



# פיזיקה בגובה העיניים

כבידה - 1

# כוח הכבידה

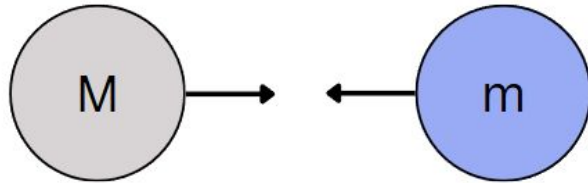
הגדרה - חוק הכבידה העולמי של ניוטון מתאר את כוח המשיכה בין כל שני גופים ביקום.

סימון -  $F$

נוסחה:  $F = Gm_1m_2/r^2$

פרמטרים:

- $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$  (קבוע הכבידה האוניברסלי)  $[m^3/kg \cdot s^2]$
- $m_1$  - המסה של הגוף הראשון  $[kg]$
- $m_2$  - המסה של הגוף השני  $[kg]$
- $r$  - המרחק בין מרכזי המסות של שני הגופים  $[m]$



יחידות מידה -  $N$

# שאלת חשיבה

אם אמרנו שכוח הכבידה פועל בין כל 2 גופים, מדוע אנו לא רואים במציאות שגופים נמשכים האחד לשני ?

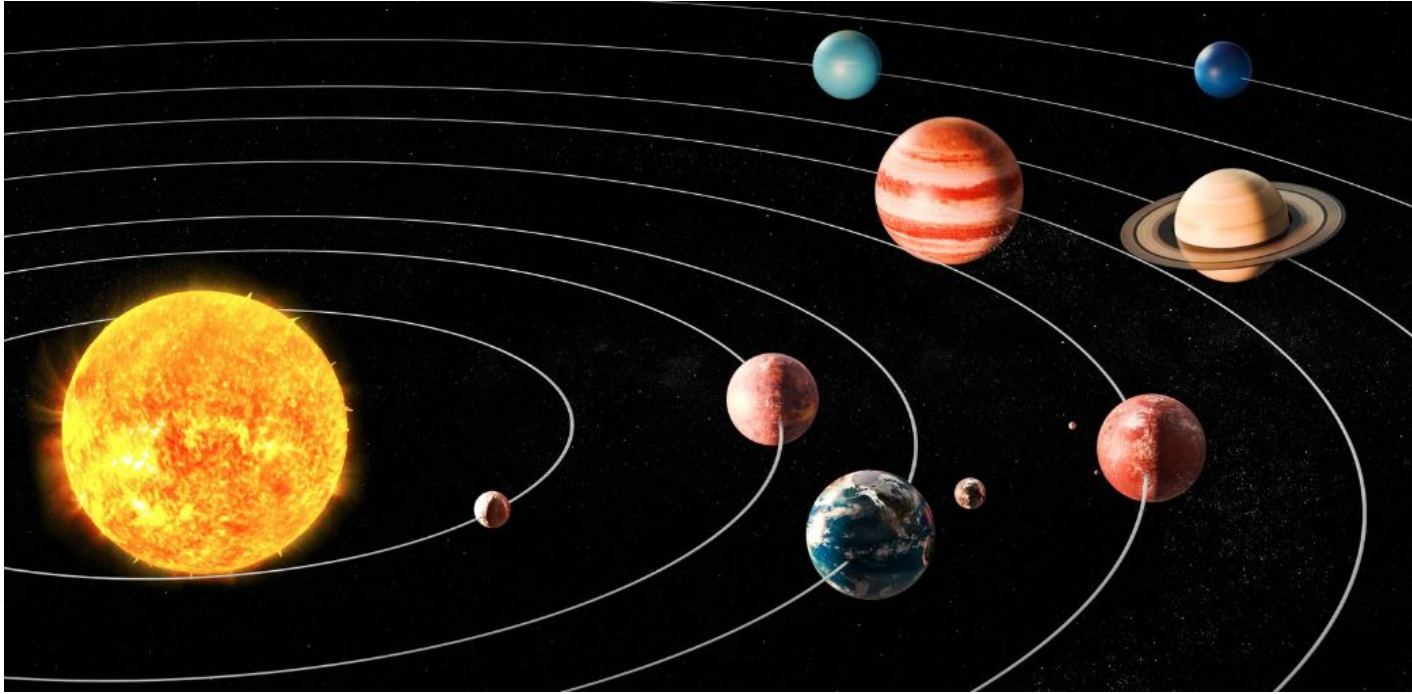
תשובה 1:  $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$  - הוא מספר מאוד מאוד קטן. (0.0000000000667)

