

תרגול פרקטיקות כבידה(ללא אנרגיה)

כדי להצליח בלימודי הפיזיקה יש להבין את העקרונות הפיזיקליים של כל נושא ולפתח את המיומנויות הנדרשות לאותו נושא.

הקיומים במערכת היוקיוב מיועדים להבנת העקרונות , כדי לפתח את המיומנויות הנדרשת קיים: "דף תרגול פרקטיקות" לכל נושא.

בפרק הכבידה (ללא אנרגיה) יש לתרגל פיתוח ביטויים העוסקים בתנועה בהשפעת כוח הכבידה. ובנוסף לתרגל פעולות ההצבה וחישוב במחשבון. כדי להפריד בין שני סוגי התרגולים קיים סעיף העוסק בביטוי מקרה כללי (כוכב X כלשהו). ולאחריו סעיף נפרד העוסק בחישוב פרטי של אותו מקרה (לדוגמה כדור "א").

לאחר תרגול הפרקטיקות חשוב לפתור שאלות בגרות מלאות עם אלבום הפתרונות.

שליבים בפיתוח ביטויים בכבידה :

במקרה של תנועה בקו ישר:

יש לערוך תרשים כוחות, ולכתוב את משוואת התנועה: $\Sigma F = ma$.

הכוח היחיד הפועל על הגוף הוא לרוב רק כוח הכובד האוניברסלי :

$$\Sigma F = \frac{G \cdot M \cdot m}{R^2}$$

את הביטוי הנדרש יש לפתח ממשוואת התנועה , יש מקרים בהם יש להשתמש גם במשוואה גיאומטרית.

בתנועה בקו ישר- המרחק בין הגופים שווה למרחק בין מרכזיהם.

במקרה של תנועה מעגלית:

בהתאם לעקרונות התנועה המעגלית: יש לזהות את מישור התנועה ובהתאם את נקודת מרכז הסיבוב, לערוך תרשים

$$\Sigma F_R = \frac{m \cdot V^2}{R} = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

כוחות ולכתוב את משוואת התנועה המעגלית:

הכוח הצנטריפטלי הוא כוח הכבידה האוניברסלי: $\Sigma F = \frac{G \cdot M \cdot m}{R^2}$ או שקול כוחות שאחד מהם הוא כוח הכבידה.

את הביטוי הנדרש יש לפתח ממשוואת התנועה , יש מקרים בהם יש להשתמש גם במשוואה גיאומטרית.

בתנועה מעגלית - רדיוס מסלול התנועה שווה למרחק שבין הגוף הנע למרכז הכובד.

***נתוני תנועת כדור הארץ, השמש וכוכבי הלכת מופיעים בדפי הנוסחאות.**

נוסחאות המופיעות בדפי הנוסחאות:

כבידה	
$\left(\frac{\bar{r}_1}{\bar{r}_2}\right)^3 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$	החוק השלישי של קפלר
$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$	גודל כוח הכבידה
תנועות מחזוריות	
$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$	תדירות זוויתית
תנועה מעגלית	
$\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$	מהירות זוויתית ממוצעת
הקשר בין מהירות קווית ומהירות זוויתית	
$v = \omega r$	
תאוצה רדיאלית (צנטריפטלית)	
$a_R = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$	

נתונים המופיעים בדפי הנוסחאות:

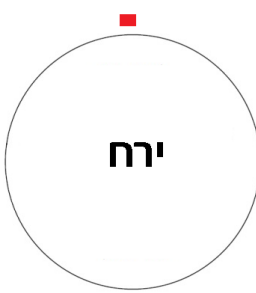
נתונים על אודות השמש והירח

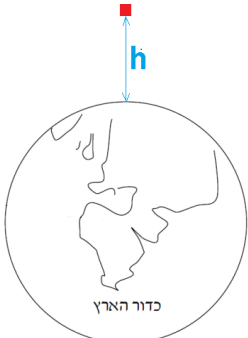
מסה (kg)	רדיוס (m)	רדיוס מסלול ממוצע סביב כדור הארץ (m)	זמן מחזור (יממות)
שמש	$6.96 \cdot 10^8$	-----	-----
ירח	$1.74 \cdot 10^6$	$3.84 \cdot 10^8$	27.3

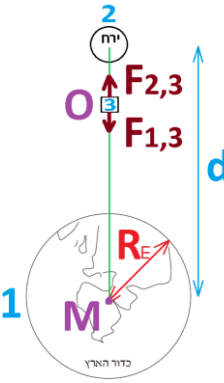
נתונים הקשורים בכוכבי הלכת

כוכב לכת	מסה (10^{24} kg)	רדיוס (10^6 m)	רדיוס מסלול ממוצע (10^9 m)	זמן מחזור (שנים)
כוכב חמה (Mercury)	0.330	2.44	57.9	0.2408
נוגה (Venus)	4.869	6.05	108.2	0.6152
ארץ (Earth)	5.974	6.38	149.6	1.00
מאדים (Mars)	0.642	3.40	227.9	1.881
צדק (Jupiter)	1899.1	71.4	778.3	11.86
שבתאי (Saturn)	568.6	60.0	1427.0	29.46
אורנוס (Uranus)	86.98	26.1	2871.0	84.01
נפטון (Neptun)	103	24.3	4497.1	164.8

