

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 רקטת בתחילת הדרך. לעומת זה, מסעות במרחבי החלל אינם יכולים ליהנות משיטה זו.

ההנעה הסלונית של המדוזה

בעולם החי יש דוגמה מעניינת של הנעה סלונית, שבה ממלאים המים את תפקיד האוויר. המדוזה משתמשת בשיטה זאת כדי להתקדם. היא מכניסה מים לתוך כיפת גופה, ומתיזה אותם כנגד כיוון ההתקדמות הרצוי.

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 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**).¹

אם נרצה לשגר רקטה מעל פני גרם שמים כזה, יהיה עלינו להשקיע יותר ככל שמהירות ההימלטות גדולה יותר.

¹ יש לשים לב שהחישוב מבוסס על ההנחה שהארץ היא הגורם היחיד שמשפיע על תנועת העצם הנמלט. אם ניקח 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 .

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

הנעה רקטת: 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.

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.

במרחק שבו ממוקמת תחנת החלל, הכבידה אינה שונה בהרבה מזו שעל פני הארץ, אכן יש להשקיע הרבה כדי לצאת מן האטמוספירה, אך לא לזה מתייחס המונח "מהירות ההימלטות".

חור שחור

מהירות ההימלטות מזמנת דיבור על חורים שחורים.

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 ייראה 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 תדייק יותר אם תהיה מצוידת במערכות כאלה. "כיפת ברזל" מיועדת למטרות כאלה.

רקטה (Rocket) שיש לה מערכות הנחייה כאלה נקראת **טיל** (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 ההנחה עשירים מאוד מבחינה פיזיקלית, אך חורגים במידה ניכרת מן העיסוק בכוח ובתנועה (חוקי התנועה של ניוטון).

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

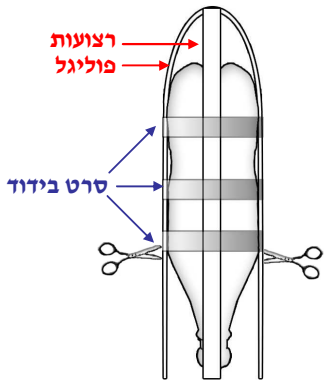


Image credit: NASA

בנייה של רקטת מים

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

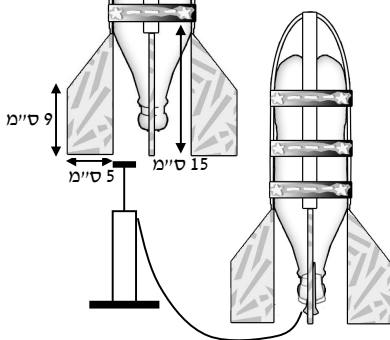
http://www.youtube.com/watch?annotation_id=annotation_743153&feature=iv&src_vid=5w5hW8BfBlk&v=ENf5urah0TA



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 פוליגל 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 פוליגל (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!