

פרויקט "כח דחף ותנועה רקטית"

צוות H

פיזיקה 1

3-2023

חברי הקבוצה:

יובל קוז'יקרו

טניה גולדברג

רועי שריד

שי קבליס

גיא קירשן

תוכן עניינים

3.....	הקדמה
4-8.....	תיאוריה
9-19.....	פתרון תרגילים נתונים
20-25.....	מבחן אמריקאי
26-28.....	רפלקציה וסיכום
29.....	בבליוגרפיה
30.....	סרטון הפרויקט
32-37.....	נספחים

הקדמה

במסגרת קורס 'פיזיקה 1' התבקשנו לבצע פרויקט בנושא 'כח דחף ותנועה רקטית'. בפרויקט זה נחקור ונעמיק בנושא. תחילה נלמד את הנושא, נדון עליו, נחפש מקורות מידע אודותיו נענה על שאלות וגם נבנה שאלות בעצמנו.

ל'כח דחף ותנועה רקטית' ישנן דוגמאות מחיי היום יום כגון מנוע סילון אשר מאיץ אוויר לאחור ונדחף קדימה בעקבות פליטת אוויר, כלי שיט שמייצרים דחף (קדמי או אחורי) על ידי דחיפת המים בכיוון ההפוך לכיוון ההתקדמות הרצוי, אך הדוגמה הבולטת והמרכזית שנעסוק בה היא כח הדחף בתנועה רקטית.

כח הדחף הוא כח הפועל על גוף בכיוון מסוים כאשר לגוף תאוצה בכיוון הנגדי לכח. נחשב אותו ע"י מכפלת קצב שינוי המסה (מסה כתלות בזמן) במהירות הפליטה או הקליטה של המסה.

רקטה היא מערכת בה המנוע של הרקטה שורף דלק ופולט אותו כשטף של חלקיקים מזנב הרקטה. כתוצאה מכך מסת הרקטה פוחתת עם הזמן. החלקיקים שנפלטים נהדפים אחורה כתוצאה ממתקף שגוף הרקטה מפעיל עליהם ובהתאם לחוק השלישי מפעילים בעצמם. זהו הבסיס להנעה רקטית.

מערכת זו היא מערכת בה כמות המסה משתנה (אינה קבועה). מסה משתנה מתארת מצב בו גוף משנה את מסתו ובכך משנה את מהירותו. במקרה שלנו- טיל הפולט גזים מתאר מצב בו גוף מקטין את מסתו, ולעומת זאת, מים שממלאים קערה (דוגמה בה נעסוק בהמשך) מתאר מצב בו גוף מגדיל את מסתו.

לאור השאלות, המחקר והמשימות שעליהם נתבקשנו לענות, לדעתנו, מטרת הפרויקט היא ללמד אותנו שיטות מחקר, העמקה בנושא, חיפוש אחר מקורות מידע, הסקת מסקנות והכי חשוב- עבודת צוות.

תיאוריה

התנע הקווי וחוק שימור התנע הקווי

ניוטון הגדיר את התנע הקווי של גוף נקודתי כווקטור השווה למכפלת המסה במהירות, או בסימון מתמטי :

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

התנע הקווי הוא גודל ווקטורי המתקבל ממכפלת מסת הגוף m בווקטור המהירות הרגעית V . מכיוון שהמסה היא תמיד גודל סקלר חיובי וווקטור התנע וווקטור המהירות יהיו תמיד באותו כיוון. תנע זה קשור לתנועתו של גוף ממקום אחד למקום אחר, בין שהתנועה הכוללת של הגוף מתרחשת לאורך קו ישר, ובין שלא.

לעיתים קרובות משתמשים רק במונח 'תנע' עם זאת, משתמשים במושג 'תנע קווי' על מנת להבדיל בינו ובין התנע הזוויתי.

תנע קווי של מערכת הוא הסכום הווקטורי של התנעים של כל הגופים במערכת. קצב השינוי של התנע הקווי של המערכת הוא סכום כל הכוחות החיצוניים הפועלים על המערכת.

חוק שימור התנע הקווי קובע שבמערכת שבה הכוח החיצוני השקול מתאפס- נשמר התנע הקווי של המערכת. [קמינגז ק', לוז פ', רדיש א', קוני פ' (2015). מבינים פיזיקה. ירושלים: הוצאת מאגנס, האוניברסיטה העברית].

חוק שימור התנע הקווי משמעו שכאשר שקול הכוחות החיצוניים הפועל על מערכת מתאפס, התנע הקווי של המערכת נשמר:

$$\frac{d\vec{p}_{TOTAL}}{dt} = \sum \vec{F}^{EXT}$$



$$\begin{aligned} \sum \vec{F}^{EXT} = 0 &\Rightarrow \frac{d\vec{p}}{dt} = 0 \\ &\Rightarrow \vec{p} = \text{Constant} \end{aligned}$$

אף על פי שמערכת יכולה להיות מסובכת, אם שקול הכוחות החיצוניים על המערכת מתאפס, התנע הקווי שלה נשמר.

חוק שימור התנע הוא חוק ווקטורי, ולכן הוא מתקיים בכל כיוון בנפרד.

$$\vec{p}_i = \vec{p}_f$$

כאשר התנע נשמר, התנע הכולל בתחילת אירוע שווה לתנע בסופו.

[פרנקל, ג' (2013). פיזיקה קלאסית- מכניקה]

כוח הדחף

כוח הדחף (גם ווקטור בעל גודל וכיוון) הוא כוח תגובה הנובע מהחוק השלישי של ניוטון ככוח תגובה של האצת מסה לכיוון מסוים. למעשה, הוא כח הפועל על גוף בכיוון מסוים כאשר אותו גוף מאיץ מסה בכיוון הנגדי. (בזמן שמערכת מסוימת מאיצה מסה לכיוון (X) כוח הדחף יאיץ את המערכת לכיוון (X-) במערכת חד מיימדית ללא התערבות של כוחות חיצוניים). הוא פועל בכיוון ההפוך לכיוון החומר המואץ.

נוסחת חישוב הדחף :

$$\mathbf{T} = \frac{dm}{dt} \mathbf{v}$$

- \mathbf{T} - הוא כוח הדחף הנוצר
- $\frac{dm}{dt}$ הוא קצב השינוי במסה (שיעור פליטת הגזים)
- \mathbf{v} - מהירות הגזים הנפלטים ביחס לרקטה

דוגמאות לכוח דחף

הנעה רקטית

העיקרון העומד מאחורי תנועתם של טילים הוא חוק שימור התנע. מנועי הטיל פולטים גזים בכיוון המנוגד לכיוון תנועת הטיל, גזים אלה מקבלים תנע בכיוון נגדי לכיוון תנועת הטיל, וכתוצאה מכך מוענקת לטיל תוספת תנע בכיוון תנועתו.

תנע המערכת (טיל + גז שנפלט) בתחילת פרק הזמן הוא: $m * v$

כוח הדחף הפועל על טיל שווה למכפלת קצת פליטת הגזים במהירותם יחסי לטיל, ומנוגד בכיוונו לכיוון פליטתם היחסית לטיל. [זינגר ד'. (1996) מכניקה – חלק ב'].

חללית- בדומה להנעה רקטית

חלליות מצוידות במנוע רקטי שממנו נפלט גז במהירות רבה, כתוצאה מכוח שהמנוע מפעיל עליו. הגז הנפלט מפעיל כוח על הרקטה. כאשר מסתכלים על מערכת הרקטה והגז הנפלט- זהו כח פנימי, אולם לגבי הרקטה- זהו כוח שהגז הנפלט מפעיל עליה, לכן זהו כוח חיצוני.

כוח חיצוני זה מאיץ את הרקטה. בעת הפיצול פועל כוח דחייה בין שני הגופים, והם יקבלו תוספת מהירויות בכיוונים מנוגדים, ויתרחקו זה מזה.

כדי להאיץ את הרקטה משחררים גז בעל מהירות גדולה בכיוון מנוגד לכיוון ההאצה הרצוי. [רוזן ע' (2010). מכניקה ניוטונית- כרך ב'].

הנעה סילונית

ההנעה הסילונית היא תנועת גוף הנוצרת עקב התפרקות חלק כלשהו במהירות כלשהי יחסית לגוף. לדוגמה: פליטת חומרי שריפה ממנוע מטוס סילון, כתוצאה מכך נוצר כוח רתע הדוחף את הגוף. דוגמה נוספת: לנפח בלון ולשחררו. בלון מלא באוויר, המאיץ גז בכיוון מסוים ינוע על ידי כוח הדחף בכיוון המנוגד לכיוון הדחיפה במערכת ללא התערבות כוחות חיצוניים. הבלון יעוף מהר משך זמן המעוף יהיה קצר והכוח יפעל על הבלון כל עוד נמשכת זרימת האוויר מהבלון החוצה.