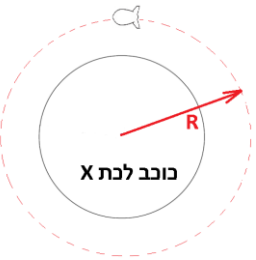
תנועה בקו ישר

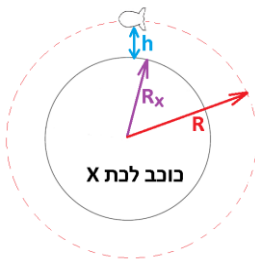
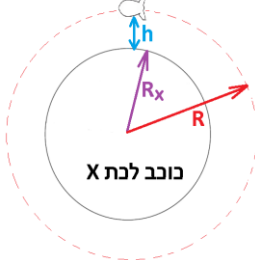
קישור לפיתוח	הערות חשובות	הביטוי/הערך המבוקש	הכוח הפועל על הגוף ומשוואות חשובות	פעולה נדרשת	
	1. נפילה חופשית, היא כל תנועה שבה הגוף נע בנפילה חופשית. כמו: נפילה חופשית ממנוחה, זריקה בזווית, או תנועה לוויינית. 2. הסימון g משמש לסימון תאוצת הכובד על פני כדור הארץ. כל תאוצת כובד אחרת מסומנת ע"י g^*.	$g^* = \frac{G \cdot M_X}{R_X^2}$	על הגוף פועל רק כוח הכבידה האוניברסלי. משוואת תנועה לגוף הנע בקו ישר. $\vec{\Sigma F} = m \cdot \vec{a}$	$g^*(M_X, R_X)$ פתח ביטוי לתאוצת הכובד על פני כוכב הלכת X. כתלות במסת הכוכב ובמסתו. <u>הנחיות:</u> MX - מסת כוכב הלכת. R_X - רדיוס כוכב הלכת.	1-גוף נע בנפילה חופשית על פני כוכב X כלשהו.  כוכב לכת X
https://moodle.youcube.co.il/mod/book/view.php?id=1318&chapterid=707	1. תאוצת הכובד היא תכונה של נקודה במרחב המוענקת לה כתוצאה מקיום הכוכב. 2. תאוצת הכובד לא תלויה במסת הגוף, גם לא בצורת מסלולו, בין אם הגוף נזרק למעלה, למטה, אופקית או בזווית, כל עוד הגוף נע בהשפעת כוח הכבידה בלבד הוא נע בתאוצת הכובד	$g = 9.8 \frac{m}{s^2}$	על הגוף פועל רק כוח הכבידה האוניברסלי. משוואת תנועה לגוף הנע בקו ישר. $\vec{\Sigma F} = m \cdot \vec{a}$	חשב את ערך תאוצת הכובד על פני כדור הארץ. השתמש בביטוי תאוצת הכובד כתלות ברדיוס הכוכב ובמסתו <u>הנחיות:</u> נתוני רדיוס כדור הארץ ומסתו מופיעים בדפי הנוסחאות.	2-גוף נע בנפילה חופשית על פני כדור הארץ.  כדור הארץ
	הירח נמצא בחלל. כמעט ואין לו אטמוספירה, אין "אוויר" על פני הירח. ובכל זאת תאוצת הכובד מחושבת בירח בדיוק בעזרת אותו הביטוי שבוא היא מחושבת על פני כדור הארץ.	$g^* = 1.6 \frac{m}{s^2}$	על הגוף פועל רק כוח הכבידה האוניברסלי. משוואת תנועה לגוף הנע בקו ישר. $\vec{\Sigma F} = m \cdot \vec{a}$	חשב את ערך תאוצת הכובד על פני הירח. <u>הנחיות:</u> נתוני רדיוס הירח ומסתו מופיעים בדפי הנוסחאות.	3-גוף נע בנפילה חופשית על פני הירח.  ירח

