ. מבחינה מתמטית, מדובר בפתרון של שתי משוואות בשני נעלמים כדי למצוא את שתי ה קואורדינטות של המקלט במישור (x, y) .



משרד החינוך

המינהל למדע וטכנולוגיה

הפיקוח על הוראת הפיזיקה

הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

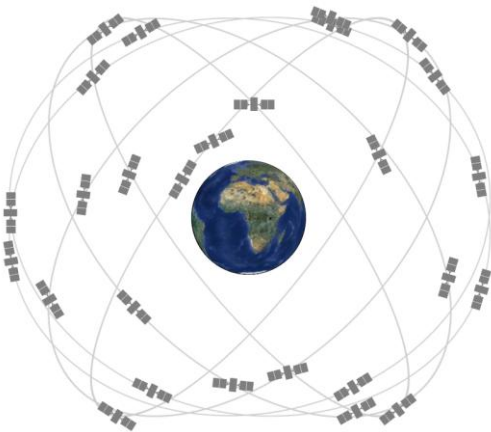
בעולם התלת ממדי ניזקק למידע משלוש חלליות כדי לקבוע את המיקום של המקלט . הפעם נפתור שלוש משוואות כדי למצוא את שלוש הקואורדינטות במרחב (x, y, z) .

נקודת תורפה בשיטה הזאת היא בכך שאנו תלויים ברמת הדיוק של השעון של המקלט . המערכת מכוונת להגיע לדיוק גבוה במיוחד . איננו רוצים שהשעון שלנו יחבל בכוונות הטובות . כדי להתגבר על כך אפשר להשתמש במידע מלוויין נוסף . עתה עלינו לפתור ארבע משוואות בארבעה נעלמים (x, y, z, t) .

כדי להתגבר על בעיות דיוק, אפשר להכניס מידע מלוויינים נוספים שיצמצם את אי הודאות בתוצאה . בפועל, רמת הדיוק של המערכת מגיעה למטרים בודדים , כפי שקל לראות בזמן נסיעה במכונית שיש בה מקלט GPS.

האיור משמאל מציג את מערך לווייני GPS.

כך נראית חללית GPS :



לווייני תקשורת

לוויין תקשורת אמור להיות ממוקם בנקודה קבועה ביחס לתחנות השידור והקליטה . כיוון שהארץ מסתובבת , גם לוויין התקשורת אמור לנוע סביב הארץ כך שהוא נשאר באותו מקום ביחס לתחנות השידור והקליטה . זה מחייב שהלוויין ישלים את הקפת הארץ ביממה אחת (לוויין גיאוסטנציונרי). לשם כך על הלוויין להימצא בגובה של כ-36,000 ק"מ.

מבלי להיכנס להסברים , אפשר לגלות לתלמידים כי זמן המחזור במרחק r ממרכז הארץ הוא $T=2\pi(r/g)^{1/2}$ (כאשר g היא תאוצת הנפילה החופשית על פני הארץ), והוא הולך וגדל ככל שמתרחקים מן הארץ . זמן המ חזור של לוויין שהיה נע צמוד לפני הארץ (ברדיוס של כ-6,400 ק"מ), הוא כ-5,000 שניות (כ-1.4 שעה), בהנחה שהתנגדות האוויר זניחה (זהו אכן בקירוב זמן ההקפה של מעבורת החלל, אשר גובהה מעל לכדור הארץ נמוך יחסית, ושל הלוויינים במסלולים הנמוכים). כדי שזמן המחזור יהיה יממה, יש צורך להתרחק מאוד מן הארץ (לרדיוס של כ-42,000 ק"מ).

אפולו 13

כיבוש החלל הוא דרמה . יש מסעות חלל נועזים ופורצי דרך . יש אירועים מרגשים (מקרה כזה הצגנו ביחידה "זריחת הארץ"). יש מסעות חלל שהסתיימו בטרagedיה . זהו סיפורם של אנשים אמיצים . זהו גם סיפור של אתגר מדעי . נציג כאן דוגמה של מסע למרחק גדול , שהתגלגל למצב מסוכן, שהביא להתמודדות נועזת ומורטת עצבים . הסיפור המרתק הפך גם לסרט קולנוע . אפשר להציג לפני התלמידים קטעים מן הסרט . אנו נציג כאן משהו מן המסע המרגש .

רקע

אפולו 13 נועדה להיות הנחיתה המאווישת השלישית על הירח. בשלב מסוים של הטיסה התברר כי הייתה תקלה במאגר חמצן בחללית . זה חייב לאלתר מבצע הצלה בתוך זמן קצר ביותר . צוות החללית, עמיתיו על הקרקע, מהנדסים ומדענים של NASA עמדו בפני אתגר קשה במיוחד.