סילון מים

כלי שיט מייצרים דחף (קדמי או אחורי) על ידי דחיפת המים בכיוון ההפוך לכיוון ההתקדמות הרצוי. דוגמה נוספת היא צינור כיבוי אש הנרתע לאחור (או "משתולל" לכל הכיוונים) בשל הדחף אותו יוצר סילון המים הנפלט מקצהו. [ויקיפדיה].

הקשר בין כוח דחף לבין חוק שימור התנע

דחף הוא כוח שגורם לעצם להאיץ, בעוד התנע הוא מדד לתנועתו של עצם. הקשר בין דחף לתנע הוא שעלייה בדחף יכולה לגרום לעלייה בתנע, בעוד שירידה בדחף יכולה לגרום לירידה בתנע. לדוגמה, רקטה שמאיצה כלפי מעלה. מנועי הרקטה מייצרים כוח דחף שדוחף את הרקטה לכיוון ההפוך לגזי הפליטה הנפלטת. גודל כוח הדחף תלוי בכמות הדלק הנשרפת ובמהירות גזי הפליטה. ככל שהטיל מאיץ, התנע שלה עולה. אם הדחף גדל, למשל על ידי הגדלת כמות הדלק הנשרפת, תגבר גם התנע של הרקטה. לעומת זאת, אם הדחף יורד, למשל על ידי כיבוי המנועים, תנופת הרקטה תפחת. אותו דבר בחללית. ראוי לציין שהיחס בין דחף לתנע אינו מערכת יחסים פשוטה של אחד לאחד. גם גורמים כמו מסת העצם וכיוון הכוח יכולים להשפיע על התנע של האובייקט.

משוואת התנועה (מהחוק השני של ניוטון):

$$M_A(t) \vec{a}_R = \vec{F}_{B,Ext} + \vec{F}_{Thrust}$$

$$M_A(t) \vec{a}_R = \text{קצב שנוי המסה כפול תאוצה}$$

$$\vec{F}_{B,Ext} = \text{כוחות חיצוניים}$$

$$\vec{F}_{Thrust} = \text{כוח התנע}$$

"צעד קטן לאדם, צעד גדול לאנושות"

בשנת 1969 אפולו 11 טסה לירח בפיקודו של ניל ארמסטרונג, רכב חלל נשלח ממנה אל הירח. זו הייתה הפעם הראשונה שאדם נחת על הירח.

אפולו 11 שוגרה על ידי משגר 'הסטורן 5' ממרכז החלל הקנדי.

חללית האפולו הייתה מורכבת משלושה חלקים- החלק הראשון הוא תא הפיקוד בו שהו שלושה האסטרונאוטים במשך רוב המשימה והוא גם היה החלק היחיד שחזר לכדור הארץ. החלק השני הוא תא השירות אשר סיפק מערכת הנעה, חשמל, חמצן ומים עבור תא הפיקוד. החלק השלישי הוא רכב הנחיתה הירחי אשר הורכב משני שלבים – שלב הנחיתה עבור נחיתה על פני השטח של הירח ושלב המראה המיועד לשגר את האסטרונאוטים בחזרה למסלול סביב הירח ולעגון עם תא הפיקוד.

לאחר שהשלב השלישי של משגר הסטורן 5 ביצע תמרון מעבר ירחי ושלח את חללית האפולו לכיוון הירח, החללית נפרדה מהמשגר ונעה במשך שלושה ימים עד אשר נכנסה למסלול סביב הירח. לאחר מכן ארמסטרונג ושאר האסטרונאוטים עברו מתא הפיקוד אל רכב הנחיתה הירחי ונחתו בים. בסיום שהותם על אדמת הירח, הם השתמשו בשלב ההמראה של רכב הנחיתה הירחי על מנת להיכנס למסלול סביב הירח ולעגון בחזרה אל תא הפיקוד.

לאחר עגינתם, הם נפרדו מרכב הנחיתה הירחי וביצעו מספר תמרונים אשר הוציאו אותם ממסלול סביב הירח ושלחו אותם לכיוון כדור הארץ. לאחר יותר משמונה ימים בחלל, תא הפיקוד ובו האסטרונאוטים, חדר לאטמוספירת כדור הארץ ונחת בצניחה אל האוקיינוס השקט.

כמה עובדות חשובות על 'הסטורן 5':

- סטורן 5 היה משגר תלת - שלבי כבד אשר שימש את נאס"א בשנים 1967–1973 .
- משגר הסטורן 5 הוא המשגר הגדול ביותר, הכבד ביותר והעוצמתי ביותר שנכנס לפעילות.
- הסטורן 5 שיגר את המטען הכבד ביותר אי פעם כאשר שיגר את השלב השלישי של הסטורן 5 אשר נועד לשלוח את רכב הנחיתה הירחי ותאי הפיקוד/שירות של החללית אפולו אל הירח.

כמו שנכתב, החללית אפולו 11 כללה רכיבים, שלכל אחד מהם **דרישות הדלק שלו**. צריכת הדלק הייתה שילוב של הדלק ששימש את הסטורן 5 במהלך השיגור והדלק ששימש את מרכיבי החללית השונים לאורך המשימה. הסטורן 5 ששיגר את החללית אפולו 11 למסלול כדור הארץ, צרכה כ-20 טונות של דלק בשנייה במהלך ההמראה. באופן כללי, קשה לתת הערכה מדויקת של צריכת הדלק הכוללת מכיוון שהיא תלויה בגורמים כמו המסלול המדויק שנלקח, משקל החללית ויעילות המנועים. המשימה דרשה כמות דלק עצומה.

קערה מתמלאת במים

(עמוד 264 מספר הקורס)

הסבירו מדוע ניתן לפתור את השאלה הזו גם על ידי משוואת הטייל וגם על ידי משוואת שימור תנע.

ניתן לפתור את התרגיל ע"י משוואת הטייל, מכיוון שאת כח הדחף אנו פוגשים גם בדחף של מים שמשפיע על תנועה של גוף, כח הדחף של המים גורם לתנועת המיכל בכיוון הנגדי לזרם, גוף הנופל על מסה מייצר כח דחף.

ניתן גם לפתור באמצעות משוואת שימור התנע מכיוון שלמסת הקערה הנייחת מתווספת מסה בכל שניה בעקבות הגשם שמצטבר בתוכה שגורם לתנועתה. הגשם שפוגע בה עוצר ולכן נוצר שינוי התנע.

פתרון תרגילים נתונים

שאלה 1

1. טיל שמסתו $3.6 \times 10^4 \text{ kg}$ ממריא אנכית ממצב מנוחה מפני כדור הארץ. הטיל פולט גזים אחורה במהירות $1800 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ביחס אליו, ובקצב של $580 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$. נתון כי סה"כ הדלק שבטיל הוא $3 \times 10^4 \text{ kg}$.
- רשמו את משוואת התנועה של הטיל
 - מהו כוח הדחף הפועל על הטיל ומהו כיוונו? (11 נק')
 - האם תאוצת הטיל קבועה? אם לא, מתי תאוצתו תהיה מקסימלית?
 - פתרו את משוואת התנועה של הטיל ומצאו את מהירותו כפונקציה של הזמן עד לרגע שבו נגמר הדלק.