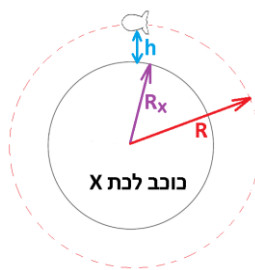
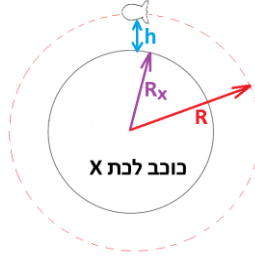
https://moodle.youcube.co.il/mod/book/view.php?id=1318&chapterid=708	1. ככל שנקודה רחוקה יותר מכדור הארץ תאוצת הכובד הנובעת מכדור הארץ בנקודה תהיה קטנה יותר. 2. כאשר גוף נע בנפילה חופשית מגובה רב, הוא נע בתאוצה משתנה. ניתן למצוא את מהירות הפגיעה בכדור"א רק בעזרת שיקולי אנרגיה.	$g^* = \frac{G \cdot M_E}{(R_E + h)^2}$	על הגוף פועל רק כוח הכבידה האוניברסלי. משוואת תנועה לגוף הנע בקו ישר. $\vec{\Sigma F} = m \cdot \vec{a}$	$g^*(h, M_E, R_E)$ פתח ביטוי לתאוצת הכובד כתלות בגובה h מעל פני כדור הארץ.	2-גוף נע בנפילה חופשית, בגובה h מעל כדור"א. 
https://moodle.youcube.co.il/mod/book/view.php?id=1318&chapterid=710	הכוכב הוא גוף לא נקודתי. בחישוב כוח הכבידה האוניברסלי יש להתייחס למרחק שבין מרכז הכוכב לגוף. מרחק זה שווה לסכום של גובה הגוף ושל רדיוס הכוכב. במקרה זה: הגובה זניח, המרחק בין הגופים שווה בקירוב טוב לרדיוס הכוכב.	$M_x = \frac{g^* \cdot R_x^2}{G}$	על הגוף פועל רק כוח הכבידה האוניברסלי. משוואת תנועה לגוף הנע בקו ישר. $\vec{\Sigma F} = m \cdot \vec{a}$	$M_x(R_x, g^*)$ פתח ביטוי המתאר את מסת כוכב הלכת כתלות ברדיוסו ובתאוצת הכובד על פניו. <u>הנחיות:</u> MX- מסת כוכב הלכת. RX- רדיוס כוכב הלכת.	3א-גוף נע בנפילה חופשית על פני כוכב לכת X כלשהו. 
https://moodle.youcube.co.il/mod/book/view.php?id=1318&chapterid=710	יש להבחין בין רדיוס מסלול תנועת כדור"א לבין רדיוס כדור"א, אלו שני דברים שונים.	$M_E = 5.974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$	על הגוף פועל רק כוח הכבידה האוניברסלי. משוואת תנועה לגוף הנע בקו ישר. $\vec{\Sigma F} = m \cdot \vec{a}$	חשב את ערך מסת כדור הארץ, בעזרת ביטוי מסת כוכב כתלות בתאוצת הכובד על פניו. <u>הנחיות:</u> MX- מסת כוכב הלכת. RX- רדיוס כוכב הלכת.	3ב-גוף נע בנפילה חופשית על פני כדור הארץ 

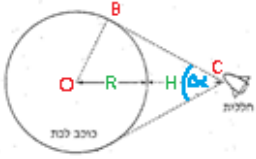
https://moodle.youcube.co.il/mod/book/view.php?id=1318&chapterid=709	גוף הנמצא בין הנקודה "O" לכדור הארץ נופל לכדור הארץ. גוף הנמצא בין הנקודה "O" לירח נופל לירח. גוף המשוחרר ממנוחה בדיוק בנקודה "O" לא נופל. ☺ שאלה זו הופיעה מספר פעמים בבגרויות שנים עברו.	$OM = 54 \cdot R_E$	על הגוף פועלים רק כוחות הכבידה האוניברסליים. משוואת התמדה לגוף הממוקם בנקודה "O" $\vec{\Sigma F} = 0$	OM (RE) יש לבטא את מרחק הנקודה "O" מנקודת מרכז כדור הארץ, כתלות ברדיוס כדור הארץ. <u>הנחיות:</u> 1. נתון $d = 60 R_E$ 2. אם נמקם גוף בנקודה "O" ששקול כוחות הכבידה שיפעילו עליו הירח וכדור"א יהיה שווה לאפס. 3. מסת כדור הארץ גדולה ממסת הירח פי 81.	4. נקודה "O" נמצאת בין הירח לכדור הארץ . בנקודה "O" שקול הכוחות שווה אפס. 
---	--	---------------------	---	--	---

תנועה לוויינית

https://moodle.youcube.co.il/mod/book/view.php?id=1318&chapterid=713	1.מבטוי זמן המחזור ניתן לראות שלכל רדיוס מסלול מסוים קיים רק זמן מחזור אחד אפשרי. 2.תנועה לוויינית היא כל תנועה מעגלית בהשפעת כוח הכבידה בלבד. לכן תנועה לוויינית היא נפילה חופשית תנועות לווייניות לדוגמה: לוויין עמוס הנע סביב כדור הארץ. ירח הנע סביב כדור הארץ. כדור הארץ הנע סביב השמש. 3.גוף הנע בתנועה לוויינית לא מתמיד בתנועתו מכיוון שכיוון תנועתו משתנה.	$T = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R^3}{G \cdot M_X}}$	על הגוף פועל רק כוח הכבידה האוניברסלי. כוח זה הוא הכוח הצנטריפטאלי. משוואת התנועה המעגלית(מהירות זוויתית). $\Sigma F_R = m \cdot \omega^2 \cdot R$	T(R) יש לבטא את זמן המחזור T כתלות ברדיוס המסלול. הנחיות: T- זמן מחזור תנועת הלוויין סביב הכוכב.	5.א-לוויין נע בתנועה מעגלית סביב כוכב לכת X כלשהו 
	1.כדור הארץ נע סביב השמש ברדיוס מסלול משתנה, אנחנו מתייחסים לתנועת כדור הארץ סביב השמש כאל תנועה מעגלית קצובה. 2.בביטוי זמן מחזור תנועת כדור הארץ, מופיע מסת השמש ולא מסת כדור הארץ.	$T = 31.55 \cdot 10^6 s$ $T = 365.16 \text{ day}$	על הגוף פועל רק כוח הכבידה האוניברסלי. כוח זה הוא הכוח הצנטריפטאלי. משוואת התנועה המעגלית(מהירות זוויתית). $\Sigma F_R = m \cdot \omega^2 \cdot R$	חשב את זמן מחזור תנועת כדור הארץ סביב השמש (זמן של שנה)	5.ב-כדור הארץ נע סביב השמש בתנועה לוויינית. 
	1.כדור הארץ נע סביב השמש ברדיוס מסלול משתנה, אנחנו מתייחסים לתנועת כדור הארץ סביב השמש כאל תנועה מעגלית קצובה. 2.בביטוי לחישוב זמן מחזור תנועת כדור הארץ מופיעה מסת השמש ולא מסת כדור הארץ.	$T = 2.36 \cdot 10^6 s$ $T = 27.38 \text{ day}$	על הגוף פועל רק כוח הכבידה האוניברסלי. כוח זה הוא הכוח הצנטריפטאלי. משוואת התנועה המעגלית(מהירות זוויתית). $\Sigma F_R = m \cdot \omega^2 \cdot R$	חשב את זמן מחזור תנועת הירח סביב הכדור הארץ (זמן של חודש)	5.ג- ירח נע סביב כדור הארץ בתנועה לוויינית. 