מסות הגופים לא מספיק גדולות ולכן שכופלים אותן ב-G הכוח  $F = Gm_1m_2/r^2$  שואף ל-0.

תשובה 2: גם אם נאמר שיש מסות גדולות, כגון: הרים, בניינים וכו'. אפשר לטעון שמשום שכל גוף מפעיל כוח על השני הכוחות מקזזים האחד את השני.

לכן, בנושא כבידה נעסוק במקרים הכוללים כוכבי לכת (מסתם עצומה).

# מערכת השמש שלנו

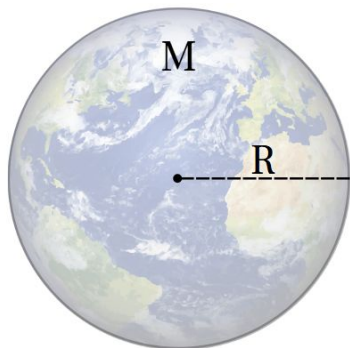


## נתונים על אודות השמש והירח

זמן מחזור (יממות)	רדיוס מסלול ממוצע (מ) סביב כדור הארץ	רדיוס (m)	מסה (kg)	
-----	-----	$6.96 \cdot 10^8$	$1.99 \cdot 10^{30}$	שמש
27.3	$3.84 \cdot 10^8$	$1.74 \cdot 10^6$	$7.35 \cdot 10^{22}$	ירח

## נתונים הקשורים בכוכבי הלכת

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



# דוגמה 1:

תחנת החלל הבינלאומית שמסתה  $m = 4.5 \cdot 10^5$  נמצאת במרחק של  $r = 6.68 \cdot 10^6$  ממרכז כדור הארץ. חשב את גודל כוח הכבידה שפועל על תחנת החלל.

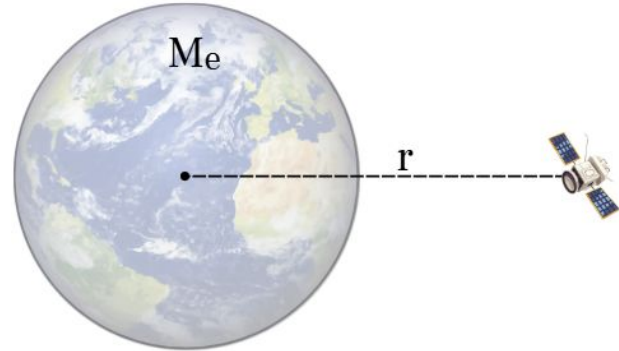
$$G = 6.67 \cdot 10^{-11}, m = 4.5 \cdot 10^5 \text{ kg}, r = 6.68 \cdot 10^6 \text{ m}, M_e = 5.974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$F = ?$$

$$F = GM_em/r^2$$

$$F = (6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 5.974 \cdot 10^{24} \cdot 4.5 \cdot 10^5) / (6.68 \cdot 10^6)^2$$

$$F = 4.018 \cdot 10^6 \text{ N}$$



# המרות של מספרים

דוגמאות:

$$50 = 5 \cdot 10^1$$

$$500 = 5 \cdot 10^2$$

$$5000 = 5 \cdot 10^3$$

$$2575 = 2.575 \cdot 10^3 = 25.75 \cdot 10^2$$

$$819000000 = 819 \cdot 10^6 = 8.19 \cdot 10^8$$

$$7342198656 = 7.342 \cdot 10^9$$

# כיצד ממירים ?

1. שם נקודה.