פתרון

a. $m_R = 3.6 \times 10^4 \text{ kg}$

$M_{\text{gas}} = 3 \times 10^4 \text{ kg}$

$\frac{dm}{dt} = 580 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$

$\vec{V}_{\text{rel}} = 1800 (-\hat{j}) \frac{\text{m}}{\text{s}}$

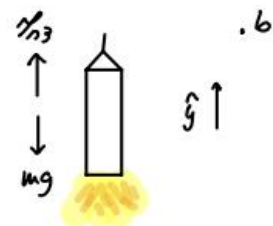
$M_R(t) = m_r - 580(t) [\text{kg}]$

$M_R(t) \vec{a}_R = m_R(t)g + F_{\text{thrust}}$

$(3.6 \times 10^4 - 580t) \vec{a} = -g(3.6 \times 10^4 - 580t) + 580 \cdot 1800$
 $= (3.6 \times 10^4 - 580t) \vec{a} = -g(3.6 \times 10^4 - 580t) + 1.044 \times 10^6 \text{ N}$

$F_t = \vec{V}_{\text{rel}} \frac{dm_R}{dt}$

$\vec{F} = 1800 \cdot 580 = 1.044 \times 10^6 [\text{N}] \hat{j}$



c. מאצת וסל אינו קבוע, גילס (סעי' תוססה כולל מסמן

$\vec{a}(t) = -g\hat{j} + \frac{F_{\text{thrust}}}{m_R(t)} = -g\hat{j} + \frac{1.044 \times 10^6}{(3.6 \times 10^4 - 580t)} \hat{j}$



מאן נטן להסוק שגילס שסטר וסל תגנו מניחור (גילס שגילס נטן)
 מאצת וסל תגנו מקסימלית.

$$M_R(t) = m_r - 580(t) \text{ [Kg]} \quad .d$$

$$M = 3.6 \times 10^4 - 3 \times 10^4 = 6000 \text{ Kg} \quad \text{přesně když se rozejde}$$

$$6000 = 3.6 \times 10^4 - 580 t$$

$$580 t = 30,000$$

$$t = 51.724 \text{ sec}$$

$$\vec{a}(t) = -g \hat{y} + \frac{1.044 \times 10^6}{(3.6 \times 10^4 - 580 t)} \hat{y}$$

$$V(t) - V(0) = \int_0^t \left(-g \hat{y} + \frac{1.044 \times 10^6}{(3.6 \times 10^4 - 580 t)} \right) dt$$

$$V(t) = -gt - \frac{1.044 \times 10^6}{580} \ln \left(\frac{3.6 \times 10^4 - 580 t}{3.6 \times 10^4} \right) \bigg|_0^{51.724}$$

$$V(t) = 2707 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

שאלה 2

2. טיל מאיץ את בחלל, רחוק מכל כוכב לכת, על ידי שחרור גז אחורה. מסת הטיל יורדת עם

הזמן, בגלל שחרור הגז, לפי $M(t) = M_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$, כאשר M_0 ו- τ הם קבועים נתונים. מהירות

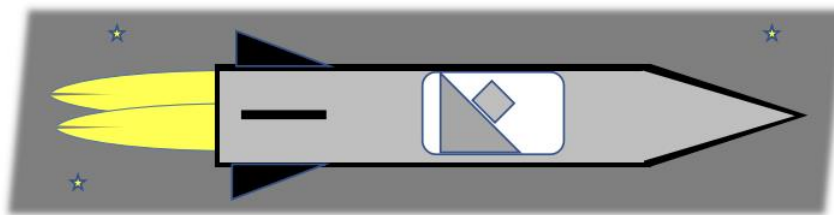
הגז הנפלט ביחס לטיל היא u .

- הכוח היחיד הפועל עליו הוא כוח הדחף.
- הניחו כי הטיל מתחיל ממנוחה.

א. מהי תאוצת הטיל $a(t)$?

ב. הניחו בסעיף זה כי $u = 300 \text{ m/sec}$ ובנוסף כי $\tau = 2 \text{ sec}$. מהי מהירות הטיל כאשר מסתו

יורדת למחצית ממסתו ההתחלתית?



פתרון

$$c) \vec{F}_T = -u_{rel} \cdot \frac{dm}{dt}$$

$$m(t) = M_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow m'(t) = M_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot \left(-\frac{1}{\tau}\right)$$

$$\Rightarrow \vec{F}_T = -u \cdot M_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot \left(-\frac{1}{\tau}\right) \Rightarrow F_T = \frac{u}{\tau} \cdot M_0 \cdot e^{\frac{t}{\tau}}$$

$$\Sigma \vec{F} = F_T = m(t) \cdot a \Rightarrow \Sigma \vec{F} = \frac{u}{\tau} \cdot M_0 \cdot e^{\frac{t}{\tau}} = a(M_0 \cdot e^{\frac{t}{\tau}})$$

$$\Rightarrow \Sigma \vec{F} = \frac{u}{\tau} = \vec{a}$$

$$g) V(t) = \int_0^t \frac{u}{\tau} dt \Rightarrow \frac{u}{\tau} \cdot t \Rightarrow u = 300 \frac{m}{s}, \tau = 2 \text{ sec}$$

$$\Rightarrow \frac{u}{\tau} \cdot t = \frac{300}{2} \cdot t = 150t \Rightarrow V(t) = 150t \Rightarrow$$

משפט מרחק מהירות (היחס בין המרחק לזמן)

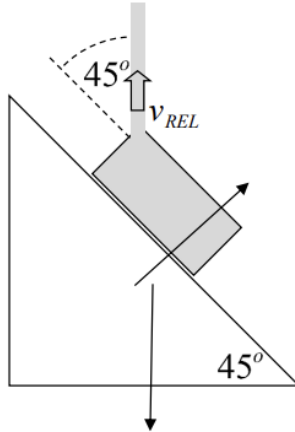
$$\frac{1}{2} M_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = M_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\frac{t}{\tau}$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\frac{t}{\tau} \Rightarrow \ln(2) = \frac{t}{\tau} \Rightarrow t = 1.3865$$

$$V(t) = 150t \Rightarrow V(t) = 150 \cdot 1.3865 \Rightarrow V(t) = 207.944 \frac{m}{s}$$

שאלה 3

3. מיכל שמסתו M_0 מלא ב M_1 קילוגרמים חול ומונח על מישור משופע חלק הנוטה בזווית 45° מהאופק. משאבה המותקנת במיכל שואבת K [kg/sec] קילוגרמים של חול בכל שניה, ומעיפה את החול כלפי מעלה, החוצה מהמיכל, במהירות קבועה v_{REL} ביחס למיכל.



החול שמועף אינו חוזר לתוך המיכל שהתקדם בינתיים במורד המישור המשופע.

a. מהו הכוח הנורמלי שמפעיל המישור המשופע על המיכל בזמן t ? (11 נק')

b. מצאו את תאוצת המיכל כפונקציה של הזמן. (11 נק')

c. מהי מהירות המיכל כפונקציה של הזמן? הניחו כי בתחילה המיכל היה במנוחה. (11 נק')

פתרון

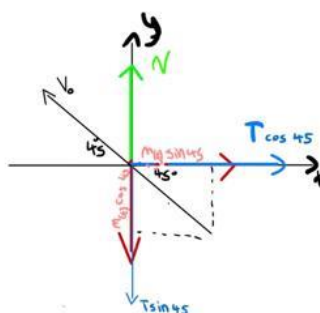
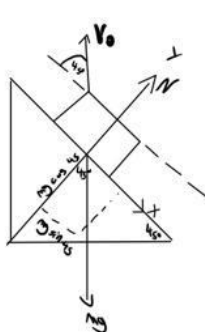
נתון:

(m_0) - מסת המיכל

(m_1) - מסת החול שבמכל

$(m_0 + m_1)$ - מסת המערכת המיכל והחול בפעם הראשונה.

$m_t = (m_0 + m_1) - Kt$ - מסת המיכל והחול שנותר במכל.



מהירות יציבה החול $v_{rel} = v_0 \sin 45^\circ = \vec{j}$
 מהירות המיכל v_{rel}
 מהירות החול v_{rel}

קצב שינוי המסה $\frac{dm}{dt} = -K$ [kg/s]
 המיכל והחול K - קצב
 המסה K - קצב

כוח $\vec{T} = \vec{j} \cdot \frac{dm}{dt} = v_0 \cdot (-K) \hat{j}$
 המיכל

①

$$\sum F_y = N - m(t)g \cos 45^\circ - T \sin 45^\circ = 0$$

$$N - m(t)g \cos 45^\circ - (V_0 k \sin 45^\circ) = 0$$

$$N(t) = (m_0 + m_1 - kt) \cdot g \cos 45^\circ + V_0 k \sin 45^\circ$$

$$N = (m_0 + m_1 - kt) \cdot 5\sqrt{2} + \frac{p}{2} V_0 k$$

②

$$\sum F_x = m(t)g \sin 45^\circ + T \cos 45^\circ = m(t)a$$

$$m(t)g \sin 45^\circ = T \cos 45^\circ + m(t)a \quad | : m(t)$$

$$g \sin 45^\circ = \frac{T \cos 45^\circ}{m(t)} + a$$

$$a = g \sin 45^\circ + \frac{T \cos 45^\circ}{m(t)}$$

$$a = 5\sqrt{2} + \frac{V_0 k \sqrt{2}}{2(m_0 + m_1 - kt)}$$

$$a = 5\sqrt{2} + \frac{V_0 k}{2(m_0 + m_1 - kt)}$$

③

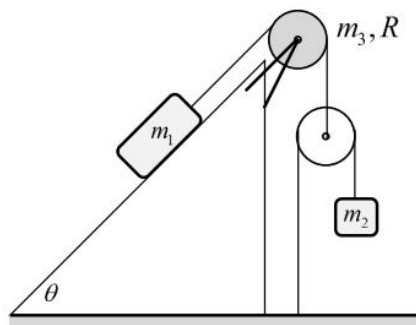
Integration of acceleration to find velocity

$$\int_0^t \left(5\sqrt{2} + \frac{V_0 k}{2(m_0 + m_1 - kt)} \right) dt = 5\sqrt{2}t + \frac{V_0 k}{2} \int_0^t \frac{1}{(m_0 + m_1 - kt)} = 5\sqrt{2}t + \left[\frac{V_0 k}{2k} \cdot \ln |m_0 + m_1 - kt| \right]_0^t$$

$$= 5\sqrt{2}t + \left[\frac{V_0}{2} \ln |m_0 + m_1 - kt| - \frac{V_0}{2} \ln |m_0 + m_1| \right] = \boxed{5\sqrt{2}t + \frac{V_0}{2} \ln \left| \frac{m_0 + m_1 - kt}{m_0 + m_1} \right| = V(t)}$$