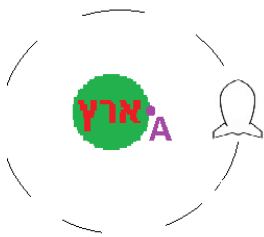
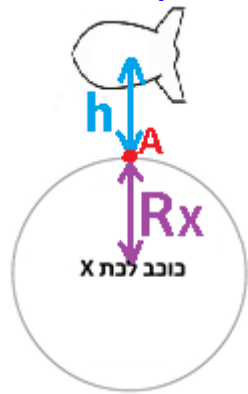
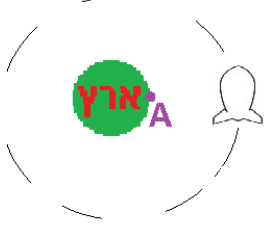
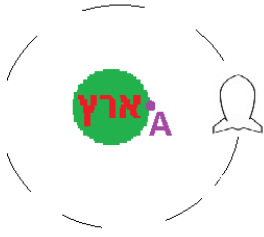
6א. לווין נע סביב כוכב לכת X כלשהו. 	$V(R)$ יש לבטא את מהירות הלוויין V כתלות ברדיוס המסלול R. <u>הנחיות:</u> MX - מסת כוכב הלכת. RX - רדיוס כוכב הלכת. R - רדיוס מסלול תנועת הלוויין.	על הגוף פועל רק כוח הכבידה האוניברסלי. משוואת התנועה המעגלית(מהירות קווית). $\Sigma F_R = \frac{m \cdot V^2}{R}$	1.מביטוי המהירות ניתן לראות שכאשר גוף נע בתנועה לוויינית לכל רדיוס מסלול מסוים קיימת רק מהירות אחת אפשרית. 2.הלוויין נע במהירות קבועה בגודלה, אך הוא לא מתמיד. מכיוון שמהירותו משתנה בכיוונה. 3.רדיוס המסלול שווה לסכום של גובה הלוויין ורדיוס הכוכב: $R = R_X + h$
6ב. לווין נע בגובה של 6000 ק"מ מעל פני כדור הארץ. 	חשב את מהירות הלוויין.	על הגוף פועל רק כוח הכבידה האוניברסלי. משוואת התנועה המעגלית(מהירות קווית). $\Sigma F_R = \frac{m \cdot V^2}{R}$	יש להבחין בין גובה הלוויין לבין רדיוס מסלולו. רדיוס המסלול שווה לסכום של רדיוס כדור הארץ והגובה של הלוויין.
7א. לווין נע סביב כוכב לכת X כלשהו. 	$a_R(V, R)$ כתיבת ביטוי לתאוצה הרדיאלית כתלות במהירות הלוויין V, וברדיוס המסלול R.	קיים ביטוי לתאוצה הרדיאלית של גוף הנע בתנועה מעגלית קצובה. כתלות במהירות הקווית. הביטוי נתון בדפי הנוסחאות ניתן להשתמש בו. (לא נדרש פיתוח בסעיף זה)	התאוצה הרדיאלית מתארת את קצב השינוי בכיוון תנועת הגוף. ככל שרדיוס המסלול קטן יותר, וככל שמהירותו הקווית גדולה יותר כך קצב השינוי בכיוון תנועת הגוף גדול יותר, התאוצה גדולה יותר.
7ב. לווין נע בגובה של 6000 ק"מ מעל פני כדור הארץ. 	חשב את תאוצתו הרדיאלית של הלוויין כתלות במהירותו הקווית. <u>הנחיה:</u> מהירות הקווית של הלוויין בגובה זה מחושבת בסעיף 6ב.	שימוש בביטוי התאוצה הרדיאלית של גוף הנע בתנועה מעגלית קצובה. מופיע בסעיף הקודם.	ביטוי התאוצה הרדיאלית לגוף הנע בתנועה מעגלית קצובה נובע מעקרונות הקינמטיקה.