משרד החינוך

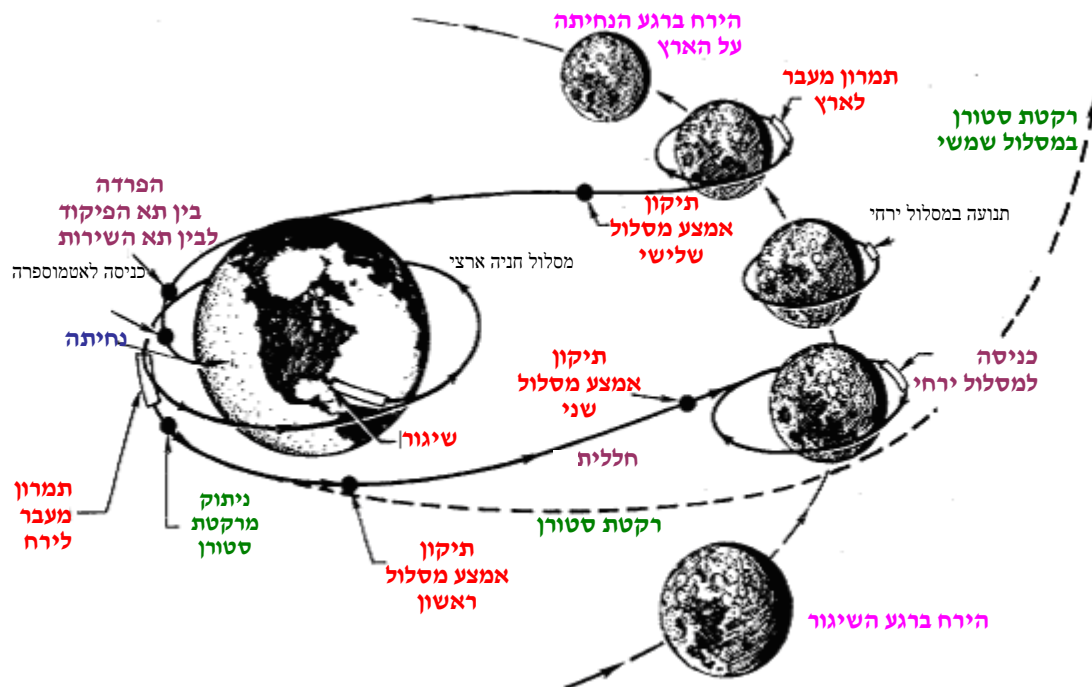
המינהל למדע וטכנולוגיה

הפיקוח על הוראת הפיזיקה

הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

המסע של אפולו 8

נתבונן תחילה במסלול של אפולו 8 (המסע הזה זכור ל נו מיחידת הלימוד "זריחת הארץ"). זו הייתה משימה מאוישת. החללית יצאה מן הארץ אל הירח, הקיפה אותו (ללא נחיתה) וחזרה ארצה. נתבונן בסרטוט המסלול על פי NASA (קנה המידה אינו אחיד, לנוחיות המתבוננים):⁶



המסלול נראה מורכב מדי, אך קל להתמצא בו, והוא מסייע להבנת השלבי ם השונים. החללית משוגרת מן הארץ באמצעות רקטת סטורן 5. בשלב מסוים נעשה תמרון (אינו מופיע בסרטוט) של מעבר ל"מסלול חניה ארצי". במסלול זה החללית נעה ללא הנעה רקטית, כפי שהירח מקיף את הארץ. שלב זה אינו צורך אנרגיה. מן המסלול הזה נעשה "תמרון מעבר לירח". כאן יש צורך בהנעה רקטית כדי להוסיף לחללית מהירות, כך שתוכל לנוע לעבר הירח. זמן קצר לאחר מכן החללית מתנתקת מן הרקטה המשגרת (ממה שנותר ממנה). מכאן החללית משייטת לעבר הירח ללא הנעה רקטית (ללא צריכת אנרגיה) פרט לשני אירועים של "תיקון אמצע מסלול". במהלך השיוט הזה גם הירח משנה את מקומו. כאשר החללית מגיעה למרחק הרצוי מן הירח, נערך "תמרון כניסה למסלול ירחי", שמצריך הנעה רקטית. לאחר מכן החללית מקיפה את הירח כמה הקפות, ללא צורך בהנעה רקטית ובאנרגיה. במהלך ההקפות האלה הירח ממשיך לנוע (כתמיד). לצורך החזרה לארץ יש להפעיל "תמרון מעבר לארץ", שמחייב הנעה רקטית. מכאן ואילך הרקטה משייטת עד סמוך לארץ, ללא הנעה רקטית, פרט ל"תיקון אמצע מסלול שלישי". לקראת הכניסה לאטמוספירה יהיה צורך בתיקוני מסלול כדי להיכנס בזווית הנכונה ובמהירות הנכונה, שיאפשרו לנו לשרוד את המסע.

אנו רואים כי ברוב המסע אין צורך במנוע רקטי. התנועה מוכתבת על ידי חוקי התנועה של ניוטון, תוך כדי ניצול כוח הכבידה שהארץ והירח מפעילים על החללית. התערבות רקטית מתרחשת רק במקום שהדבר הכרחי. המסע הזה עושה שימוש בהיבטים שונים של מה שנלמד ביחידת לימוד זו.

מי נוהג בחללית?

