

עבודה

כוח הוא סיבה לשינוי תנועתו או צורתו של גוף

כאשר על גוף פועלים מספר כוחות, ניתן להחליף את כולם בכוח אחד (שקול) שהשפעתו תהיה זהה להשפעה של מספר כוחות שכוח שקול מחליף אותם. אם כוחות פועלים באותו כיוון, מחברים את הערכים המוחלטים של הם וכיוונו של כוח שקול יהיה בכיוון של הכוחות המקוריים. אם כוחות מנוגדים בכיוונם, כוח שקול שווה לערך מוחלט של כוח גדול פחות ערך מוחלט של כוח קטן וכיוונו בכיוון של הכוח הגדול.

**עבודה שהכוח מבצע על גוף היא מכפלת כוח בהעתק (מרחק),
שגוף עובר בהשפעת הכוח**

גודל של עבודה ניתן לחשב לפי נוסחה:

$$W = F \cdot x$$

- אם כוח פועל בכיוון התנועה, עבודתו חיובית
- אם כוח פועל נגד כיוון התנועה, עבודתו שלילית
- אם כוח מאונך לכיוון התנועה, עבודתו שווה לאפס
- יחידת מדידה של עבודה היא ג'אול [J]

w	עבודה של כוח קבוע	J	ג'אול
F	כוח קבוע	N	ניוטון
x	העתקו של הגוף שנע בהשפעת כוח קבוע	m	מטר

אנרגיה

אנרגיה היא יכולת לבצע עבודה

קיימים מספר סוגים של אנרגיה:

1. **אנרגיה מכנית** מתחלקת לשלושה סוגים:

- **אנרגיית גובה** (פוטנציאלית כובדית)
- **אנרגיית תנועה** (קינטית)
- **אנרגיה אלסטית** (קפיץ)

2. **אנרגיית חום** (תרמית)

3. **אנרגיה חשמלית**

4. אנרגיית קרינה (אור)

5. אנרגיית קול

6. אנרגיה גרעינית

7. אנרגיה כימית

אנרגיה ועבודה נמדדות באותן יחידות – ג'אול [J]

חוק שימור אנרגיה:

אנרגיה לא נעלמת, לא נוצרת מאליה, אלא מומרת מסוג אחד

דוגמאות לגלגולי אנרגיה:

- אנרגיה כימית של דלק הופכת לאנרגיית תנועה של מכונית, אנרגיית חום שנפלטת ממנוע וגלגלים, אנרגיית קול של מכונית, אנרגיה חשמלית שמאפשר פעולה של מכשירים חשמליים באוטו (פנסים, רדיו וכו')
- אנרגיית גובה של מים נופלים מומרת לאנרגיית תנועה שלהם, שהיא מומרת לאנרגיית תנועה של טורבינה, שהיא מומרת לאנרגיה חשמלית. אנרגיה חשמלית יכולה להפוך לאנרגיית חום, תנועה, גובה בעזרת מכשירים שונים.
- בפיצוץ גרעיני, אנרגיה גרעינית מומרת לאנרגיית חום, אור, קול, תנועה, חשמלית.
- אנרגיה גרעינית שמשחררת בתוך כוכב הופכת לאנרגיית חום (אור) ואנרגיה כימית (נוצרים יסודות חדשים)
- בתחנת כוח תרמו אלקטרית אנרגיה כימית של גז (נפט או פחם) הופכת לאנרגיית חום, גורמת לשינוי מצב צבירה של מים ואנרגיית תנועה של גנרטור.