2. רושם 4 ספרות משמאל לתחילת המספר.

3. סופר כמה ספרות יש מימין לנקודה.

4. כופל ב-10 בחזקת המספר שספרת.

$$x.\underbrace{xxxxxxxxx}_n = x.xxx \cdot 10^n$$

## דוגמה 2:

השמש וכוכב פרוקסימה קנטאורי שמסתו  $M_p = 2.4 \cdot 10^{29} \text{ kg}$  נמצאים במרחק של  $r = 4 \cdot 10^{16} \text{ m}$  ממרכזי הכוכבים.  
חשב את כוח הכבידה (גודל וכיוון) שפועל ביניהם.

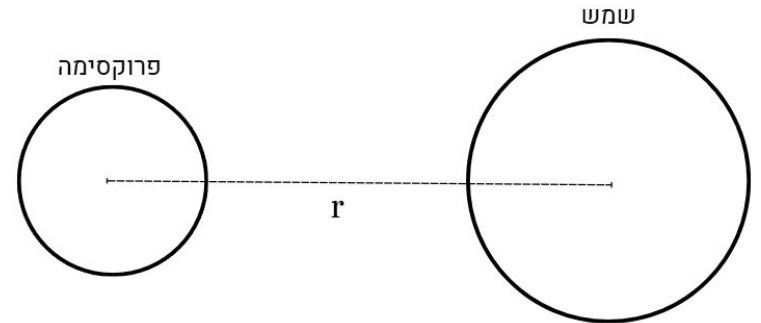
$$G = 6.67 \cdot 10^{-11}, M_s = 1.99 \cdot 10^{30} \text{ kg}, M_p = 2.4 \cdot 10^{29} \text{ kg}$$

$$F = ?$$

$$F = G \cdot M_s \cdot M_p / r^2$$

$$F = (6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 1.99 \cdot 10^{30} \cdot 2.4 \cdot 10^{29}) / (4 \cdot 10^{16})^2$$

$$F = 1.99 \cdot 10^{16} \text{ N}$$



הכוח פועל על השמש שמאלה ועל כוכב פרוקסימה ימינה

### דוגמה 3:

לוויין במסה של 200kg נמצא בגובה של  $h = 2000\text{km}$  מעל פני כדור הארץ.

חשב את כוח הכבידה (גודל וכיוון) שפועל על הלוויין.

$$m = 200\text{kg}, h = 2000\text{km} = 2 \cdot 10^6\text{m}, M_e = 5.974 \cdot 10^{24}\text{kg}, R_e = 6.38 \cdot 10^6\text{m}$$

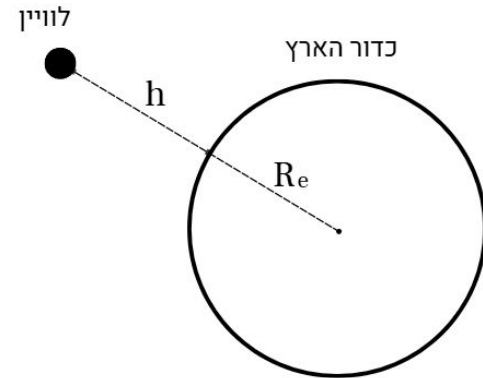
$$F = ?$$

$$F = G \cdot M \cdot m / r^2$$

$$F = G \cdot M \cdot m / (R_e + h)^2$$

$$F = (6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 5.974 \cdot 10^{24} \cdot 200) / (6.38 \cdot 10^6 + 2 \cdot 10^6)^2$$