בתמלילי השיחות בין תחנת הקרקע לבין האסטרונאוטים שנמצאו במסלול סביב הירח נמצא גם השיח הבא. האסטרונאוט ויליאם אנדרס שואל את עמיתו שעל פני הארץ על אודות אירועי חג המולד בביתו. העמית משיב כי סיפר בבית על חבריו שנמצאים "שם למעלה", וכי בנו שאל מי נוהג בחללית. על כך השיב אנדרס:

That's a good question. I think Isaac Newton is doing most of the driving right now.

⁶ מנוע הרקטה שנפרד מן החללית, נע לאורך הקו המקוטע עד לפגיעתו בירח.

משרד החינוך

המינהל למדע וטכנולוגיה

הפיקוח על הוראת הפיזיקה

הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

ובעברית: זוהי שאלה טובה. דומני שאייזק ניוטון עושה את עיקר הנהיגה כרגע.

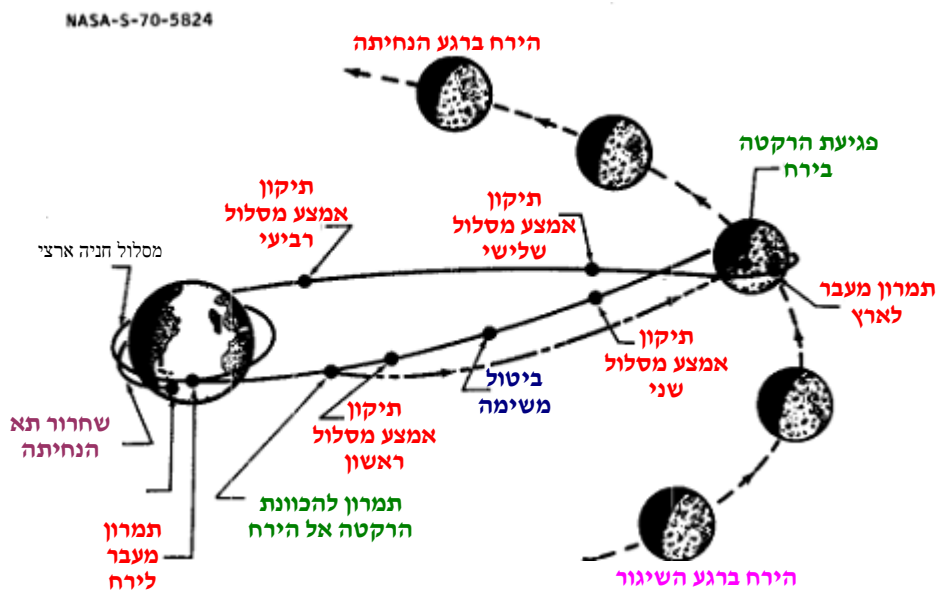
מה שאנדרס ביקש לספר לנו הוא כי רוב הנסיעה בחלל אינה דורשת נהג. הטבע עושה זאת ללא "מגע יד אדם". התמדה וכבידה (שלמדנו אותן מניוטון) עושות את המלאכה. בתחום מתאים אנו יכולים ליזום תנאי התחלה כאלה שייטיבו לנצל את הטבע לאחר מכן, או להתערב מדי פעם ביזמתנו. לשם כך, ייתכן שנפעיל מדי פעם מנוע רקטי.

המסע של אפולו 13

אפולו 13 יועדה להנחתת אנשים על הירח למט רות מחקר. ההבדל בין המסלול שלה לבין זה של אפולו 8 אמור להתרחש כאשר החללית נמצאת ב "מסלול חניה" סביב הירח. מן המסלול הזה החללית משחררת תא נחיתה שנוחת על הירח. זה מחייב רקטות בלימה. עם סיום המשימה האנשים חוזרים אל תא הנחיתה ומשתמשים במנוע רקטי כדי להמריא ולהצמיד את תא הנחיתה אל החללית שבמסלול החניה (שלבם אלה בוצעו באופן מוצלח במסעה המפורסם של אפולו 11).

המסע התנהל לפי הפרוטוקול עד לאחר "תיקון אמצע מסלול ראשון". בהמשך הדרך התגלתה תקלה במכל החמצן. הערכת מצב שנעשתה עם גילוי התקלה, הביאה למסקנה שיש לבטל את המשימה ולהתרכז בהצלת הצוות.

שיגור חללית חילוץ התברר כדבר בלתי ריאלי בלוח הזמנים להצלת הצוות. היה צורך, אפוא, להחזיר את החללית ארצה בהקדם האפשרי. הרעיון להשתמש במנועים הרקטיים כדי להפוך את כיוון התנועה של החללית כך שתחזור על עקבותיה ארצה, לא היה קביל מפני שהחללית נעה במהירות עצומה. כדי להאט את הרקטה עד לעצירה ולהאיצה בכיוון הפוך היה צורך בכמות גדולה מדי של אנרגיה. זה הותיר בידי המתכננים אפשרות אחת – להמשיך במסע אל עבר הירח ולהניח לכוח הכבידה שלו לסובב את החללית כך שתחזור אל הארץ. הנה סרטוט של המסלול על פי NASA:



נתבונן עוד מעט במסלול. למסלול יש צורה של הספרה 8. בתחילת הדרך מן הארץ אל הירח



המסלול הוא קעור מפני שכוח הכבידה שהארץ מפעילה על החללית, מטה אותה בכיוון אחד. כאשר מתקרבים אל הירח, המשיכה של הירח גוברת, והיא גורמת להטיית המסלול בכיוון ההפוך. נקודת המעבר בין החלק הקעור לחלק הקמור (נקודת הפיתול) היא בתפר שבין האזור שבו משיכת הארץ גוברת לבין האזור שבו משיכת הירח גוברת. התקלה אירעה

לקראת ההגעה אל הנקודה הזאת. זה סייע להחלטה להמשיך במסלול, עם תיקון מתאים. עם זאת, המשך ההתרחקות מן הארץ האריך את משך הזמן של הנסיעה בחללית פגועה, עד לנחיתה.