שאלה 4

4. מערכת ניסוי בנויה משתי מסות, ושתי גלגלות. המסה השמאלית, m_1 , מונחת על מישור משופע חלק הנוטה בזווית $\theta = 30^\circ$ מהאופק. לגלגלת העליונה מסה $m_3 = m_1$ ורדיוס R . הגלגלת התלויה בקצה החוט אידאלית. נתון כי $m_1 = 2m_2$. המסה m_2 היא שק חול. בזמן $t = 0$ מנקבים חור בתחתית השק ומשחררים את המערכת ממנוחה. דרך החור נשפכים k קילוגרמים של חול בכל שנייה. החול יוצא מהחור במהירות אפס ביחס לשק. רשמו משוואת תנועה ומצאו את מהירות המסה m_1 בזמן t . (9 נק')



פתרון

שלב 1: נתינת ציור:

$$\sum F_x = m_1 - T_1 \Rightarrow m a = m_1 \sin(30^\circ) - T_1$$

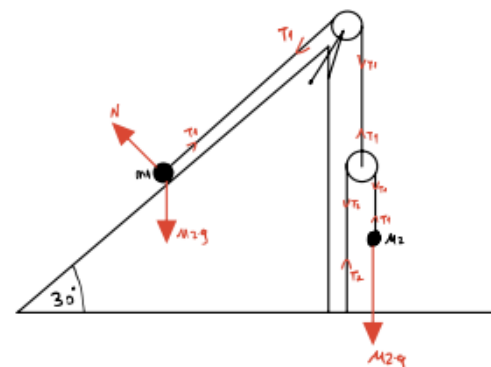
$$\sum F_y = -m_2 g + T_2 \Rightarrow m a = -m_2 g + T_2$$

שלב 2: חזקת משוואות

$$\begin{cases} m a = m_1 \sin(30^\circ) - T_1 \\ m a = -m_2 g + T_2 \end{cases} \Rightarrow 3a = T_2 - T_1 + g \Rightarrow a = \frac{T_2 - T_1 + g}{3}$$

אנרגיה פוטנציאלית

$$V(t) = \int_0^t \frac{T_2 - T_1 + g}{3} dt \Rightarrow V(t) = \frac{T_2 - T_1 + g}{3} \cdot \frac{1}{2} t^2 \Rightarrow V(t) = \frac{1}{6} t^2 (T_2 - T_1 + g)$$



נתיב:

$$m_1 = 2m_2$$

$$m_3 = m_1$$

$$\theta = 30^\circ$$

שאלה 5

5. התקן נחיתה של נאס"א המיועד לנחיתה על מאדים נע במאונך מטה אל פני מאדים במהירות

התחלתית $v_0 = 800 \frac{m}{s}$, המכוונת מטה. מסת ההתקן ברגע זה היא $M_0 = 1000 kg$ כולל הדלק.

מסת הדלק בהתקן היא 500 קילוגרם. לרכב רקטה השולחת 50 קילוגרמים גז בכל שנייה למטה,

לכיוון מאדים, במהירות $v_{REL} = 1000 \frac{m}{s}$ ביחס להתקן. הניחו כי ההתקן קרוב מספיק לפני מאדים

כך שנוכל להתייחס לתאוצת כוח המשיכה של מאדים כקבועה $g' = 3.7 \frac{m}{s^2}$, ולרשום את כוח

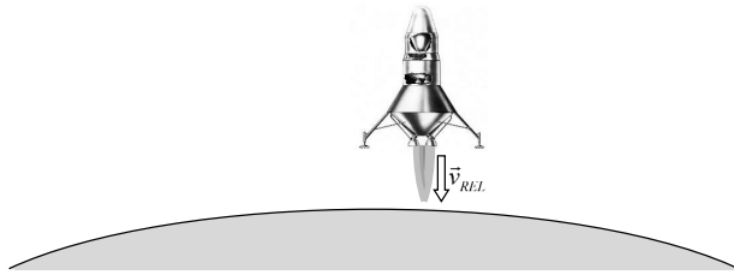
המשיכה בצורה $M(t)g'$. המסה $M(t)$ היא מסת ההתקן בזמן t .

a. מהו כוח הדחף שמייצרת הרקטה? (8 נק')

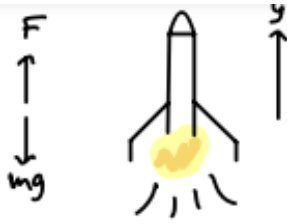
b. רשמו ביטוי לתאוצת התקן הנחיתה לאחר t שניות מרגע הפעלת הרקטות, בהנחה כי עדיין יש דלק בהתקן. (9 נק')

c. מהי מהירות התקן הנחיתה t שניות לאחר הפעלת הרקטה, כל עוד הרקטה פועלת? (8 נק')

d. ברגע שנגמר הדלק, ראש התקן הנחיתה, ניתק בפיצוץ מהרקטה. נתון כי מסת הרקטה הריקה שווה 100 קילוגרמים, מסת ראש ההתקן היא 400 קילוגרם, ומסת אבק השריפה שהתפוצץ זניחה. מהי האנרגיה האגורה באבק השריפה, אם רק 50% מנוצלת לשינוי מהירות חלקי הגופים, ואם חלקו העליון של ההתקן עוצר לאחר הפיצוץ ביחס למאדים? הניחו כי מהירות ההתקן בתחילת חלק זה היא 50 מטר בשנייה כלפי מטה. (8 נק')



פתרון שאלה 5



$$M(0) = 1000 \text{ kg} \quad V_0 = 800 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\frac{dm}{dt} = 50 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

$$V_{REL} = 1000 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$$g' = 3.7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{thrust} = \frac{dm}{dt} \cdot V = 50 \cdot 1000 = 50,000 \text{ N}$$

.a

$$M(t) = m_0 - 50t$$

$$M_R = 1000 - 500 \xleftarrow{M_{gas}} = 500$$

$$500 = 1000 - 50t$$

$$t = 10 \text{ sec} \xleftarrow{\text{משך זמן} \cdot \sqrt{2}}$$

.b

$$M(t) \vec{a} = M(t) g - F_{thrust}$$

$$\vec{a} = g - \frac{F}{m(t)}$$

$$\vec{a} = 3.7 - \frac{50,000}{(1000 - 50t)}$$

$$V(t) - V_0 = \int_0^t \left(g - \frac{F}{M_t} \right) dt$$

$$V(t) - 800 = 3.7t + \frac{50,000}{50} \ln \left(\frac{1000 - 50t}{1000} \right) \Big|_0^t$$

$$V(t) = 3.7t + \frac{50,000}{50} \ln \left(\frac{1000 - 50t}{1000} \right) + 800$$

.c

.d

$$M = 1/10 \text{ טון}$$

$$m_1 = 500 \text{ ק"ג}$$

$$m_2 = 100 \text{ ק"ג}$$

$$V_0 = 50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_r = \text{מהירות הקוף}$$

ישו מרע

$$M V_0 = m_1 \cdot 0 + m_2 V_r$$

$$V_r = \frac{M V_0}{m_2} = 250 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\frac{1}{2} E + \frac{1}{2} M V_0^2 = \frac{1}{2} m_2 V_r^2$$