אנרגיית גובה (פוטנציאלית כובדית)

לכל גוף שנמצא בגובה ביחס לגוף אחר יש אנרגיית גובה, במילים אחרות בזמן נפילתו הוא יכול לבצע עבודה

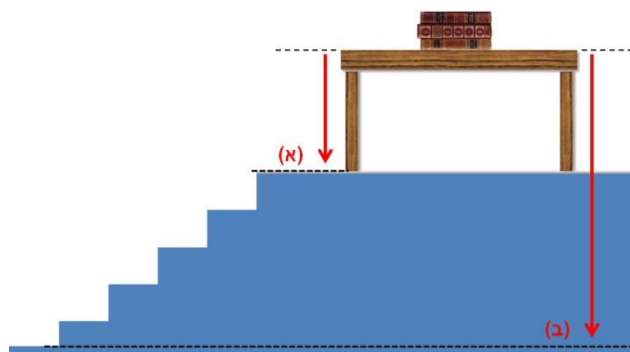
נוסחה לחישוב

$$E_p = mgh$$

ג'אול	J	אנרגיה פוטנציאלית כובדית	$E_p = mgh$
קילוגרם	kg	מסת הגוף	m
מטר לשנייה בריבוע	m/s^2	תאוצה של נפילה חופשית	g
מטר	m	גובה של גוף ביחס למישור יחוס	h

למכפלה $m \cdot g$ לפעמים קוראים משקל. (כוח שבו גוף לוחץ על משטח או מותח חוט שעליו הוא תלוי). שם נכון של המכפלה – כוח הכובד. מכפלת כוח הכובד (או משקל ברוב המקרים) בגובה מעל רמת הייחוס שווה לאנרגיית גובה.

אנרגיית גובה תלויה ברמת יחוס.



- אם גוף נמצא מעל מישור הייחוס – אנרגיית גובה שלו חיובית.
 - אם גוף נמצא מתחת למישור הייחוס – אנרגיית גובה שלו שלילית
- אם גוף נמצא מעל רמת הייחוס, אנרגיית גובה שלו חיובית, מתחת לרמת הייחוס – שלילית, על פני רמת הייחוס אנרגיית גובה שווה לאפס.
- בזמן נפילה אנרגיית גובה מומרת לאנרגיית תנועה (במצב אידיאלי ללא התנגדות האוויר) ולהפך, כאשר גוף נזרק כלפי מעלה, אנרגיית גובה גדלה ואנרגיית קינטית קטנה.
- אחד משימושים באנרגיית גובה – תחנת כוח הידרואלקטרית.

דוגמה :

חשב את אנרגיית גובה של כדור שמסתו 350 גרם שנמצא בגובה של 1.5 מטר מעל הרצפה.

שלבי פתרון :

1. לרשום נתונים ולהמיר את כל הערכים ליחידות SI (מטר, קילוגרם, שנייה)

$m = 350 \text{ gr} = 0.35 \text{ kg}$
$g = 10 \frac{m}{s^2}$
$h = 1.5 \text{ m}$
$E_p = ?$

2. לרשום נוסחה לחישוב של אנרגיית גובה. אם יש צורך לבטא מתוך נוסחה ערכים

אחרים :

$$h = \frac{E_p}{m \cdot g} \quad m = \frac{E_p}{g \cdot h} \quad g = \frac{E_p}{m \cdot h}$$

$m = 350 \text{ gr} = 0.35 \text{ kg}$
$g = 10 \frac{m}{s^2}$
$h = 1.5 \text{ m}$
$E_p = ?$

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

3. להציב מספרים לפי נתוני השאלה ולבצע חישוב

$m = 350 \text{ gr} = 0.35 \text{ kg}$
$g = 10 \frac{m}{s^2}$
$h = 1.5 \text{ m}$
$E_p = ?$

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

$$E_p = 0.35 \cdot 10 \cdot 1.5 = 5.25$$

4. לרשום את התשובה כולל יחידות מדידה

5.

$m = 350 \text{ gr} = 0.35 \text{ kg}$
$g = 10 \frac{m}{s^2}$
$h = 1.5 \text{ m}$
$E_p = ?$

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

$$E_p = 0.35 \cdot 10 \cdot 1.5 = 5.25$$

תשובה :

$$E_p = 5.25 \text{ [J]}$$

$$g_{\text{יר}} = \frac{10}{6} \approx 1.67 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

על פני הירח תאוצה של נפילה חופשית קטנה פי 6 בערך

אנרגיית תנועה (אנרגיה קינטית)

לכל גוף שנע יש אנרגיה קינטית (אנרגיית תנועה).