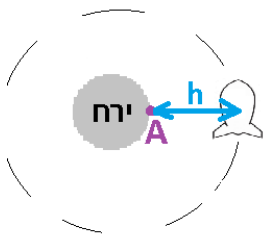
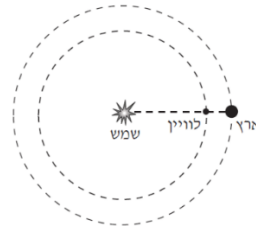
					7ג. לווין נע סביב כוכב לכת X כלשהו. 
	1. אין סתירה בשני ביטויי התאוצות הרדיאליות (מבחינת R) $a_R = \frac{V^2}{R} = \omega^2 \cdot R$ כאשר הרדיוס משתנה המהירות הקווית או זוויתית משתנה (בהתאם לסוג התנועה). 2. שני ביטויי התאוצה הרדיאלית נתונים בדפי הנוסחאות.	$a_R = \omega^2 \cdot R$	קיים ביטוי לתאוצה הרדיאלית של גוף הנע בתנועה מעגלית קצובה, כתלות מהירות הקווית. הביטוי נתון בדפי הנוסחאות ניתן להשתמש בו. (לא נדרש פיתוח בסעיף זה)	$a_R(\omega, R)$ כתיבת ביטוי לתאוצה הרדיאלית כתלות במהירות הזוויתית ω, וברדיוס המסלול R.	
	הלוויין לא נע בהכרח מעל נקודה קבועה, לא נכון לקבוע שזמן המחזור של הלוויין הוא 24 שעות. יש לחשב את זמן המחזור.	$a_R = 2.59 \frac{m}{s^2}$	שימוש בביטוי התאוצה הרדיאלית כתלות במהירותו הזוויתית. מופיע בסעיף הקודם.	חשב את תאוצתו הרדיאלית של הלוויין כתלות במהירותו הזוויתית. <u>הנחייה:</u> יש לחשב את זמן המחזור בהתאם לרדיוס המסלול ולמהירות הקווית.	7ד. לווין נע בגובה של 6000 ק"מ מעל פני כדור הארץ. 
	התאוצה הרדיאלית של הלוויין היא תאוצת הכובד בגובה בו נע הלוויין.	$g^* = \frac{G \cdot M_X}{R_X^2}$	על הגוף פועל רק כוח הכבידה האוניברסלי. משוואת תנועה לגוף הנע בקו ישר. $\vec{\Sigma F} = m \cdot \vec{a}$	$g^*(M_X, R)$ יש לכתוב ביטוי לתאוצת הכובד בנקודות בהן חולף הלוויין.	7ה. לווין נע סביב כוכב לכת X כלשהו. 
	הלוויין לא נע בהכרח מעל נקודה קבועה, לא נכון לקבוע שזמן המחזור של הלוויין הוא 24 שעות. יש לחשב את זמן המחזור.	$a_R = 2.59 \frac{m}{s^2}$	שימוש בביטוי התאוצה הרדיאלית כתלות במסתו וברדיוסו של הלוויין הביטוי מופיע בסעיף הקודם.	חשב את תאוצתו הרדיאלית של הלוויין כתלות במסתו וברדיוס מסלולו. <u>הנחייה:</u> יש לחשב את זמן המחזור בהתאם לרדיוס המסלול ולמהירות הקווית.	7ו. לווין נע בגובה של 6000 ק"מ מעל פני כדור הארץ. 

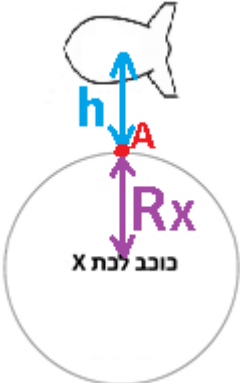
8. שימוש בזווית ראייה לתיאור גובה הלווין. 	$H(R, \alpha)$ יש לבטא את גובה הלווין H, בתלות בזווית הראיה α (ערכה 60 מעלות). ורדיוס הכוכב R. <u>הנחיה:</u> ניתן להתייחס למשולש OBC כאל משולש ישר זווית.	שימוש בפונקציית הסינוס.	$H = R$	1. סעיף זה עוסק רק בגיאומטריה, הוא מופיע מספר פעמים בשאלות הכבידה. 2. גובה הלווין שווה לרדיוס הכוכב רק כאשר זווית הראיה שווה ל 60 מעלות.
9א. אדם יושב בתוך לווין הנע בתנועה לוויינית סביב כוכב.  	יש לבטא את גודל הנורמל שהכיסא מפעיל על האדם.	על האדם פועל כוח הכבידה האוניברסלי. וכוח הנורמל. הכוח הצנטריפטלי במקרה זה הוא הכוח השקול לשני כוחות אלו. משוואת התנועה המעגלית(מהירות זוויתית). $\Sigma F_R = m \cdot \omega^2 \cdot R$	$N = 0$	1. כל גוף הנמצא בתוך לווין הנע בתנועה לוויינית, והאדם נע בתנועה לוויינית זהה. גם אם הלווין "יעלם פתאום" האדם ימשיך לנוע באותה תנועה לוויינית כרגיל. לכן, האדם "מרחף" בתוך הלווין. (דומה לאדם הנמצא בתוך מעלית הנעה בנפילה חופשית).
9ב. מכונית נחה על פני כוכב נח.  	$N(R, m, M_X)$ יש לבטא את כוח הנורמל, במקרה זה. <u>הנחיה:</u> נסמן את מסת המכונית ב m. ואת מסת הכוכב ב M_X.	על המכונית פועל כוח הכבידה האוניברסלי. וכוח הנורמל. משוואת התמדה.	$N = \frac{G \cdot M_X \cdot m}{R_X^2}$	במקרה זה כוח הנורמל לא מתאפס.
9ג. מכונית נוסעת במהירות גדולה על פני כוכב.  	$N(R_X, m, M_X, V)$ יש לבטא את כוח הנורמל, במקרה זה. <u>הנחיה:</u> יש להתייחס לכוכב כאל גוף בעל צורה כדורית. ולהניח שהכוכב לא מסתובב סביב צירו.	על המכונית פועל כוח הכבידה האוניברסלי. וכוח הנורמל. הכוח הצנטריפטלי במקרה זה הוא הכוח השקול לשני כוחות אלו. משוואת התנועה המעגלית(מהירות קווית). $\Sigma F_R = \frac{m \cdot V^2}{R}$	$N = \frac{G \cdot M_X \cdot m}{R_X^2} - \frac{m \cdot V^2}{R_X}$	ככל שמהירות המכונית גדולה יותר כך כוח הנורמל קטן יותר.