הכוחות זווית

$$E = m_2 V_r^2 - M V_0^2 = 100 \cdot 250^2 - 500 \cdot 50^2 =$$

$$E = 5 \cdot 10^6 \text{ J}$$

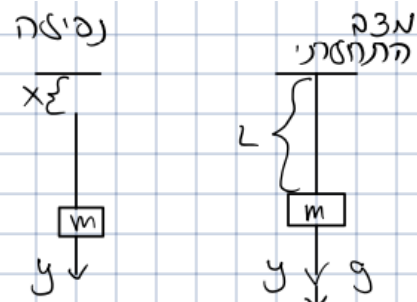
שאלה 6

6. לשרשרת אחידה מסה m ואורך L . מחזיקים את השרשרת אנכית כשהקצה התחתון שלה נוגע במשקל, ומשחררים. התייחסו לחלק השרשרת שעל המשקל כמסה המשתנה, בנוסף הניחו כי החלק שעדיין באוויר נופל בתאוצה g

- הכנה: מהו האורך של החלק שעל המשקל בזמן t ?
- הכנה: מהי המסה של החלק שעל המשקל כפונקציה של הזמן?
- הכנה: מהי מהירות חלק השרשרת המתנוסף למסה שעל המשקל בזמן t ?
- מהו כוח הדחף שמפעיל חלק השרשרת שנופל על המשקל ביחידת זמן על המשקל?
- הראו כי המשקל יראה בכל רגע במהלך הנפילה, משקל השווה פי שלוש מזה של חלק השרשרת הנמצא על המשקל, לו חלק זה היה במנוחה. (רמז: שימו לב כי אין לחלק זה תאוצה, והשתמשו בכך במשוואת הטיל).

פתרון

$$x_0 = 0, v_0 = 0, a_y = g, M_{(0)} = 0$$



האף הנפילה חופשית:

$$\text{a) } y(t) = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$y(t) = 0 + 0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$y(t) = \frac{1}{2} g t^2$$

$$\text{d) } T = \vec{u} \cdot \frac{dm}{dt}$$

$$T = g t \cdot \lambda g t = \lambda g^2 t^2 =$$

$$T = -\lambda g^2 t^2 \quad (\text{הכוח נמצא כיוון התנועה})$$

$$\text{b) } \frac{dm}{dt} = \frac{dM}{dt} \quad (\text{שינוי המסה})$$

$$\lambda = \frac{m}{L}$$

$$M(t) = \lambda \cdot y(t) =$$

$$M(t) = \frac{m}{L} \cdot \frac{1}{2} g t^2$$

$$\text{e) } \frac{dM}{dt} = (\lambda \cdot y(t))' =$$

$$= (\lambda \cdot \frac{1}{2} g t^2)' =$$

$$= 2 \cdot \frac{1}{2} \lambda g t = \lambda g t$$

$$\sum F_y = M \cdot g - N_y$$

$$= \lambda \cdot y(t) \cdot g - N_y$$

$$\text{c) } V_{\text{cm}} = V(t) = [x(t)]' = [y(t)]'$$

$$V(t) = [\frac{1}{2} g t^2]' = g t$$

$$\sum F_{\text{ext}} = M(t) \cdot a + V_{\text{cm}} \frac{dm}{dt} = g t \cdot \lambda g t (-1)$$

$$\lambda \cdot y(t) \cdot g - N(t) = -\lambda g^2 t^2$$

$$\lambda g (y(t) + g t^2) = N(t) \quad t^2 = \frac{2y(t)}{g}$$

$$\lambda g y(t) + \lambda g^2 (\frac{2y(t)}{g}) = N(t)$$

$$\lambda g y(t) + 2 \lambda g y(t) = 3 \lambda g y(t) = N(t) = W$$

מבחן אמריקאי

1. האם ניתן להתגבר על כח המשיכה הפועל על מטוס באמצעות כח הדחף?

א. רק אם כח הדחף שפועל כלפי מעלה גדול מכח המשיכה.

ב. מצב זה לא אפשרי

ג. רק אם כח הדחף שפועל כלפי מעלה קטן מכח המשיכה

ד. רק אם כח הדחף שווה לכח המשיכה

הסבר לתשובה: (א') ניתן להתגבר על כח המשיכה באמצעות כח הדחף, על ידי הפעלת כח דחף כלפי מעלה הגדול מכח הכבידה המושך את המטוס מטה.

2. כח הדחף של רקטה נשאר קבוע כאשר שני גורמים אלה קבועים:

א. מהירות הפליטה וכיוון פליטת הגז

ב. כיוון פליטת הגז וכח הכובד

ג. קצב פליטת הגז ומהירות הפליטה

ד. קצב פליטת הגז ומסת הגוף

הסבר לתשובה: (ג') כח הדחף של רקטה שווה למכפלת קצב פליטת הגז במהירות הפליטה. כל זמן ששני גורמים אלה קבועים- כח הדחף קבוע.

3. משאית שמסתה 7M נושאת חול ועושה את דרכה אל אתר בניה. מסת החול שבמשאית

M. במהלך התנועה התברר כי הנהג לא העמיס את המטען כמו שצריך והחול החל

להישפך החוצה במהירות קבועה ביחס למשאית Vrel.

מה צריך להיות קצב יציאת החול כדי שהמשאית תתקדם בקצב בתאוצה g? (ניתן

להזניח את החיכוך עם האוויר וחיכוך הגלגלים עם הכביש).

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{8M}{V_{rel}} \cdot e^{-\frac{g}{V_{rel}} t} \quad \text{א.}$$

$$\frac{dm}{dt} = \frac{8M}{V_{rel}} \cdot e^{-\frac{g}{V_{rel}} t} \quad \text{ב.}$$

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{7M}{V_{rel}} \cdot e^{-\frac{g}{V_{rel}} t} \quad \text{ג.}$$

$$\frac{dm}{dt} = 7M \cdot e^{-\frac{g}{V_{rel}} t} \quad \text{ד.}$$

הסבר לתשובה: (א'). תשובה ב' נפסלת מכיוון שאין התייחסות לכיוון המהירות היחסית (-X), בתשובה ג' ישנה התייחסות לא נכונה למסות (7M+M) ובתשובה ד' הנגזרת לא נכונה.

4. איזה כוחות פועלים על טיל הממשיך להאיץ בגובה כמה מאות מטרים מעל הקרקע?

- א. כח הנורמל וכח הכבידה
- ב. לא פועלים עליו כוחות כלל
- ג. כוח הכבידה וכח הדחף
- ד. כח ציפה ומתיחות

הסבר לתשובה: (ג') הכוחות הפועלים על טיל הממשיך להאיץ בגובה כמה מאות מטרים מעל הקרקע הם כח הכבידה וכח הדחף.

5. איזה מהגורמים הבאים משפיע על גודל כוח הדחף שנוצר על ידי מנוע רקטי?

- א. צורת הרקטה
- ב. מסת הרקטה
- ג. סוג הדלק
- ד. כל התשובות נכונות

הסבר לתשובה: (ד') ישנם מספר גורמים המשפיעים על גודל כח הדחף שנוצר ע"י מנוע רקטי. אלו כוללים:

קצב זרימת מסת ההנעה: קצב צריכת ההנעה והוצאתו מהמנוע קובע את גודל הדחף שנוצר. מהירות הגז הנפלט: מהירות הגז הנפלט משפיעה גם על גודל הדחף שנוצר, ע"פ חוק התנועה השלישי של ניוטון. עיצוב הזרבובית: הצורה והגודל של פיית המנוע יכולים להשפיע על המהירות והכיוון של חומר ההנעה הנפלט, ומכאן על כמות הדחף שנוצר. לחץ בתא הבעירה: הלחץ בתוך תא הבעירה משפיע גם הוא על כמות הדחף שנוצר, שכן הוא קובע את קצב הוצאת ההנעה מהמנוע. יעילות בעירה: יעילות תהליך הבעירה משפיעה על כמות האנרגיה המשתחררת מחומר ההנעה, אשר בתורה משפיעה על כמות כח הדחף שנוצר. טמפרטורת הדחף הנפלט: טמפ' הדחף הנפלט משפיעה על צפיפותו ומהירותו, ומכאן על כמות הדחף הנוצר. תצורת מנוע: העיצוב הכולל של מנוע הרקטות, כולל מספר וסידורם של תאי הבעירה, החרירים ורכיבים אחרים, יכולים להשפיע על כמות הדחף שנוצר.

6. טיל עולה מפני כדור הארץ בתאוצה a , בצירוף עם הדלק והגז, בהיעדר אטמוספירה, אילו כוחות פועלים על המערכת?

