מכינה בפיזיקה להנדסת חשמל ואלקטרוניקה

פרק 13 - כבידה - הכוח הריבועי ההפוך

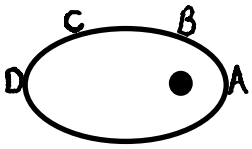
תוכן העניינים

1. כבידה 1

כבידה:

שאלות:

1) קפלר חוק שני



כוכב לכת מוקף שמש רחוקה במסלול אליפטי.
באיזה נקודה מהירות הגוף הכי גדולה ובאיזה הכי קטנה?
נמק תשובתך בעזרת החוק השני של קפלר.

2) קפלר חוק שלישי

לצדק יש ארבעה ירחים. שני הקרובים אליו הם Io ו-Europa.
זמן המחזור של Io הוא 1.77 ימים, ורדיוס הקפתו הממוצע את צדק הוא: 422,000 ק"מ.
רדיוס ההקפה הממוצע של Europa סביב צדק הוא: 671,000 ק"מ.

א. מהו זמן המחזור של Europa?

ב. האם ניתן בעזרת החוק השלישי של קפלר ונתוני שאלה זו למצוא את זמן המחזור של הירח סביב כדור הארץ, אם רדיוס הקפתו הממוצע הוא 384,000 ק"מ? נמקו.

3) חוק הכבידה 1

מסת כדור הארץ היא: $5.97\cdot10^{24}\,\text{kg}$.

מסת הירח היא: $7.3\cdot10^{22}\,\text{kg}$.

המרחק ביניהם הוא 384,000 ק"מ.

א. מה הכוח שמפעיל כדור הארץ על הירח?

ב. מהי תאוצת הירח?

ג. מה הכוח שהירח מפעיל על כדור הארץ?

ד. מהי תאוצת כדור הארץ?

4) חוק הכבידה 2

2 בני אדם עומדים במרחק 1 מטר זה מזה. מסת הראשון 60 ק"ג ומסת השני 70 ק"ג.
מה כוח הכבידה שפועל ביניהם, ומה התאוצה של הרזה?

5) חוק הכבידה 3

תפוח שמסתו 200 גרם נעזב מעל פני כדור הארץ.
מה הכוח שירגיש ומה תאוצתו?

6) תנועת לוויינים 1

לוויין שמסתו $100kg$ מקיף את כדור הארץ בגובה $3,620km$.

א. מה מהירותו (בהנחה שמסלולו מעגלי)?

ב. מה יהיה זמן המחזור שלו?

ג. מה תאוצת הלוויין בנקודה בה הוא נמצא?

ד. כמה סיבובים משלים לוויין זה בזמן שכדור הארץ משלים סיבוב אחד?

7) תנועת לוויינים 2

על כוכב בעל רדיוס של $R=5,000km$ וצפיפותו הממוצעת $\rho=5\frac{gr}{cm^3}$ חיים חייזרים, שרוצים לשגר לוויין שמסתו $m=200kg$, כך שיקיפו בזמן מחזור של 20 שעות.

א. מה תהיה המהירות הזוויתית של לוויין זה?

ב. מה יהיה רדיוס הקפתו?

ג. מה תהיה תאוצת הלוויין בגובה בו הוא נמצא?

ד. מה תהיה תאוצת הנפילה החופשית בגובה בו הלוויין נמצא?

ה. מה תאוצת הנפילה החופשית על פני כוכב זה?

8) תנועת לוויינים 3

לוויין ריגול הוא לוויין שנמצא בכל רגע מעל אותה נקודה על פני כדור הארץ (כדי לצלם נקודה זו). מסלול של לוויין שנמצא כל הזמן מעל אותה נקודה בקרקע נקרא מסלול גיאוסטציונרי.

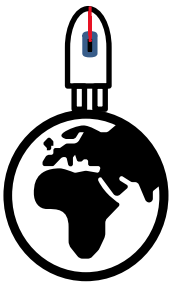
א. איך זה אפשרי?

ב. מה גובה לוויין זה מעל פני הקרקע?

ג. מה מהירותו?

ד. הסבירו מדוע מסלול כזה אפשרי רק מעל קו המשווה.