משרד החינוך

המינהל למדע וטכנולוגיה

הפיקוח על הוראת הפיזיקה

הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

התקלה הותירה את תא הפיקוד, שהוא החלק העיקרי של החללית, ללא הספקת אנרגיה מתאימה. כתוצאה מכך עברו האסטרונאוטים אל תא הנחיתה, שהיה מיועד במקורו לשני נוסעים בלבד. זה יצר בעיה מפני שמנגנון סילוק ה- CO_2 מן התא תוכנן לשני נוסעים. גם לזה נמצא פתרון מאולתר. נעשה שימוש מזערי באנרגיה, לכל המטרות. הודות לכך הצליח הצוות לחזור אל הארץ. זה היה מבצע הרואי.

בתמונה שלפנינו נראה השיגור של אפולו 13 על ידי טיל Saturn V (11 באפריל 1970).



ציוד להדגמות תלמידים שהוצגו ביחידה זו (ראו גם דפים לתלמיד בעמודים הבאים)

בלון על חוט: בלון, חוט, קשית שתייה, סרט הדבקה

בלון מסתובב: בלון, קשית שתייה, סיכה, מחק

מכונית מונעת על ידי בלון: פולילגל, שיפודים, קשיות שתייה, סרטי הדבקה, בלון

ציוד לבניית רקטה ולשיגורה

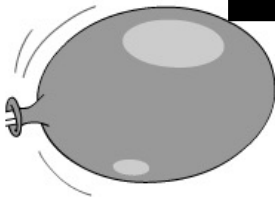
לוחות פולילגל, שיפודי עץ, סיכות מתפצלות, סרטי בידוד או סלוטייפ בצבעים שונים

פקקי גומי (שתואמים את הבקבוקים) ובתוכם סיכה לניפוח כדור

משאבת כדורסל המתאימה לסיכה הנמצאת בתוך הפקק

בקבוק פלסטיק ריק של ליטר וחצי

הדגמת תלמידים – הבלון המעופף

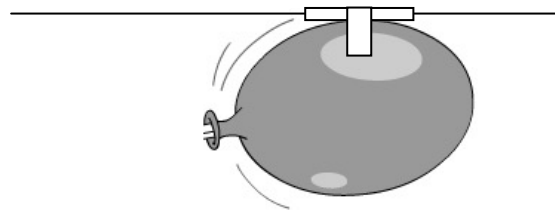


כאשר משחררים את הפייה של בלון מנופח, האוויר יוצא החוצה.

א. באיזה כיוון נע האוויר , ובאיזה כיוון נע הבלון ? מדוע? רשמו את תשובתכם :

ב. בדקו את השערתכם במציאות.

ג. הבלון נע כאחוז תזזית . כדי להסדיר את תנועתו , אפשר להצמיד לו (בעזרת מדבקה) קשית, להשחיל דרכה חוט ולקבוע את שני קצותיו . הבלון ינוע לאורך החוט כפי שמתואר באיור שלפנינו :



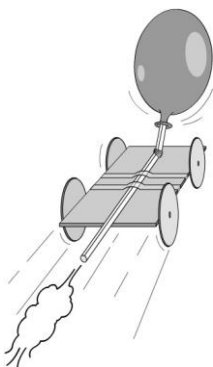
הכינו את ההדגמה בצורה המשכנעת ביותר.

תוכלו להיעזר בסרטונים שבכתובות הבאות :

<https://www.youtube.com/watch?v=5i5nuWRcUv8>

<https://www.youtube.com/watch?v=zz5ENQqtJfI>

הדגמת תלמידים – המכונית הרקטית



באיור שלפנינו אנו רואים רכב שמונע באופן רקטי באמצעות בלון מנופח .

א. הסבירו את עקרון הפעולה של המכונית הרקטית :

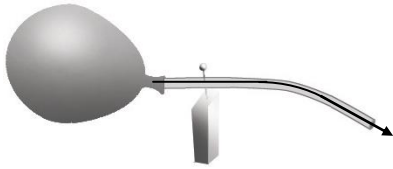
ב. בנו מכונית כזאת . תוכלו להיעזר בסרטונים הבאים כדי לתכנן את המכונית שלכם :

<https://www.youtube.com/watch?v=q76KBy8rMu8>

<https://www.youtube.com/watch?v=zCHLdCI3Ygw&list=PL6F47839C2D1A1738>

https://www.youtube.com/watch?v=3Dw6N0Tn_sU&list=PL6F47839C2D1A1738

הדגמת תלמידים – הבלון המסתובב



באיור שלפנינו מתואר בלון מנופח שמחוברת אליו קש ית שתייה . בתוך הקשית נעוצה סיכה .