נוסחה לחישוב

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

E_k	אנרגיה קינטית של הגוף	J	ג'אול
m	מסת הגוף	kg	קילוגרם
v	מהירותו של הגוף	$\frac{m}{s}$	מטר לשנייה

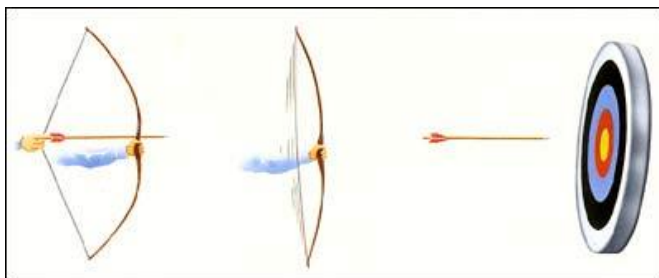
עבודה של כוח שקול שווה לשינוי באנרגיה קינטית של גוף.

אם כוח מבצע עבודה חיובית, אנרגיה קינטית גדלה, אם כוח מבצע עבודה שלילית, אנרגיה קינטית שלו קטנה. אנרגיה קינטית תלויה במסה ומהירות. כאשר מהירות גדלה פי 2, אנרגיית תנועה גדלה פי 4 (חזקה שנייה של מהירות)

- אנרגיית תנועה **תמיד** חיובית.
- כאשר גוף נופל ללא חיכוך עם אוויר, אנרגיית גובה שלו מומרת לאנרגיית תנועה. סמוך לקרקע (ברגע הפגיעה) כל אנרגיית גובה מומרת לאנרגיית תנועה לפי חוק שימור אנרגיה.
- אם קיים חיכוך עם אוויר או משטח (למשל גוף מחליק במורד מישור משופע מחוספס), אז אנרגיית גובה מומרת לאנרגיית תנועה ואנרגיית חום (חיכוך), לכן ברגע הגעה לקרקע, אנרגיית קינטית קטנה מאנרגיית גובה שהיית לגוף בתחילת התנועה.
- כאשר גוף נזרק כלפי מעלה, אנרגיה קינטית מומרת לאנרגיית גובה (אם אין חיכוך עם אוויר) ואנרגיה קינטית מומרת לאנרגיית גובה ואנרגיית חום (אם יש חיכוך עם אוויר). אם אין חיכוך עם אוויר, אנרגיית תנועה התחלתית שווה לאנרגיית גובה סופית.

אנרגיה אלסטית

לכל גוף אלסטי (ששואף לחזור למצבו המקורי אחרי עיוות, כמו קפיץ מעוות) יש אנרגיה אלסטית



נוסחה לחישוב:

$$E_{el} = \frac{k\Delta l^2}{2}$$

ג'אול	J	אנרגיה אלסטית	E_{el}
ניוטון לקילוגרם	N/kg	קבוע קפיץ	k
מטר	m	התארכות של קפיץ ממצב רפוי	Δl

אנרגיה אלסטית תמיד חיובית

דוגמאות של גלגולי אנרגיה אלסטית:

יורים חץ מקשת כלפי מעלה. אנרגיה אלסטית הופכת לאנרגיית תנועה ובסוף לאנרגיית גובה בלבד (בשיא הגובה חץ נעצר)

אנרגיה פנימית

אנרגיה פנימית של גוף היא סכום של אנרגיה פוטנציאלית של המולקולות שמושכות זאת את זאת ואנרגיית תנועה שלהן

לכל גוף, אפילו שנמצא בגובה אפס ובמנוחה יש אנרגיה פנימית. ככל שמולקולות בגוף נעות מהר יותר, כך גם אנרגיה פנימית שלו גדולה יותר.