א. כח הדחף וכח הכבידה

ב. כח הכבידה בלבד

ג. לא פועלים כוחות על הגוף כלל

ד. כח הכבידה מכדור הארץ וכח הכבידה של הירח

הסבר לתשובה: (ב') במהלך ההמראה פועלים על המערכת כח הכבידה, כח הדחף וכח תאוצת הגז. תאוצת הגז וכח הדחף שווים זה לזה ולכן לפי החוק השלישי של ניוטון מבטלים זה את זה. לכן פועל על המערכת כח המשיכה בלבד.

7. למכונית צעצוע במשקל $m=0.2\text{kg}$, מחברים בלון במסה של $M=0.1\text{kg}$ ומנפחים אותו ב- 0.1kg אוויר ומשחררים. הבלון משחרר גז נגד כיוון תנועת המכונית וכתוצאה מכך המכונית מאיצה קדימה. במסלול המכונית לא קיים חיכוך או כח גרר. הניחו כי בלון משחרר 0.3kg של גז והתהליך אורך 1 שנייה בדיוק. מה יהיה כח הדחף אם נתון שמהירות האוויר היוצא ביחס למכונית הוא 200 (M/S) ?

א. $F=100\text{N}$

ב. $F=60\text{N}$

ג. $F=50\text{kg}$

ד. $F=32\text{N}$

הסבר לתשובה: (ב')

$$F_{\text{thrust}} = \dot{m} v_{\text{rel}}$$

$$v_{\text{rel}} = v_{\text{rel}} = 200 \text{ m/s} = \text{מהירות האוויר ביחס למכונית}$$

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = 0.3 \text{ kg/s} = \text{קצב שנוי מסת הגז}$$

$$F_{\text{thrust}} = v_{\text{rel}} \cdot \frac{dm}{dt} = 200 \cdot 0.3 = 60 \text{ N}$$

8. חבורת סטודנטים רוצים לשלוח חללית למשימת חקר בכוכב הלכת מאדים, אך מכיוון שכדור הארץ ומאדים מסתובבים סביב השמש במסלולים שונים, תהיה להם הזדמנות חד פעמית לשלוח חללית כאשר כדור הארץ ומאדים יהיו כמעט במרחק הכי קטן שיכול להיות ביניהם. הסטודנטים בנו טיל ששוקל 100000000 ממנו 9000000 ק"ג של גז. הטיל פולט 10 ק"ג של גז בשנייה במהירות של 1000 מטר לשנייה ביחס לטיל. מה תהיה התאוצה של הטיל אחרי מסע של 11 ימים? (כאשר ניתן להזניח כח משיכה בחלל)

א. $100 \text{ (M/S}^2\text{)}$

ב. $0.5 \text{ (M/S}^2\text{)}$

ג. $0.02 \text{ (M/S}^2\text{)}$

ד. $0.0001 \text{ (M/S}^2\text{)}$

הסבר לתשובה: (ג')

משוואת תנועת טיל:

$$4000 \text{ [m/s]} = v_{rel}$$

$$40,000,000 - 40t = m(t)$$

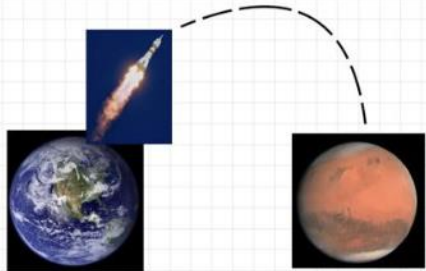
$$40 \text{ [kg]} = \frac{\delta m}{\delta t}$$

$$\sum F_x = \frac{v_{rel} \delta m}{\delta t} + m(t) a$$

$$m(t) \cdot a = - (v_{rel} \cdot \frac{\delta m}{\delta t}) / m(t)$$

$$a = \frac{(v_{rel} \cdot \frac{\delta m}{\delta t})}{m(t)}$$

$60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 11 = 950,400$
 ימים

$$a = \frac{4000 \cdot 40}{40,000,000 - 40t} = \frac{40000}{40,000,000 - 40 \cdot (950,400)} = 0.02 \text{ [m/s}^2\text{]}$$


9. בתנועת טילים, כח דחף בא לידי ביטוי ע"י פליטה של חומר ע"י המנוע. גודלו של כח הדחף (בערכו המוחלט) של רקטה השורפת דלק ופולטת גזים יגדל בהכרח כאשר:

- א. קצב השינוי במזה (שיעור פליטת הגזים) יקטן ומהירות הגזים הנפלטים ביחס לרקטה יקטן.
- ב. קצב השינוי במסה יגדל ומהירות הגזים הנפלטים ביחס לרקטה יקטן.
- ג. קצב השינוי במסה קבוע ומהירות הגזים הנפלטים ביחס לרקטה יקטן.
- ד. קצב השינוי במסה יגדל ומהירות הגזים הנפלטים ביחס לרקטה יגדל.

הסבר לתשובה: (ד') ע"פ הסתכלות על נוסחת חישוב גודל כח הדחף ניתן להבחין כי הוא מורכב ממכפלה פשוטה בין קצב השינוי במסה למהירות הגזים הנפלטים ביחס לרקטה. תשובה ד' היא הנכונה מכיוון שכאשר שני רכיבי המכפלה יגדלו, גודל כח הדחף יגדל.

Handwritten formula: $|T| = \frac{dm}{dt} \cdot V_{ex}$
 Notes: $\frac{dm}{dt}$ - קצב השינוי במסה (ק"ג/שנייה)
 V_{ex} - מהירות הפליטה (מ/שנייה)
 The product is labeled as כוח הדחף (Thrust).

10. אם כח הדחף של רקטה שפולטת גזים הוא 210 ניוטון במהירות יחסית של 300 (M/S) אז קצב הבעירה של הדלק יהיה:

- א. 1.7 (KG/S)
- ב. 1.4 (KG/S)
- ג. 0.7 (KG/S)
- ד. 3.7 (KG/S)

הסבר לתשובה: (ג')

Handwritten calculation:
 נשתמש בנוסחה של כוח הדחף: $T = \frac{dm}{dt} \cdot V$
 נתון: $T = 210 \text{ N}$, $V = 300 \text{ m/s}$
 נחשב את $\frac{dm}{dt}$:
 $\frac{dm}{dt} = \frac{T}{V} = \frac{210}{300} = 0.7 \text{ kg/s}$
 תשובה: 0.7 (KG/S)

רפלקציה וסיכום

הסיכום של..

גיא קירשן

315821595

הנושא בו עסק הפרויקט הינו "כח דחף ותנועה רקטית". העבודה על הפרויקט הייתה חוויה מאתגרת ומלמדת עבורי מכמה סיבות- ראשית היינו צריכים ללמוד ולהתמודד עם חומר חדש באופן עצמאי, מכך למדתי לחקור ולשאוב מידע ממקורות שונים כמו מהאינטרנט, סרטונים מהיטיב ומספרים בספריה. אתר נוסף לא פחות היה לתאם זמני עבודה שיתאימו לכולנו. למרות קושי זה התעקשנו לקבוע כולם יחד כדי שנוכל לקדם את הפרויקט כמה שאפשר ביחד וליצור בסיס חזק. לתחושתי אני מרגיש שחילקנו את העבודה בנינו באופן טוב כך שכל אחד תרם את חלקו. תרומתי לפרויקט הייתה בפיתוח שתי שאלות פתוחות (1,5) כתיבת שתי שאלות אמריקאיות (3, 5) ועריכת הסרטון. לסיכום, החוויה של עבודה בקבוצה הייתה שונה ומגוונת אך גם מהנה.

טטיאנה (טניה) גולדברג

324646728

הפרויקט היה עבורי קצת מאתגר, מכיוון שפיזיקה זה מקצוע שתמיד התקשתי בו ופה נאלצנו ללמוד חומר חדש מאפס, ללא מרצה ובעיקר מספרים. באינטרנט לא מצאנו הרב מידע שזה גם משהו שפתח בפני עולם חדש. למידה עצמית מספרים ולא מהאינטרנט נתנה לי חווית למידה שונה. בנוסף לכך, בדרך כלל אני מעדיפה ללמוד לבד והפרויקט נתן לי כלים של עבודה בצוות מה שאני לא הייתי רגילה לעשות. עכשיו אני גם מבינה מהו כח הדחף ואיך הוא בא לידי ביטוי. בעבודה הרגשתי שעבדנו מעולה בעבודת צוות והצלחנו לעבור כמעט על כל המשימות יחד כקבוצה ולא יצא מצב שהכל נופל על מישהו אחד.