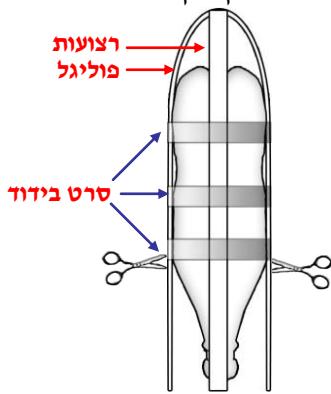
א. כיצד ינוע הבלון? מדוע? רשמו את תשובתכם :

ב. בנו התקן כזה. תוכלו להיעזר בסרטון שבכתובת הבאה :

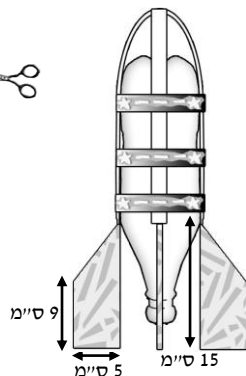
<https://www.youtube.com/watch?v=JkSIWpR4Ymk>

דף מחקר – בניית רקטה

כאשר דוחסים אוויר לבקבוק פקוק , הלחץ בבקבוק גדל עד שהפקק משתחרר . האוויר יוצא בעוצמה רבה דרך הפייה תוך כדי שהוא דוחף את הבקבוק בכיוון ההפוך . אם יש בבקבוק מים (כשליש הבקבוק), נקבל תופעה מרשימה. הנה הוראות בניית רקטה כזאת.

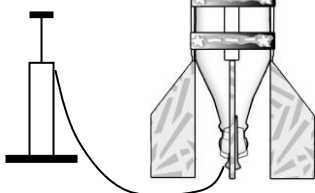


הנחיות בנייה : הרקטה עשויה מבקבוק פלסטי לשתייה קלה (1.5 ליטר). מכינים זוג רצועות פוליגל (1.2 מטר $\times$ 2-3 ס"מ). מצמידים אותן זו לזו במרכזן באמצעות סיכה מתפצלת (ראו סרטוט למעלה), מקיפים את הרקטה ברצועות פוליגל, שאותן מצמידים לבקבוק בסרט בידוד (יש לגזור את עודפי הפוליגל במקומות המסומנים).



מצרפים ארבע כנפיים מייצבות (ראו מידות מומלצות בשתי כנפיים לדוגמה בסרטוט). הכנפיים ייחתכו מפוליגל באופן שהחללים בפוליגל ניצבים לצלע שאורכה 5 ס"מ. משחילים שיפוד דק דרך החלל שסמוך לצלע שאורכה 15 ס"מ. חלקו העליון של השיפוד יוחדר בין הבקבוק לבין סרט הפוליגל (ראו דוגמה בסרטוט). בדרך זו יחוברו המייצבים לבקבוק. צורת החיבור הזאת מאפשרת להגביה או להנמיך את כל אחד מן המייצבים, כן שהרקטה תעמוד אנכית לפני השיגור.

מכניסים לבקבוק מים כדי רבע עד שליש מן הבקבוק . סוגרים את הבקבוק עם פקק גומי (בעל גודל מתאים!) שהוחדרה לתוכו סיכת ניפוח (שלב זה מחייב הפעלת כוח רב והוא מסוכן , ולכן ייעשה מראש על ידי המורה). מחברים את הסיכה למשאבה (יש לוודא מראש התאמה בין סיכת הניפוח למשאבה). מפעילים את המשאבה עד לרגע שבו לחץ האוויר מפריד בין הבקבוק לבין הפקק. הרקטה יוצאת לדרך!



סדרי עדיפויות ביחידת לימוד זו

יחידה זו היא עשירה למדי. הדבר מחייב לקבוע עדיפויות. הנה פירוט הדברים.

חלק א: שינוי בתנועה באינטראקציה

בפתיחת היחידה אנו עוסקים בתוצאות שעולות משילוב של חוקי התנועה של ניוטון. בכך אנו מגיעים לנקודת שיא במהלך שהחל בהכרזה על אינטראקציה והדדיות ומסתיים עתה בכללים כמותיים. את העניין הזה יש להבהיר היטב. מדובר במיוחד בכך שיחס התאוצות הפוך ליחס המסות, ובמילים אחרות – יחס השינויים במהירות הפוך ליחס המסות (כיווני השינוי הפוכים). זאת **יש להדגים במציאות ולהתייחס בשאלות ברמה של אלה שבסוף היחידה כאן**.

בשלב זה אפשר לסכם בכך כי אנו יכולים ליזום שינוי בתנועה על ידי אינטראקציה. על פני הארץ אנו עושים זאת באינטראקציות מגע עם גופים (חיכוך, כוח נורמלי). בחלל אין לנו מגע עם גופים אחרים, ואנו נתונים לחסדי הכבידה (וההתמדה). הדרך היחידה ליזום אינטראקציה כרוכה בפיצול הגוף לשני חלקים, כך שכל אחד מפעיל כוח על האחר. חשוב מאוד לתרגל כאן **שאלות איכותיות שממחישות את העיקרון. אין להיכנס לשאלות כמותיות לא טריוויאליות**. נשאיר זאת לכיתה ט.