טמפרטורה - מידת האנרגיה הקינטית הממוצעת של המולקולות בגוף



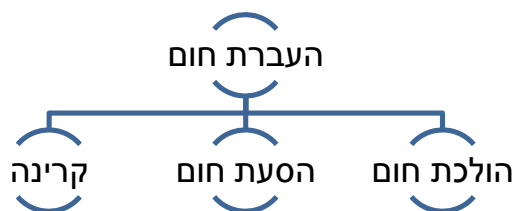
טמפרטורה נמדדת במעלות צלזיוס (C) או קלווין (K). ככל שטמפרטורה גבוהה יותר, כך גם אנרגיה קינטית ממוצעת גדולה יותר ולכן אנרגיה פנימית גדולה יותר. הבדל בין סולם צלזיוס וסולם קלווין בנקודה שנחרה כאפס. בסולם צלזיוס זאת טמפרטורת היתוך של קרח ובסולם קלווין – אפס מוחלט, טמפרטורה הכי נמוכה שקיימת שבה נפסקת תנועה של המולקולות

$$0 K = -273.14^{\circ}\text{C}$$

ניתן לשנות את האנרגיה הפנימית בשתי דרכים: ביצוע עבודה והעברת חום

דוגמה לביצוע עבודה: מכופפים סיכה מספר פעמים עד שהיא נשברת ונוגעים בקצה. ניתן להרגיש שהקצה חם. אם טמפרטורה עלתה, אז אנרגיה פנימית גם גדלה. דוגמה להעברת חום: חימום של קומקום חשמלי, הפשרת בשר קפוא.

דרכים להעברת חום:



- כמות החום שגוף מקבל נחשבת חיובית
- כמות החום שגוף פולט נחשבת שלילית

אנרגיית חום

אנרגיית חום (כמות החום) שגוף מקבל בתהליך חימום או פולט בתהליך קירור



נוסחה לחישוב

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t$$

Q	אנרגיית חום	J	ג'אול
c	חום סגולי	$\frac{J}{kg \cdot ^{\circ}C}$	ג'אול חלקי קילוגרם מעלת צלזיוס
m	מסת הגוף	kg	קילוגרם
Δt	הפרש טמפרטורות	מעלות צלזיוס	מעלות צלזיוס

חום סגולי זאת אנרגיה שדרושה לחימום של 1 ק"ג של חומר ב- $1^\circ C$.

לדוגמה: חום סגולי של מים הוא $4200 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$. משמעות: כדי לחמם 1 ק"ג של

מים ב- $1^\circ C$ דרושה אנרגיה של 4200 ג'אול.

ככל שחום סגולי גדול יותר, כך גם חומר מתחמם יותר לאט ומתקרר יותר לאט.

דוגמה לפתרון בעיה בנושא: "כוח הכובד"

איזו כמות חום קולטים 1.8 ק"ג נחושת בהתחממות מ- 10°C ל- 20°C ?

$$m = 1.8\text{kg}$$

$$c = 400 \frac{\text{J}}{\text{kg} \times ^{\circ}\text{C}}$$

$$t_1 = 10^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 20^{\circ}\text{C}$$

$$Q = ?$$

$$Q = cm(t_2 - t_1)$$

$$Q = 400 \cdot 1.8 \cdot (20 - 10) = 7200(\text{J})$$

$$Q = 7200\text{J}$$

זרם חשמלי

החומרים שונים מתחלקים לשתי קבוצות עיקריות לפי מוליכות חשמלית: **מוליכים** ו**מבודדים** (קיימים גם קבוצות אחרות כמו מוליכים למחצה ומוליכי על).

במוליכים קיימים מטענים חשמליים שיכולים לנוע חופשי ובמבודדים לא קיימים מטענים חופשיים.