9) חוסר משקל



בתוך החללית תלויה משקולת, שמסתה $2kg$, על חוט.
מה תהיה המתיחות בחוט בכל שלב:

א. במנוחה על כדור הארץ.

ב. מאיצה לעבר החלל החיצון ב- $a=2\frac{m}{sec^2}$.

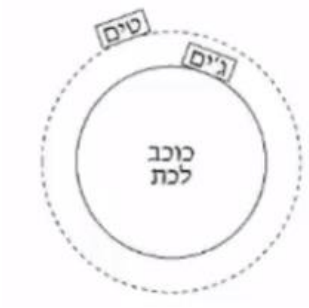
ג. נעצרת בגובה $h=10,000km$.

ד. נכנסת למסלול מעגלי בגובה זה.

10) קיץ 2016 שאלה 5

בתרחיש דמיוני, שני אסטרונאוטים טים וג׳ים חקרו כוכב לכת שלא נע סביב צירו. טים ישב על כיסא בתוך מעבורת שהקיפה את כוכב הלכת במסלול מעגלי במנוע כבוי. ג׳ים ישב על כיסא בתוך רכב חלל שעמד על פני כוכב הלכת (ראה תרשים).

לשני האסטרונאוטים מסה זהה: $m = 100kg$.



א. קבע מיהו האסטרונאוט שהפעיל על כיסאו כוח גדול יותר: טים או ג׳ים? נמק בלי חישוב.

על הרצפה של רכב החלל שעמד על פני כוכב הלכת הותקן מד-משקל.
כאשר ג׳ים עמד עליו, הוריית המד-משקל הייתה $2000N$.
ג׳ים התחיל בנסיעה לאורך מסלול מעגלי על קו המשווה של כוכב הלכת.
הוא הבחין שככל שהגביר את מהירותו, כך קטנה הוריית המד-משקל.

ב. הסבר מדוע קטנה הוריית המד-משקל.

נתון: כאשר הגיע רכב החלל למהירות של: $v = 1.25 \cdot 10^4 \frac{m}{sec}$, הייתה הוריית המד-משקל $980N$.

ג. חשב את הרדיוס של כוכב הלכת.

ד. חשב את מסתו של כוכב הלכת.

ה. תאוצת המעבורת שהקיפה את כוכב הלכת בתנועה מעגלית קצובה הייתה a. נסמן ב-g^* את תאוצת הכובד בגובה שבו סובבת המעבורת סביב כוכב הלכת.
קבע איזה מן ההיגדים i-iii שלפניך נכון. נמק קביעתך.

i. $a > g^*$

ii. $a = g^*$

iii. $a < g^*$

11) קיץ 2015 שאלה 5

בסרט "כוח משיכה" משנת 2013, האסטרונאוטים מנסים להגיע לתחנת החלל הבין-לאומית, לאחר שתיקנו לוויין הסמוך לתחנת החלל.
הלוויין ותחנת החלל נעים סביב קו המשווה בגובה 400 קילומטרים מעל פני כדור הארץ.
הנח שמסלול התחנה הוא מסלול מעגלי, והכוח היחיד הפועל על התחנה הוא כוח המשיכה של כדור הארץ.

א. חשב את תאוצת התחנה בהיותה במסלול המתואר בפתיח לשאלה.

ב. לפניך 4 היגדים i-iv.
קבע איזה מן ההיגדים נכון, והעתק אותו למחברתך:

i. תחנת החלל נעה במסלולה במהירות שגודלה קבוע.

ii. תחנת החלל נעה במסלולה במהירות קבועה.

iii. שקול הכוחות הפועלים על תחנת החלל הנעה במסלולה שווה לאפס.

iv. תחנת החלל נעה במסלולה במהירות ובתאוצה קבועות.

ג. ידוע כי תאוצת הכובד בגובה המסלול של התחנה היא בקירוב 90% מתאוצת הכובד על פני כדור הארץ.
כיצד אפשר להסביר את העובדה שהאסטרונאוטים שמתקנים את הלוויין נראים חסרי משקל (מרחפים)?