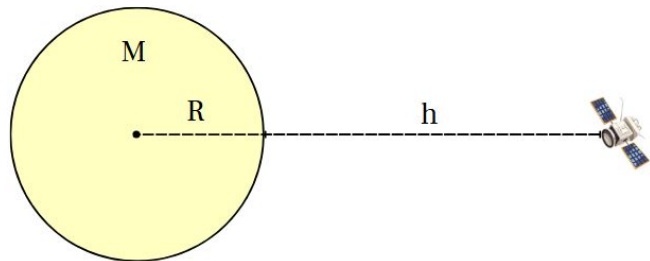
$$F = 1,134\text{N}$$



למרכז כדור הארץ

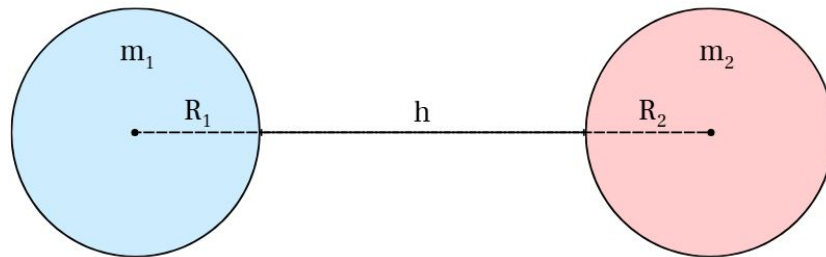
# סוגי המקרים:

גוף וכוך לכת



$$r = R + h$$

2 כוכבי לכת



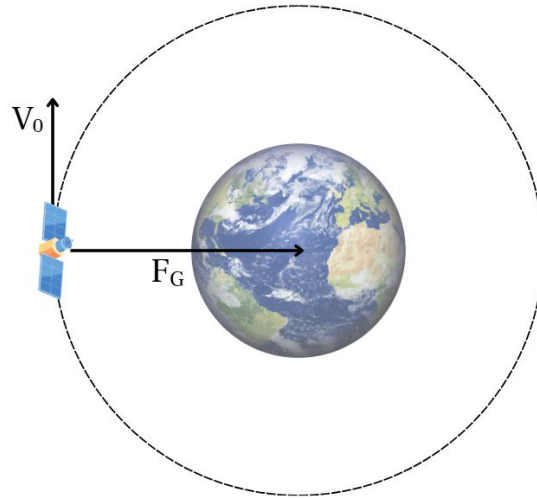
$$r = R_1 + h + R_2$$

# החוק הראשון של קפלר

הגדרה - כל גוף הסובב סביב כוכב מרכזי נע במסלול אליפטי (אנו למסלול כעיגול).

$$F = ma_r$$

לכן, כמו בתנועה מעגלית:



# דוגמה 1:

לוויין נע במסלול מעגלי סביב כדור הארץ בגובה  $h = 1000\text{km}$  מעל פני כדור הארץ.

א. מצא את המהירות המשיקית  $V$  של הלוויין

$$M_e = 5.974 \cdot 10^{24} \text{ kg}, R_e = 6.38 \cdot 10^6 \text{ m}, h = 1000\text{km} = 1 \cdot 10^6 \text{m}$$

$$r = R_e + h = 6.38 \cdot 10^6 + 1 \cdot 10^6 = 7.38 \cdot 10^6 \text{m}$$

$$V = ?$$

$$F = ma_r$$

$$GMm/r^2 = mV^2/r \quad /: (m/r)$$

$$V^2 = G \cdot M/r$$

$$V = \sqrt{(6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 5.974 \cdot 10^{24} / 7.38 \cdot 10^6)}$$

$$V = 7,348 \text{ m/s}$$

# דוגמה 1 - המשך...

ב. מהו זמן המחזור T של הלוויין

$$T = ?$$

$$T = 2\pi r/V$$

$$T = 2\pi \cdot 7.38 \cdot 10^6 / 7,348 = 6,310s$$

$$T = 6,310s$$

$$a_r = ?$$

$$F = ma_r$$

$$GMm/r^2 = ma_r \quad /: m$$

$$a_r = GM/r^2$$

$$a_r = (6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 5.974 \cdot 10^{24}) / (7.38 \cdot 10^6)^2$$

$$a_r = 7.316m/s^2$$

ג. חשב את התאוצה הרדיאלית  $a_r$  של הלוויין.