	ביטוי המהירות המתקבל במקרה זה הוא זהה לביטוי המהירות של תנועה לוויינית.	$V' = \sqrt{\frac{G \cdot M_X}{R_X}}$	על המכונית פועל כוח הכבידה האוניברסלי וכוח הנורמל. הכוח הצנטריפטלי במקרה זה הוא הכוח השקול לשני כוחות אלו. יש לכתוב את משוואת התנועה המעגלית (מהירות קווית). $\Sigma F_R = \frac{m \cdot V'^2}{R}$	$V'(R_X, M)$ יש לבטא את גודל המהירות V' שבו כוח הנורמל מתאפס. <u>הנחייה:</u> V' היא מהירות ספציפית המתאימה למקרה ספציפי, שבו ערך הנורמל שווה לאפס.	9. מכונית נוסעת במהירות גדולה על פני כוכב.  כוכב לכת X
	משוואת התנועה המעגלית של מכונית הנוסעת על כוכב נח, זהה למשוואת התנועה המעגלית של מכונית הנחה על כוכב מסתובב.	$T' = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{R_X^3}{G \cdot M_X}}$	על המכונית פועל כוח הכבידה האוניברסלי. וכוח הנורמל. הכוח הצנטריפטלי במקרה זה הוא הכוח השקול לשני כוחות אלו. משוואת התנועה המעגלית (עם מהירות זוויתית). $\Sigma F_R = m \cdot \omega^2 \cdot R$	$T'(R_X, M_X)$ יש לבטא את זמן המחזור הספציפי T' בו כוח הנורמל יהיה אפס. <u>הנחייה:</u> נתייחס לגוף הנמצא על קו המשווה, כך שנקודת מרכז הסיבוב היא נקודת מרכז הכוכב.	9. מכונית נחה על פני כוכב המסתובב סביב צירו.  כוכב לכת X
	1. אם כדור הארץ יסתובב בזמן מחזור של כ שעה וחצי, במקום 24 שעות, האדם "ירחף". 2. כדי להשתמש בכוח הנורמל ובכוח הכבידה האוניברסלי במשוואות התנועה יש להתייחס לאדם הנמצא על פני קו המשווה.	$T = 5,065s$	יש להשתמש בביטוי המחושב בסעיף הקודם.	חשב את זמן המחזור T^* של כדור הארץ עבורו האדם "ירחף" על פני כדור הארץ. <u>הנחייה:</u> במצב זה אם האדם קופץ למעלה הוא לא יורד למטה.	10. אדם עומד על נקודה הנמצאת על קו המשווה של כדור הארץ.
	1. בניית תנועת גופים על פני כדור הארץ אנחנו לא מתייחסים לתנועתו הסיבובית של כדור הארץ, (כשם שאנחנו לא מתייחסים לכוח החיכוך עם האוויר). 2. אדם העולה על משקל הנמצא על קו המשווה מסתו האמיתי גדולה ב 30 גרם מהמסה הנמדדת	$N = mg - 0.03m$	הכוח הצנטריפטלי הוא הכוח השקול לכוח הכבידה ולכוח הנורמל. משוואת התנועה המעגלית (עם מהירות זוויתית). $\Sigma F_R = m \cdot \omega^2 \cdot R$	אם כדור הארץ לא היה מסתובב סביב צירו, ערך כוח הנורמל הפועל על האדם היה שווה בדיוק ל mg. מכיוון שכדור הארץ נע סביב צירו ערך הנורמל מעט קטן יותר. פתח ביטוי לכוח הנורמל המתאים לתנועת כדור הארץ.	10. אדם עומד על נקודה הנמצאת על קו המשווה של כדור הארץ. 