זוהי הזדמנות **להתמודד שוב עם התפיסות השגויות** שקשורות בחוק השלישי של ניוטון, שנובעות מזה שבמבחן התוצאה אין רואים הדדיות מלאה, עד כדי סימטריה. מומלץ לעסוק בדברים. עם זאת, **אין להרחיב בכך על פני שיעורים ממושכים**. ההצעות להדגמה וסרטי הווידאו מאפשרות לסיים זאת בזמן סביר.

חלק ב: רקטה

רקטה היא מימוש של חוקי התנועה של ניוטון. היא חלק מסיפור המסע לחלל. תלמידים אוהבים לשגר רקטות. יש כאן עקרונות פיזיקליים. יש כאן מקורות להניעה (מוטיבציה) של התלמידים. בכל אלה יש לעסוק. עם זאת, חשוב מאוד לשים לב שרקטה אינה דוגמה טובה לחישובים כמותיים. מדובר בגופים שהמסה שלהם משתנה. תנועת הרקטה תלויה בקצב פליטת הגז, שעשוי להשתנות במהלך התנועה, בכוח הכבידה, ובשלב של התנועה באטמוספירה – גם בכוח הריסון שהאוויר מפעיל. בעיות מורכבות כאלה הן מעבר לרמת החטיבה העליונה, ואפילו מעבר ללמידה הסדירה בפיזיקה במוסדות להשכלה גבוהה. **איננו מעוניינים ביישומים כמותיים של חוקי התנועה של ניוטון בהקשר של הרקטה. אין צורך בשימוש בחוק שימור התנע**, שאינו כלול בתכנית הלימודים לכיתה ח. **התלמידים אמורים להיות מסוגלים לדון מילולית בעקרונות התנועה של הבלון, מטוס הסילון והרקטה**. השאלות שבסוף היחידה ממחישות את הדברים. התלמידים אמורים להיות מסוגלים להסביר את הרקע המיקרוסקופי. הם אמורים לבנות הדגמות של הנעה רקטית ולהציגן בפני חבריהם בליווי הסבר של עקרונות הפעולה. חשוב מאוד לאתר במהלך שנת הלימודים יום שיהיה שבו התלמידים יבנו רקטות, יטיסו אותן ויחקרו את ביצועיהן (מדידת גובה מרבי, מדידת תלות בכמות המים...). טילים מונחים וההבדל בין טיל לרקטה אמורים להיות מוצגים ברמה של העשרה.

מהירות ההימלטות אמורה להיות מוצגת ברמה העקרונית. חשוב מאוד להדגיש בפני התלמידים כי אין מדובר במהירות שנדרשת כדי לצאת מן האטמוספירה ולהגיע לתחנת החלל. זה עלול להביא את התלמידים למסקנה שכוח המשיכה של הארץ משתרע רק עד שם.

חלק ג: כוח כמשנה כיוון תנועה בחלל

כאן אנו מבקשים לחבר את כל העקרונות של ניוטון בתוך מסגרת שמגרה את הדמיון של התלמידים. **התלמידים אמורים להבין את התמונה הבאה ולדבר עליה באופן חופשי**: תנועה בחלל היא תנועה ללא כוחות מגע. בהעדר כוחות נוספים, הגוף נע במהירות קבועה בקו ישר. כוחות אינם מבטלים את התנועה הזאת, אלא מכניסים בה שינויים. גודל השינוי נקבע על ידי גודל הכוח. הכוח שפועל בחלל הוא כוח הכבידה. הוא עשוי לשנות את גודל המהירות של הגוף ואת כיוון התנועה. במובן זה עתידו של הגוף מוכתב. עם זאת, יש ביכולתנו לתכנן מראש את המסלול, בכך שאנו קובעים את זמן השיגור ואת מהירות השיגור, כך שהחללית תושפע על ידי הכבידה באופן שמתאים לנו. מעבר לזה, אנו יכולים ליזום פיצול של גופים (הנעה רקטית), ולהכניס בדרך זו תיקונים למסלול.

הדיון בכוח כמשנה כיוון אמור להיות איכותי (כדי לפנות שמאלה יש צורך בהפעלת כוח שמאלה...). **אין להכניס נוסחאות. אין גם צורך להיכנס לדיון ברכיבי התאוצה (המשיק והניצב למשיק)**. זה מוקדם מדי.

תלמידים אמורים להכיר את סוגי הלוויינים ואת המרחקים האופייניים מן הארץ, כולל השיקולים שמכתיבים את הדבר. גם זה אינו אמור להיעשות ברמה של שימוש בנוסחאות.

הדיון במסעות חלל ובמסלולים מרגש ופוקח עיניים. אין צורך לזכור בעל פה מסלולים, אך אנו מצפים כי **תלמידים שיראו מפת מסע, יוכלו להתייחס לשלבים השונים באופן אינטליגנטי**.