תרומתי לפרויקט פתירת שתי שאלות פתוחות (4,6) וכתיבת שתי שאלות אמריקאיות (2,10)

יובל קוז'יקר

207033283

הפרויקט היה עבורי מאתגר ומהנה. למדנו נושא חדש ומעניין לבד, חקרנו, גילינו ולמדנו הרבה על הנושא ובעיקר גם למדנו על עצמנו. אני מאוד אוהבת לעבוד בעבודת צוות, אני חושבת שיש לעבודה בצוות הרבה יתרונות, העבודה יעילה יותר וכמובן שהיא מתחלקת באופן רחבי בין חברי הצוות מה שמאפשר לנו גם ללמוד אחד מהשני.

החיפוש אחר מקורות מידע בספרי ספריה, באינטרנט ובמחקרים שנעשו בעולם הוציאה אותי מגבולות הכתה, נחשפתי לדרך למידה שונה.

תרומתי לפרויקט היא עריכת הספר, כתיבת הקדמה וחלק מהתיאוריה, כתיבת שאלה אמריקאית (4) והערכת עמיתים.

רועי שריד

209155340

בתחילת הדרך, כשהתחלנו לעבוד על הפרויקט, לא היה לנו פשוט בכלל. להכין פרויקט על נושא חדש מרמת ידע מאוד מינימלית עליו (פיתוח דרך מתקף ותנע וכו') זאת משימה לא פשוטה. בנוסף עבודה בצוות מצריכה תיאום וחלוקה נכונה של זמן והתאמת תחומי אחריות לפי יתרונו של כל חבר קבוצה בפרט.

בסופו של דבר אני חושב שהצלחנו בצורה יפה לחבר את כל חלקי הפאזל ביחד ולהרכיב פרויקט על נושא פיזיקלי מאוד מעניין ונפוץ בעולמנו תוך כדי שיתוף ידע ועזרה הדדית בין חברי הקבוצה. תרומתי לפרויקט היא מענה על שאלה פתוחה (3), כתיבת שאלות למבחן אמריקאי (8,9) וצילום הסרטון.

שי קבליס

207010505

למדתי המון מהפרויקט, למדתי להתמודד עם שאלות קשות, להתמודד עם דברים שלא חשבתי שאצליח. השכלתי ונגעתי בנושאים שלא הייתי מגיע אליהם ולומד אותם ללא הפרויקט.

למדנו ככלל ובתור קבוצה לעבוד כצוות, לעמוד בזמנים שקבענו, לחלק אחריות שווה בין כולם. בסופו של דבר ועם הזמן למדנו את החומר ושיטת התמודדות עם נושאים שלא נגענו בהם. היה חיבור טוב בין חברי הצוות ונהנתי מאוד לעבוד בשיתוף פעולה עם החברים.

חלקי בפרויקט היה מענה על שאלה פתוחה (2) וכתיבת שתי שאלות אמריקאיות (6,7)

ביבליוגרפיה

- [קמינגז ק', לוז פ', רדיש א', קוני פ' (2015). מבינים פיזיקה. ירושלים: הוצאת מאגנס, האוניברסיטה העברית].
- [פרנקל, ג' (2013). פיזיקה קלאסית- מכניקה]
- [זינגר ד'. (1996) מכניקה – חלק ב'].
- [רוזן ע' (2010). מכניקה ניוטונית- כרך ב'].

סרטון פרויקט

הסרטון הועלה בתיבת הגשה במודל דרך רועי שריד

נספחים

פרויקט כוח דחף ותנועת רקטית

צוות H

יש לפעול ולעבוד על פי מתווה המסמך " הנחיות ופורמט פרויקט הגמר" המופיע באתר המוודל במשבצת הפרויקטים

הקדמה לפרויקט (חצי עמוד):

- כתבו הקדמה לפרויקט שלכם, המסכמת את הדברים הבאים.
- מהו נושא הפרויקט
- כיצד הוא מתבטא במציאות/בחיים/בתעשייה/במדע.
- דוגמאות לשימושים בנושא זה
- מטרת הפרויקט (לדעתכם, לאור השאלות, המחקר שלכם והמשימות שעליכם לענות עליהן)

תיאוריה: (ניתן להשתמש בספר הקורס כמקור לתיאוריה בנושא)

- הסבירו את חוק שימור התנע והביאו דוגמאות לקיומו
- מהו כוח דחף? הסבירו? כיצד משמש כוח דחף לתנועת טילים?
- מדוע כוח הדחף קשור לחוק שימור התנע? הסבירו בעזרת חללית הטסה הרחק מכל כוח לכת.
- פתחו את משוואת התנועה (החוק השני של ניוטון) במקרה בו מסת הגוף משתנה (למשל טיל ששורף דלק ושולח גז אחורה).
- בשנת 1969 אפולו 11 טסה לירח, רכב חלל נשלח ממנה אל הירח. זו הייתה הפעם הראשונה שאדם נחת על הירח. צפו באירוע ונתחו אותו. בפרט, כיצד אפולו המריאה מפני כדור הארץ, התייחסו למאפיינים של הטיל סטורן 5, כיצד הנשר נחת על פני הירח וכיצד המריא חזרה. כתבו הערכה שלכם לכמות הדלק הנדרשת לדעתכם להמראה של רכב החלל (הנשר) מהירח לשם איסופו בדרך חזרה לכדור הארץ.
- עברו על השאלה בספר הקורס: קערה מתמלאת במים בעמוד 264. הסבירו מדוע ניתן לפתור את השאלה הזו גם על ידי משוואת הטיל וגם על ידי משוואת שימור תנע.

פתרון תרגילים נתונים

פתרו את התרגילים הבאים באופן מפורט, על פי מסמך ההנחיות.

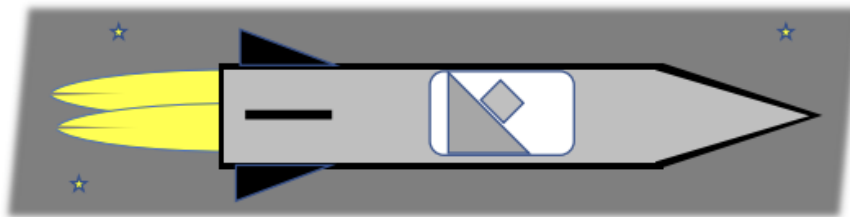
1. טיל שמסתו $3.6 \times 10^4 \text{ kg}$ ממריא אנכית ממצב מנוחה מפני כדור הארץ. הטיל פולט גזים אחורה במהירות $1800 \frac{m}{sec}$ ביחס אליו, ובקצב של $580 \frac{kg}{sec}$. נתון כי סה"כ הדלק שבטיל הוא $3 \times 10^4 \text{ kg}$.

- a. רשמו את משוואת התנועה של הטיל
- b. מהו כוח הדחף הפועל על הטיל ומהו כיוונו? (11 נק')
 c. האם תאוצת הטיל קבועה? אם לא, מתי תאוצתו תהיה מקסימלית?
 d. פתרו את משוואת התנועה של הטיל ומצאו את מהירותו כפונקציה של הזמן עד לרגע שבו נגמר הדלק.

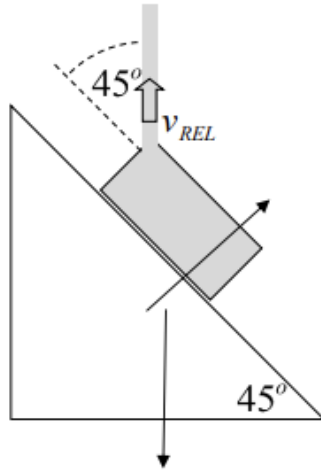
2. טיל מאיץ את בחלל, רחוק מכל כוכב לכת, על ידי שחרור גז אחורה. מסת הטיל יורדת עם הזמן, בגלל שחרור הגז, לפי $M(t) = M_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$, כאשר M_0 ו- τ הם קבועים נתונים. מהירות הגז הנפלט ביחס לטיל היא u .
- הכוח היחיד הפועל עליו הוא כוח הדחף.
 - הניחו כי הטיל מתחיל ממנוחה.

א. מהי תאוצת הטיל $a(t)$?

- ב. הניחו בסעיף זה כי $u = 300 \text{ m/sec}$ ובנוסף כי $\tau = 2 \text{ sec}$. מהי מהירות הטיל כאשר מסתו יורדת למחצית ממסתו ההתחלתית?



3. מיכל שמסתו M_0 מלא ב M_1 קילוגרמים חול ומונח על מישור משופע חלק הנוטה בזווית 45° מהאופק. משאבה המותקנת במיכל שואבת K [kg/sec] קילוגרמים של חול בכל שניה, ומעיפה את החול כלפי מעלה, החוצה מהמיכל, במהירות קבועה v_{REL} ביחס למיכל.