ד. ברגע מסוים עברה תחנת החלל במסלולה מעל נקודה כלשהי שנמצאת על קו המשווה.
כמה פעמים נוספות עברה תחנת החלל מעל נקודה זו ביממה (24 שעות)?
(אפשר להזניח את הסיבוב של כדור הארץ סביב עצמו).

ה. האם האנרגיה המכנית של התחנה נשמרת במהלך תנועתה במסלולה המעגלי סביב כדור הארץ? הסבר את קביעתך.

12) קיץ 2013 שאלה 5

משגרים לוויין לחלל באמצעות רקטה.
על כן השיגור מסת הרקטה עם הדלק והלוויין היא: $M = 7.3 \cdot 10^5 \text{kg}$.
הכוח המרבי שהמנוע מפעיל בזמן השיגור הוא: $F = 1.16 \cdot 10^7 \text{N}$.

א. סרטט במחברתך תרשים של הכוחות הפועלים על הרקטה בזמן השיגור.
הנח שהתנגדות האוויר זניחה.

ב. הרקטה ניתקת מכן השיגור ברגע $t = 0$. מרגע ההינתקות המנוע מפעיל את הכוח המרבי.
חשב את תאוצת הרקטה ברגע ההינתקות.

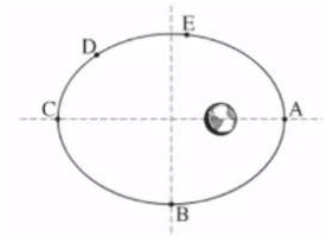
ג. ענה על הסעיפים הבאים:

i. הסבר בקצרה את עקרון הפעולה של מנוע רקטי.

ii. בהנחה שהכוח F קבוע במשך השניות הראשונות, קבע אם בפרק הזמן הזה התאוצה גדלה, קטנה או לא משתנה. נמק את קביעתך.

ברגע מסוים הלוויין מתנתק מהרקטה, וממשיך לנוע בהשפעת כוח הכובד של כדור הארץ.

ד. בתרשים שלפניך מוצג המסלול הקבוע של הלוויין, שצורתו אליפסה (התרשים אינו מסורטט בקנה מידה). הלוויין נע סביב כדור הארץ בכיוון השעון.



העתק את התרשים למחברתך, וסמן עליו חצים המייצגים את:

i. וקטור מהירות הלוויין, בכל אחת מהנקודות B ו-D.

ii. וקטור התאוצה של הלוויין בנקודה A.

iii. וקטור הכוח השקול הפועל על הלוויין, בכל אחת מהנקודות C ו-E. הסבר את שיקוליך.

ה. קבע באיזו משתי הנקודות A ו-E מהירות הלוויין היא מרבית. נמק את קביעתך.

13) קיץ 2011 שאלה 5

עמוס 1 הוא לוויין התקשורת הישראלי הראשון, שפיתחה התעשייה האווירית של ישראל. המסלול של הלוויין עמוס 1 הוא מעגלי (בקירוב). כלוויין תקשורת עמוס 1 נמצא כל הזמן מעל אותה נקודה A שעל פני כדור הארץ.

א. קבע את זמן המחזור של הלוויין עמוס 1. נמק את קביעתך.

ב. חשב את גובה המסלול של הלוויין עמוס 1 מעל פני כדור הארץ.

ג. חשב את גודל התאוצה של הלוויין עמוס 1 במסלולו.

ד. לוויין אחר (לא לוויין תקשורת) מקיף את כדור הארץ במסלול מעגלי במשך 12 שעות. השתמש בחוקי קפלר וחשב באיזה גובה מעל פני כדור הארץ עובר המסלול של לוויין זה.

ה. קבע איזה מההיגדים i-iii שלפניך אינו נכון, והסבר מדוע הוא אינו נכון.

i. תנועת לוויין במסלולו היא נפילה חופשית.

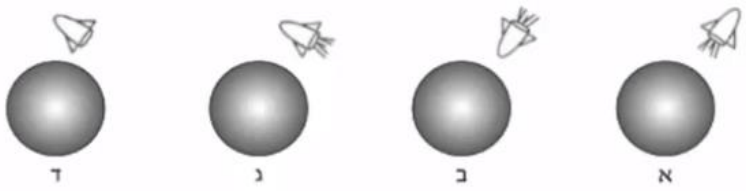
ii. גודל המהירות הקווית של נקודה A שעל פני כדור הארץ שווה לגודל המהירות הקווית של הלוויין עמוס 1 הנע במסלולו.

iii. גודל המהירות הזוויתית של נקודה A שעל פני כדור הארץ שווה לגודל המהירות הזוויתית של הלוויין עמוס 1 הנע במסלולו.