משרד החינוך

המינהל למדע וטכנולוגיה

הפיקוח על הוראת הפיזיקה

הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

שאלות

כדורי ביליארד

כדור ביליארד נע ופוגע בכדור שני, זהה לו, שנמצא במנוחה. בעקבות הפגיעה הכדור הפוגע נעצר. מדוע ינוע הכדור השני, בעקבות ההתנגשות, באותו כיוון שבו נע הכדור הראשון ובאותה מהירות?

בקבוק משקה מוגז כרקטה

נכניס משקה מוגז לבקבוק, נפקוק אותו בפקק וננער אותו, כך שהפקק ישתחרר מן הבקבוק ויעוף למרחק.

א. מה דוחף את הפקק?

ב. הבקבוק שהיה על השולחן נותר במקומו ולא זז. מדוע הבקבוק לא נרתע?

ג. הציעו ניסוי שבו אפשר יהיה להבחין בריתע של הבקבוק.

ד. האם הבקבוק יירתע באותה המהירות שבה הפקק עף?

מיכל גז

תיבה אטומה ומלאה גז דחוס מונחת על משטח אופקי חלק. ברגע מסוים פותחים חריר בדופן הימנית של התיבה.

א. האם התיבה תנוע? אם כן, באיזה כיוון? מדוע? אם לא, מדוע?

עתה חוזרים על הניסוי כאשר פותחים בעת ובעונה אחת שני חרירים, האחד בדופן הימנית והשני בדופן השמאלית. החריר השמאלי רחב יותר.

ב. האם התיבה תנוע? אם כן, באיזה כיוון? מדוע?

בניסוי נוסף מניחים את התיבה במנוחה. תחילה פותחים את הפתח הימני. לאחר זמן קצר משתחררת החסימה מן הפתח השמאלי.

ג. תארו את תנועת התיבה מרגע יציאתה לדרך.

תחנת החלל הבין-לאומית

תחנת החלל נעה במסלול כמעט מעגלי סביב הארץ. לצורך השאלה נניח כי המסלול הוא מעגלי וכי אין שום כוח מעכב על התחנה.

א. איזה כוח פועל על התחנה? מה כיוון פעולתו של הכוח?

ב. האם הכוח פועל עם כיוון התנועה? האם הוא פועל כנגד כיוון התנועה?

נוסעי התחנה מפעילים מנוע רקטי כך שהגז יוצא בכיוון התנועה.

ג. האם מהירות התחנה תגדל, תקטן או לא תשתנה?

ד. האם התחנה תישאר במסלול מעגלי? מדוע?

לויין תקשורת

א. האם לויין ריגול שמקיף את הארץ בתשעים דקות, יכול להיות לויין תקשורת? מדוע?

ב. האם עלינו לספק ללויין אנרגיה כדי שתנועתו סביב הארץ תימשך לאורך זמן?

לויין צילום

א. לוייני צילום נעים במסלולים נמוכים מעל פני הארץ? מדוע?

ב. האם כדאי לשגר לויין צילום שינוע בגובה של ק"מ אחד (בהנחה שלא ייתקל בהרים)?

משרד החינוך

המינהל למדע וטכנולוגיה

הפיקוח על הוראת הפיזיקה

הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

תשובות לשאלות

כדורי ביליארד

- כדור ביליארד נע ופוגע בכדור שני, זהה לו, שנמצא במנוחה. בעקבות הפגיעה הכדור הפוגע נעצר. מדוע ינוע הכדור השני, בעקבות ההתנגשות, באותו כיוון שבו נע הכדור הראשון ובאותה מהירות? הכוחות בין הכדורים הם בכיוונים הפוכים. על הכדור הראשון פעל כוח אחורה, ולכן הכוח יפעל על הכדור השני בכיוון הנגדי, והוא יאיץ את הכדור הנפגע בכיוון של הכדור הפוגע.
- כיוון שהמסות שוות, הפחת במהירות של הכדור הפוגע שווה לתוספת המהירות לכדור הנפגע. מכאן שהכדור הנפגע ינוע במהירות שהייתה לכדור הפוגע.

בקבוק משקה מוגז כרקטה

נכניס משקה מוגז לבקבוק, נפקוק אותו בפקק וננער אותו, כך שהפקק ישתחרר מן הבקבוק ויעוף למרחק.

א. מה דוחף את הפקק?

הגז שנמצא בתוך הבקבוק דוחף את הפקק.

ב. הבקבוק שהיה על השולחן נותר במקומו ולא זז. מדוע הבקבוק לא נרתע?

הבקבוק לא נרתע מפני שהשולחן הפעיל כוח נגדי שקיזז את כוח הדחף.

ג. הציעו ניסוי שבו אפשר יהיה להבחין בריתע של הבקבוק.

נניח את הבקבוק בשכיבה על גלגיליות או על משטח חלק ממש.

ד. האם הבקבוק יירתע באותה המהירות שבה הפקק עף?

כיוון שהמסה של הבקבוק גדולה בהרבה מן המסה של הפקק, מהירותו תהיה קטנה בהרבה מן המהירות של הפקק.