	באופן כללי, כוח הנורמל לא מתאפס במקרה זה (תיאורטית רק כאשר גובה המגדל הוא אין סופי (הנורמל מתאפס))	$N = \frac{G \cdot M_X \cdot m}{(R_X + h)^2}$	על האדם פועל כוח הכבידה האוניברסלי. וכוח הנורמל. משוואת התמדה.	$N(R_X, h, m, M_X)$ יש לכתוב ביטוי לכוח הנורמל הפועל על האדם. הנחיה: m - מסת האדם. MX - מסת הכוכב. RX - רדיוס הכוכב. h - גובה העמוד	11א. אדם יושב על עמוד מאוד גבוה. העמוד ניצב על כוכב שלא מסתובב סביב צירו. 
	בביטוי זה המסה של הלויין לא מצטמצמת.	$N = \frac{G \cdot M_X \cdot m}{(R_X + h)^2} - \frac{m \cdot V^2}{R_X + h}$	על האדם פועל כוח הכבידה האוניברסלי. וכוח הנורמל. הכוח הצנטריפטלי במקרה זה הוא הכוח השקול לשני כוחות אלו. יש לכתוב משוואת התנועה המעגלית (מהירות קווית). $\Sigma F_R = \frac{m \cdot V^2}{R}$	$N(R_X, h, m, M_X, V)$ יש לכתוב ביטוי לכוח הנורמל הפועל על האדם.	11ב. אדם יושב על עמוד גבוה הניצב על כוכב המסתובב סביב צירו. 
	במקרה זה ניתן לומר שהאדם נע בתנועה לוויינית, לא פועל עליו כוח הנורמל.	$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{(R_X + h)^3}{G \cdot M_X}}$	על האדם פועל כוח הכבידה האוניברסלי. וכוח הנורמל. הכוח הצנטריפטלי במקרה זה הוא הכוח השקול לשני כוחות אלו. יש לכתוב משוואת התנועה המעגלית (מהירות זוויתית). $\Sigma F_R = m \cdot \omega^2 \cdot R$ ולבטא את זמן המחזור במקרה שבו הנורמל שווה לאפס.	$T(R_X, h, M_X)$ יש לכתוב ביטוי לזמן המחזור כאשר גודל הנורמל הפועל על האדם שווה לאפס.	11ג. אדם יושב על עמוד גבוה הניצב על כוכב המסתובב סביב צירו. 

12.א. לווין תקשורת נע בתנועה לוויןית מעל לנקודה קבועה הנמצאת על כדור הארץ 	יש לדעת את זמן מחזור תנועת הלווין.	ידע כללי, כדור הארץ נע סביב צירו, יש לדעת מה הוא זמן המחזור של תנועת כדור הארץ סביב צירו.	$T = 24h$	כל הגופים הנמצאים על פני כדור הארץ נעים בזמן מחזור של 24 שעות. הנקודה A נעה בתנועה מעגלית בזמן מחזור של 24 שעות. הלווין נמצא מעל הנקודה A, לכן זמן המחזור של הלווין גם הוא 24 שעות.
12.ב. לווין תקשורת נע מעל לנקודה קבועה. 	$R(M_S, T)$ יש לכתוב ביטוי לרדיוס מסלול תנועת הלווין בתלות בזמן המחזור ומסת הכוכב.	על הלווין פועל כוח הכבידה האוניברסלי. כוח זה הוא הכוח הצנטריפטלי. יש לכתוב משוואת התנועה המעגלית (מהירות זוויתית). $\Sigma F_R = m \cdot \omega^2 \cdot R$ ולבטא את רדיוס המסלול.	$R = \left(\frac{G \cdot M_S \cdot T^2}{4 \cdot \pi^2} \right)^{\frac{1}{3}}$	כל לווין התקשורת הם לוויןים הנעים מעל לנקודה קבועה. לכל כוכב יש רק גובה אפשרי אחד ללווין התקשורת הנעים סביבו. במילים אחרות: כל לווין התקשורת הנעים סביב כוכב, נעים בגובה זהה. (רדיוס מסלול זהה).
12.ג. לווין תקשורת נע בתנועה לוויןית מעל לנקודה קבועה הנמצאת על כדור הארץ 	חשב את הגובה של לווין התקשורת הנעים סביב כדור הארץ <u>הנחיה:</u> רדיוס המסלול שווה לסכום של גובה הלווין מעל הכוכב h ורדיוס הכוכב Rx.	נשתמש בביטוי רדיוס המסלול מהסעיף הקודם, עבור כדור הארץ. נבטא ממנו את גובה לווין התקשורת. ביטוי הגובה המתקבל: $h = \left(\frac{G \cdot M_E \cdot T^2}{4 \cdot \pi^2} \right)^{\frac{1}{3}} - R_E$	$h = 35.8 \cdot 10^6 m$	גובה לווין התקשורת שווה בקירוב ל שש פעמים רדיוס כדור הארץ.
12.ד. לווין תקשורת נע בתנועה לוויןית מעל לנקודה קבועה הנמצאת על כדור הארץ 	הסבר מדוע הנקודה מעליה נע הלווין חייבת להימצא בקו המשווה	כוח הכבידה האוניברסלי הפועל על הלווין פועל בכיוון נקודת מרכז כדור הארץ. בכל תנועה מעגלית הכוח הצנטריפטלי חייב לפעול לנקודת מרכז הסיבוב	גיאומטריה, רק אם הנקודה A נמצאת על קו המשווה, נקודת מרכז הסיבוב של התנועה המעגלית היא נקודת מרכז כדור הארץ. ורק אז כוח הכבידה יכול לפעול ככוח צנטריפטלי.	1. באיור הבא מתואר לווין הנמצא בנקודה B (לא בקו המשווה)  ניתן לראות שכוח הכבידה לא פועל לנקודת מרכז הסיבוב. 2. כדי שהלווין ינוע בדיוק מעל נקודה קבועה, הלווין חייב לנוע בתנועה מעגלית.