14) קיץ 2009 שאלה 5

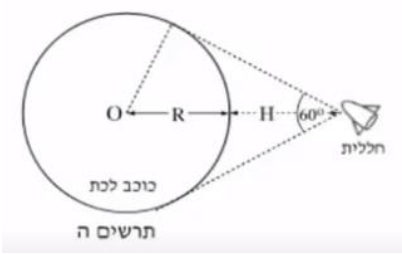
אסטרונאוט בחללית רוצה חקור כוכב לכת שצורתו כדורית.

א. בשלב מסוים של המחקר, האסטרונאוט בחללית נמצא במנוחה ביחס למרכז כוכב הלכת. איזה מהתרשימים א-ד שלפניך, מתאר נכון את מצב החללית ביחס לכוכב הלכת? נמק את תשובתך.
(שים לב: בתרשימים א-ג מנוע החללית פועל, (בתרשים ד מנוע החללית אינו פועל).



האסטרונאוט מצא באמצעות מכשיר רדר כי החללית נמצאת בגובה $H=10^7\,m$ מעל פני כוכב הלכת, וכי רואים את כוכב הלכת בזווית ראייה של $60°$.

O הוא מרכז כוכב הלכת (ראה תרשים ה).



ב. חשב את הרדיוס, R, של כוכב הלכת.

בעזרת מנוע החללית, האסטרונאוט מכניס את החללית לתנועה מעגלית סביב כוכב הלכת (בגובה H מעל פני הכוכב). האסטרונאוט מצא כי זמן מחזור התנועה של החללית סביב כוכב הלכת הוא 150 דקות. הנח כי צפיפות כוכב הלכת אחידה.

ג. חשב את המסה של כוכב הלכת.

ד. חשב את גודל תאוצת הנפילה החופשית על פני כוכב הלכת.

ה. האם במהלך התנועה המעגלית נדרשת פעולת מנועי החללית כדי לקיים את התנועה המעגלית?
אם כן – הסבר את תפקיד המנועים, אם לא – הסבר מדוע התנועה המעגלית אפשרית בלי פעולת מנועי החללית.

15) קיץ 2006 שאלה 5

הירח נע סביב כדור הארץ, וכל הזמן מפנה אליו אותו "צד".
הירח משלים סיבוב מעגלי שלם סביב כדור הארץ במשך 27.3 יממות ארציות.
משני נתונים אלה נובע כי הירח מסתובב גם סביב צירו, וזמן המחזור שלו הוא 27.3 יממות ארציות.
מהנדס עוסק בתכנון תקשורת בין מושבות שיוקמו בעתיד על פני הירח.
בדעתו להשתמש בלוויין תקשורת שינוע במסלול מעגלי סביב הירח, כך שזמן המחזור שלו יהיה 27.3 יממות ארציות, והוא יימצא כל העת מעל נקודה קבועה על פני הירח (בדומה ללווייני תקשורת שנעים מעל כדור הארץ).

א. חשב את רדיוס המסלול המעגלי של לוויין כזה, בהנחה כי רק הירח משפיע על תנועת הלוויין.

ב. המהנדס חישב ומצא שבגלל השפעת כדור הארץ, אי אפשר למקם את הלוויין במסלול שאת רדיוסו מצאת בסעיף א. הרדיוס המקסימלי של מסלול לוויין סביב הירח שבו אפשר להזניח את ההשפעה של כדור הארץ הוא כ- $3,000\text{km}$.
חשב את זמן המחזור של לוויין שנע סביב הירח במסלול מעגלי שרדיוסו $3,000\text{km}$.

ג. חשב את תאוצת הנפילה החופשית על פני הירח.