מיכל גז

תיבה אטומה ומלאה גז דחוס מונחת על משטח אופקי חלק. ברגע מסוים פותחים חריר בדופן הימנית של התיבה.

א. האם התיבה תנוע? אם כן, באיזה כיוון? מדוע? אם לא, מדוע?

הגז יצא דרך החריר ימינה. הדבר מעיד על אינטראקציה שבה הגז דוחף את התיבה שמאלה. התיבה שהייתה במנוחה, תנוע שמאלה.

עתה חוזרים על הניסוי כאשר פותחים בעת ובעונה אחת שני חרירים, האחד בדופן הימנית והשני בדופן השמאלית. החריר השמאלי רחב יותר.

ב. האם התיבה תנוע? אם כן, באיזה כיוון? מדוע?

יותר גז נפלט שמאלה מאשר ימינה, ולכן הכוח שהגז מפעיל ימינה, גדול מן הכוח שהגז מפעיל שמאלה. הכוח השקול על התיבה הוא ימינה. התיבה שהייתה במנוחה, תנוע ימינה.

בניסוי נוסף מניחים את התיבה במנוחה. תחילה פותחים את הפתח הימני, אך לאחר זמן קצר משתחררת החסימה מן הפתח השמאלי.

ג. תארו את תנועת התיבה מרגע יציאתה לדרך.

תחילה התיבה תנוע שמאלה (סעיף א). עם פתיחת החריר השמאלי, הכוח מחליף כיוון (סעיף ב).

התיבה שנמצאת כבר בתנועה שמאלה, תאט את תנועתה שמאלה עד שתיעצר ותתחיל לנוע

ימינה. עניין ההאטה עשוי להיות קשה לחלק מן התלמידים. יש להסביר להם את הדברים.

משרד החינוך

המינהל למדע וטכנולוגיה

הפיקוח על הוראת הפיזיקה

הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

תחנת החלל הבין-לאומית

תחנת חלל נעה במסלול מעגלי סביב הארץ.

א. איזה כוח פועל על התחנה? מה כיוון פעולתו של הכוח?

כדור הארץ מפעיל על התחנה כוח כבידה שמכוון אל מרכז הארץ.

ב. האם הכוח פועל עם כיוון התנועה? האם הוא פועל כנגד כיוון התנועה?

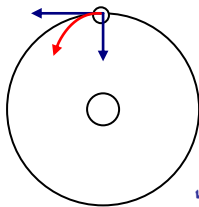
הכוח אינו פועל עם התנועה וגם לא כנגדה. הפועל פועל בניצב לכיוון התנועה ומחולל שינוי בכיוון התנועה.

נוסעי התחנה מפעילים מנוע רקטי כך שהגז יוצא בכיוון התנועה.

ג. האם מהירות התחנה תגדל, תקטן או לא תשתנה?

יציאת הגז בכיוון התנועה מעידה שמופעל עליו כוח בכיוון זה, מכאן שהגז ידחף את התחנה כנגד כיוון התנועה. מהירות התחנה תקטן.

ד. האם התחנה תישאר במסלול מעגלי? מדוע?



בסרטוט אנו רואים את התחנה נעה שמאלה, אך הכבידה נותנת לה תוספת של תנועה אל מרכז הארץ. כתוצאה מזה התחנה משנה את כיוון תנועתה ונעה במסלול מעגלי. כאשר מקטינים את המהירות (בעקבות הפעלת הרקטה), התנועה שמאלה מושפעת יותר על ידי תוספת המהירות אל מרכז הארץ, והלוויין סוטה מן המסלול יותר לכיוון מרכז הארץ. יש להניח שניסוח של הסבר כזה יהיה קשה לתלמי דים. אין לתת אותו במבחן, אך יש מקום לדון על הדברים, כך שגם אם יש קשיי ניסוח, יתחיל תהליך של הבנה.

לוויין תקשורת

א. האם לוויין ריגול שמקיף את הארץ בתשעים דקות, יכול להיות לוויין תקשורת? מדוע?

לוויין תקשורת חייב להקיף את הארץ במשך יממה אחת ולא בתשעים דקות. לוויין הריגול אינו עומד בתנאי הזה.

ב. האם עלינו לספק ללוויין אנרגיה כדי שתנועתו סביב הארץ תימשך לאורך זמן?

הלוויין מוחזק במסלולו על ידי משיכת הארץ. איננו צריכים להשקיע מצדנו דבר (לאחר שהכנסנו אותו למסלול). אם ניקח בחשבון ש"החלל" אינו ריק לחלוטין, ייתכן שלאחר זמן רב הלוויין יואט ויפסיק לשמש את ייעודו.

לוויין צילום

א. לווייני צילום נעים במסלולים נמוכים מעל פני הארץ? מדוע?

צילום מקרוב מאפשר כושר הפרדה גבוה (רזולוציה גבוהה).

ב. האם כדאי לשגר לוויין צילום שינוע בגובה גבוה של ק"מ אחד (בהנחה שלא ייתקל בהרים)?

לא כדאי שהלוויין ינוע בתוך האטמוספירה שתאט אותו ותוציא אותו מתפקודו מוקדם מדי.