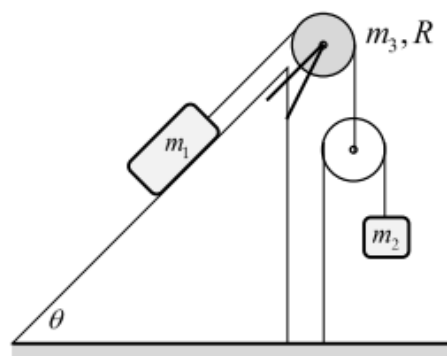
החול שמועף אינו חוזר לתוך המיכל שהתקדם בינתיים במורד המישור המשופע.

a. מהו הכוח הנורמלי שמפעיל המישור המשופע על המיכל בזמן t ? (11 נק')

b. מצאו את תאוצת המיכל כפונקציה של הזמן. (11 נק')

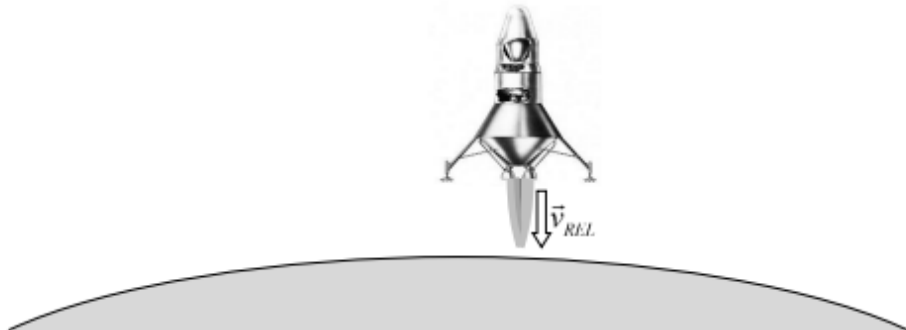
c. מהי מהירות המיכל כפונקציה של הזמן? הניחו כי בתחילה המיכל היה במנוחה. (11 נק')

4. מערכת ניסוי בנויה משתי מסות, ושתי גלגלות. המסה השמאלית, m_1 , מונחת על מישור משופע חלק הנוטה בזווית $\theta = 30^\circ$ מהאופק. לגלגלת העליונה מסה $m_3 = m_1$ ורדיוס R . הגלגלת התלוייה בקצה החוט אידאלית. נתון כי $m_1 = 2m_2$. המסה m_2 היא שק חול. בזמן $t = 0$ מנקבים חור בתחתית השק ומשחררים את המערכת ממנוחה. דרך החור נשפכים k קילוגרמים של חול בכל שנייה. החול יוצא מהחור במהירות אפס ביחס לשק. רשמו משוואת תנועה ומצאו את מהירות המסה m_1 בזמן t . (9 נק')



5. התקן נחיתה של נאס"א המיועד לנחיתה על מאדים נע במאונך מטה אל פני מאדים במהירות התחלתית $v_0 = 800 \frac{m}{s}$, המכוונת מטה. מסת ההתקן ברגע זה היא $M_0 = 1000 kg$ כולל הדלק. מסת הדלק בהתקן היא 500 קילוגרם. לרכב רקטה השולחת 50 קילוגרמים גז בכל שנייה למטה, לכיוון מאדים, במהירות $v_{REL} = 1000 \frac{m}{s}$ ביחס להתקן. הניחו כי ההתקן קרוב מספיק לפני מאדים כך שנוכל להתייחס לתאוצת כוח המשיכה של מאדים כקבועה $g' = 3.7 \frac{m}{s^2}$, ולרשום את כוח המשיכה בצורה $M(t)g'$. המסה $M(t)$ היא מסת ההתקן בזמן t .

- מהו כוח הדחף שמייצרת הרקטה? (8 נק')
- רשמו ביטוי לתאוצת התקן הנחיתה לאחר t שניות מרגע הפעלת הרקטות, בהנחה כי עדיין יש דלק בהתקן. (9 נק')
- מהי מהירות התקן הנחיתה t שניות לאחר הפעלת הרקטה, כל עוד הרקטה פועלת? (8 נק')
- ברגע שנגמר הדלק, ראש התקן הנחיתה, ניתק בפיצוץ מהרקטה. נתון כי מסת הרקטה הריקה שווה 100 קילוגרמים, מסת ראש ההתקן היא 400 קילוגרם, ומסת אבק השריפה שהתפוצץ זניחה. מהי האנרגיה האגורה באבק השריפה, אם רק 50% מנוצלת לשינוי מהירות חלקי הגופים, ואם חלקו העליון של ההתקן עוצר לאחר הפיצוץ ביחס למאדים? הניחו כי מהירות ההתקן בתחילת חלק זה היא 50 מטר בשנייה כלפי מטה. (8 נק')



6. לשרשרת אחידה מסה m ואורך L . מחזיקים את השרשרת אנכית כשהקצה התחתון שלה נוגע במשקל, ומשחררים. התייחסו לחלק השרשרת שעל המשקל כמסה המשתנה, בנוסף הניחו כי החלק שעדיין באוויר נופל בתאוצה g
- הכנה: מהו האורך של החלק שעל המשקל בזמן t ?
 - הכנה: מהי המסה של החלק שעל המשקל כפונקציה של הזמן?
 - הכנה: מהי מהירות חלק השרשרת המתווסף למסה שעל המשקל בזמן t ?
 - מהו כוח הדחף שמפעיל חלק השרשרת שנופל על המשקל ביחידת זמן על המשקל?
 - הראו כי המשקל יראה בכל רגע במהלך הנפילה, משקל השווה פי שלוש מזה של חלק השרשרת הנמצא על המשקל, לו חלק זה היה במנוחה. (רמז: שימו לב כי אין לחלק זה תאוצה, והשתמשו בכך במשוואת הטייל).

פתחו מבחן אמריקאי בן 10 שאלות (5 שאלות על הגדרות וחמש שאלות חישוב קצרות).

- לכל שאלה חמש תשובות אפשריות (הנקראות מסיחים)
- נא לכתוב לכל שאלה כתשובה את התשובה הנכונה והסבר קצר.
- מסיחים נכתבים כך שישקפו לקות בהבנת החומר או בטכניקות הנדרשות בפתרון. לכל מסיח נא לכתוב את מהות הלקות הגורמת לתוצאה (למשל, המרת יחידות שגויה, הנחה של תאוצה קבועה כאשר היא לא, שימוש בשימור אנרגיה למרות שאין כזה, התעלמות מאחד הכוחות,...)
- ניתן להסתמך על החומרים שכבר כתבתם במסמך ועל שאלות מספרים.

רפלקציה וסיכום:

- הוסיפו עמוד עד שניים אחד של סיכום הפרויקט. כל אחד מכם צריך לרשום:
- שם מלא
 - מה למדת? אילו כלים רכשתי במהלך ביצוע הפרויקט. היעזרו בשאלוני הפתיחה והסיום לשם כך.
 - מה התרומות המשמעותיות שלי לספר הפרויקט. **לכל אחד תרומות ייחודיות וספציפיות (למשל מי פתר איזה תרגיל וכתב איזה תרגיל).**
 - התפקידים שהייתי אחראי עליהם היו (על פי המסמך שהגשתם בתחילת הפרויקט), ובפועל ביצעתי מתוכם X , לא ביצעתי Y (יש לפרט מדוע), ולקחתי על עצמי מעבר לתכנון הראשוני Z (יש לפרט מה ולמה נדרש תפקיד נוסף).
 - אם ברצונכם לפרט דברים נוספים, הנכם מוזמנים.

ביבליוגרפיה

הוסיפו לספר הפרויקט ביבליוגרפיה ממוספרת (רשימת ספרים ומקורות אינטרנטיים אמינים).
הוסיפו בכל מקום בו נעזרתם במקור אינטרנטי סוגריים מרובעים ובהם מספר המקור ברשימה
הביבליוגרפית.

סרטון פרויקט

1. צרו סרטון בן חמש דקות - המסביר את עיקרי הפרויקט והעקרונות הפיזיקליים השולטים בהתנהגות נושא הפרויקט.
2. הסבירו בסוף הסרטון (עוד שתי דקות) – כיצד עבדתם בקבוצה על הפרויקט ואילו כלים רכשתם במהלך הכנת הסרטון ולמידת החומר התיאורטי.
3. העלו את הסרטון לערוץ ה- YouTube של הקורס (פרטים על הערוץ יינתנו לכם לקראת סיום הפרויקט)

בהצלחה!