ד. ציין תרומה אחת לידע המדעי על אודות מערכת השמש או גרמי שמיים במערכת זו, שתרם אחד מהאישים האלה:
ניקולס קופרניקוס, גלילאו גלילי, טיכו ברהה.

תשובות סופיות:

1) הכי גדולה : A, הכי קטנה : D.

2) א. $T_2 = 3.54\ days$ ב. לא.

3) א. $F = 1.97 \cdot 10^{20}\,N$ ב. $a_{Moon} = 2.7 \cdot 10^{-3}\,\frac{m}{sec^2}$

ג. כוח זהה לסעיף א' – בכיוון ההפוך. ד. $a_{Earth} = 3.3 \cdot 10^{-5}\,\frac{m}{sec^2}$

4) $F = 2.8 \cdot 10^{-7}\,N\ ,\ a = 4.67 \cdot 10^{-9}\,\frac{m}{sec^2}$

5) $F = 1.96N\ ,\ a = 9.8\,\frac{m}{sec^2}$

6) א. $v = 6310\,\frac{m}{sec}$ ב. $T = 2.77hr$ ג. $a = 3.98\,\frac{m}{sec^2}$ ד. $n = 8\frac{2}{3}$

7) א. $8.72 \cdot 10^{-5}\,\frac{rad}{sec}$ ב. $r = 2.84 \cdot 10^{7}\,m$ ג. $a_s = 0.216\,\frac{m}{sec^2}$ ד. $a_s = 0.216\,\frac{m}{sec^2}$

ה. $6.99\,\frac{m}{sec^2}$

8) א. ראה סרטון. ב. $h = 3.58 \cdot 10^{7}\,m$ ג. $v = 3070\,\frac{m}{sec}$ ד. ראה סרטון.

9) א. $T = 20N$ ב. $T = 24N$ ג. $T = 2.97N$ ד. $T = 0$

10) א. $N_{Jim} > N_{Tim}$ ב. ראה סרטון. ג. $R = 1.53 \cdot 10^{7}\,m$ ד. $M = 7.02 \cdot 10^{25}\,kg$

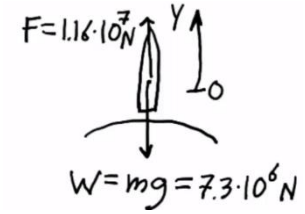
ה. היגד ii הוא הנכון.

11) א. $a = 8.7\,\frac{m}{sec^2}$ ב. היגד i נכון.

ג. ביחס ללוויין האסטרונאוט לא נע (מרחף) גם בלי שיעמוד על הרצפה.

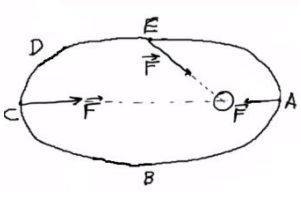
ד. $N = 15$ ה. כן.

12) א.

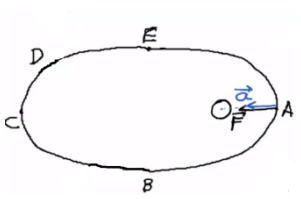


ב. $a = 5.89\,\frac{m}{sec^2}$ ג.i. ראה סרטון. ii. גדלה.

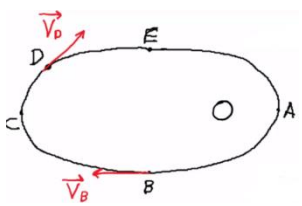
ד.i.



ii.



iii.



ה. $v_A > v_E$

13) א. $T = 86,400\,\text{sec}$ ב. $h = 3.59 \cdot 10^7\,\text{m}$ ג. $a = 0.224\frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ ד. $h = 2.02 \cdot 10^7\,\text{m}$

ה. היגד ii לא נכון.

14) א. א. ב. $R = 10^7\,\text{m}$ ג. $M = 5.84 \cdot 10^{25}\,\text{kg}$ ד. $g^* = 39\frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$

ה. לא, הכוח שגורם לתנועה המעגלית סביב הכוכב הוא בעצם כוח המשיכה עצמו.

15) א. $r = 8.84 \cdot 10^7\,\text{m}$ ב. $T = 0.17_{\text{days}}$ ג. $a = 1.62\frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ ד. ראה סרטון.