## דוגמה 2:

הלוויין "AWR-34" מסתובב במסלול מעגלי סביב הירח ומשלים סיבוב כל שעתיים.

א. מצא את רדיוס הסיבוב של הלוויין.

$$M = 7.35 \cdot 10^{22} \text{ kg}, R = 1.74 \cdot 10^6 \text{ m}, T = 2h = 2 \cdot 3600 = 7200s$$

$$r = ?$$

$$F = ma_r$$

$$GMm/r^2 = m \cdot \omega^2 r \quad /: m$$

$$GM/r^2 = \omega^2 r$$

$$GM/r^2 = (2\pi/T)^2 \cdot r$$

$$GM/r^2 = 4\pi^2 r / T^2$$

$$r^3 = MGT^2 / 4\pi^2$$

$$r^3 = (7.35 \cdot 10^{22} \cdot 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 7200^2) / 4\pi^2$$

$$r^3 = 6.437 \cdot 10^{18} \quad / \sqrt[3]{}$$

$$r = 1.86 \cdot 10^6 \text{ m}$$

## דוגמה 2 - המשך...

ב. חשב את גובה הלווין  $h$  מעל פני הירח.

$$h = ?$$

$$h = r - R$$

$$h = 1.86 \cdot 10^6 - 1.74 \cdot 10^6 = 120,000$$

$$h = 1.2 \cdot 10^5 \text{ m}$$

נתון, כי מסת הלווין  $m = 250 \text{ kg}$ .

ג. מהו כוח הכבידה שפועל על הלווין.

$$F = ?$$

$$F = GMm/r^2$$

$$F = (6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 7.35 \cdot 10^{22} \cdot 250) / (1.86 \cdot 10^6)^2$$

$$F = 354.2 \text{ N}$$

# תאוצת הכובד של כוכב

הגדרה - התאוצה שמרגיש הגוף כתוצאה מהשפעת הכוכב עליו.

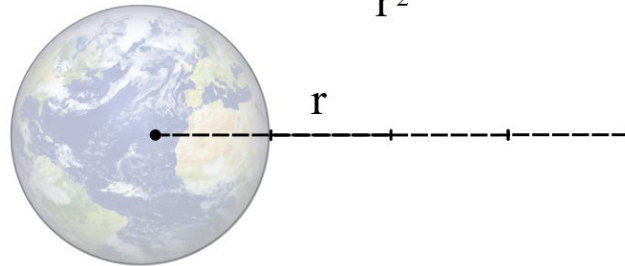
סימון -  $a_r$

נוסחה:  $a_r = GM/r^2$

$$F = ma_r$$

$$GMm/r^2 = ma_r \quad /: m$$

$$a_r = GM/r^2$$



## דוגמה:

הוכח: תאוצת הכובד על כדור הארץ היא  $g = 9.8\text{m/s}^2$

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} , M_e = 5.974 \cdot 10^{24} \text{ kg} , R_e = 6.38 \cdot 10^6 \text{ m}$$

$$g = ?$$

$$F = m a_r$$

$$G \cdot M_e \cdot m / R_e^2 = m a_r \quad /:m$$

$$a_r = G \cdot M / R_e^2$$

$$g = (6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 5.974 \cdot 10^{24}) / (6.38 \cdot 10^6)^2$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

# סוף שיעור 1

תודה רבה שהקשבתם, לכו לתרגל ולהתראות. ✌️