	יש להבחין בין רדיוס מסלול לבין גובה. בתרשים מופיע גובה, אך יש לחשב את רדיוס המסלול.	$R = \left(\frac{G \cdot M_m \cdot T_m^2}{4 \cdot \pi^2} \right)^{\frac{1}{3}}$ $R = 352.3 \cdot 10^3 \text{ m}$	על הלווין פועל כוח הכבידה האוניברסלי. כוח זה הוא הכוח הצנטריפטלי. יש לכתוב משוואת התנועה המעגלית (מהירות זוויתית). $\Sigma F_R = m \cdot \omega^2 \cdot R$ ולבטא את רדיוס המסלול.	חשב את רדיוס המסלול של לוויין התקשורת.	12. לווין תקשורת נע בתנועה לוויינית מעל לנקודה קבועה בירח 
	1. צורה נוספת של החוק השלישי של קפלר: $\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3}$ קפלר גילה את החוק השלישי מתנועת כוכבי הלכת סביב השמש, החוק נכון גם לירח ולוויינים הנעים סביב כדור הארץ. 2. היחס של גופים הנעים סביב השמש שונה מהיחס של גופים הנעים סביב כדור הארץ. T^2 / R^3	$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot M_S} = \text{קבוע}$	על הכוכב פועל כוח הכבידה האוניברסלי. כוח זה הוא הכוח הצנטריפטלי. יש לכתוב משוואת התנועה המעגלית (מהירות זוויתית). $\Sigma F_R = m \cdot \omega^2 \cdot R$ ולבטא מהמשוואה את היחס שבין ריבוע זמן המחזור לרדיוס המסלול בשלישית.	פתח את ביטוי החוק השלישי של קפלר עבור כוכבי הלכת הנעים סביב השמש. <u>הנחיה:</u> יש להראות שהיחס שבין ריבוע זמן המחזור לרדיוס המסלול בשלישית הוא קבוע התלוי במסת השמש בלבד. לכן, יחס זה הוא זהה לכל כוכב הלכת הנעים סביב השמש.	13. חוק שלישי של קפלר
	החוק השלישי של קפלר עוסק בגופים הנעים בתנועה לוויינית ומתקיים לגביהם שני התנאים הבאים: א- שני הגופים נעים סביב אותו כוכב. ב- כל אחד מהגופים נע בהשפעת כוח הכבידה שמפעיל עליו הכוכב בלבד!	אם נכתוב את משוואת התנועה במקרה זה נראה שהיחס T^2 / R^3 הוא לא קבוע התלוי במסת השמש בלבד. לכן החוק השלישי לא מתקיים במקרה זה.	על הלווין פועלים שני כוחות משיכה. ועל כדור הארץ פועלים שני כוחות משיכה. יש לכתוב משוואת התנועה המעגלית (מהירות זוויתית). $\Sigma F_R = m \cdot \omega^2 \cdot R$ ולבטא מהמשוואה את היחס שבין ריבוע זמן המחזור לרדיוס המסלול בשלישית	במקרה זה החוק השלישי של קפלר לא מתקיים עבור הלווין וכדור הארץ. למרות ששניהם נעים סביב השמש. הסבר מדוע החוק השלישי לא מתקיים במקרה זה.	13. לווין נע סביב השמש במהירות זוויתית הזוהה למהירות הזוויתית של כדור הארץ. (הלווין וכדור הארץ נמצאים על אותו קו רדיאלי כל זמן תנועתם). 

	ניתן ללמוד מתנועתו של גוף הנע בנפילה בקו ישר על מסת הכוכב על פניו משוחרר הגוף. באופן דומה, ניתן ללמוד מתנועתו המעגלית של הלוויין על מסת הכוכב סביבו הלוויין נע.	$M_S = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R^3}{T^2 \cdot G}$	על הלוויין פועל כוח הכבידה האוניברסלי. כוח זה הוא הכוח הצנטריפטלי. יש לכתוב את משוואת התנועה המעגלית (מהירות זוויתית). $\Sigma F_R = m \cdot \omega^2 \cdot R$ ולבטא מהמשוואה את מסת הכוכב	$M_S(R, T)$ יש לכתוב ביטוי למסת הכוכב בתלות בזמן המחזור ורדיוס המסלול	14א. לווין נע בתנועה לוויינית סביב כוכב לכת כלשהו. 
	ניתן ללמוד מתנועתו של גוף הנע בנפילה בקו ישר על מסת הכוכב על פניו משוחרר הגוף. באופן דומה, ניתן ללמוד מתנועתו המעגלית של הלוויין על מסת הכוכב סביבו הלוויין נע.	$M_E = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$	על הלוויין פועל כוח הכבידה האוניברסלי. כוח זה הוא הכוח הצנטריפטלי. יש לכתוב את משוואת התנועה המעגלית (מהירות זוויתית). $\Sigma F_R = m \cdot \omega^2 \cdot R$ ולבטא מהמשוואה את מסת הכוכב	יש לחשב את מסת כדור הארץ בהתאם לתנועת הירח.	14ב. לווין נע בתנועה לוויינית סביב כדור הארץ 