במתכות מטענים חופשיים הם אלקטרונים שמטען שלהם שלילי.

כיוון של זרם חשמלי הוא מפלוס של סוללה למינוס שלה, למרות שכיין תנועת האלקטרונים ממינוס לפלוס

אלקטרונים במוליך שלא מחובר למקור מתח (סוללה) נעים בתנועה אקראית. כאשר מחברים מוליך לסוללה, בנוסף לתנועה אקראית האלקטרונים מתחילים לנוע בכיוון אחד. (להקת דבורים)

עוצמת הזרם חשמלי שווה לכמות המטען שעוברת דרך שטח חתך בשנייה אחת

זרם חשמלי נמדד ביחידות אמפר [A].

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

עוצמת זרם חשמלי

I	עוצמת זרם חשמלי	A	אמפר
q	מטען חשמלי	C	קולון
t	זמן שבו מטען עובר דרך שטח חתך	sec	שניות

חוק אום

חוק אום מקשר בין זרם חשמלי במעגל, מתח של מקור אנרגיה חשמלית והתנגדות המעגל

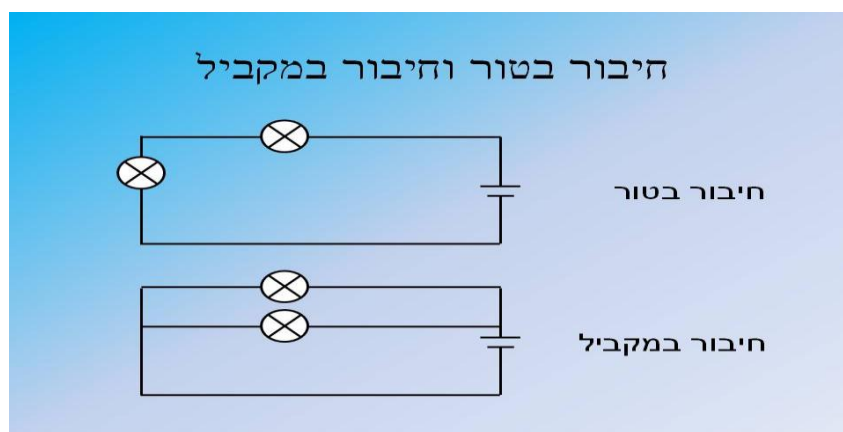
$$I = \frac{V}{R}$$

אמפר	A	עוצמת זרם חשמלי	I
וולט	V	מתח חשמלי	V
אום	Ω	התנגדות חשמלית	R

התנגדות חשמלית תלויה באורך התיל (מוליך), שטח חתך שלו חומר שממנו עשוי התיל וטמפרטורה.

- ככל שאורך התיל גדול יותר, כך גם התנגדותו החשמלית גדולה יותר
- ככל שאורך התיל עבה יותר, כך גם התנגדותו החשמלית קטנה יותר
- תכונה של חומר שמשפיעה על התנגדות נקראת "התנגדות סגולית". ככל שההתנגדות הסגולית גדולה יותר, כך גם התנגדות המוליך גדולה יותר.
 - דוגמאות של חומרים עם התנגדות סגולית גבוהה: מבודדים (עץ, גומי,
 - פלסטיק) ממוליכים – **טונגסטן** (וולפרם)
 - דוגמאות של חומרים עם התנגדות סגולית נמוכה: אלומיניום, נחושת, כסף, זהב
- ככל שטמפרטורה גבוהה יותר, כך גם ההתנגדות החשמלית גדולה יותר.

חיבור נגדים בטור ובמקביל



חיבור בטור: זרם קבוע, מתח שווה לסכום המתחים בכל אחד מנגדים

$$I_T = I_1 = I_2 = \text{const}$$

$$V_T = V_1 + V_2 + \dots$$

$$R_T = R_1 + R_2 + \dots$$

חיבור במקביל: מתח קבוע, זרם שווה לסכום הזרמים בכל אחד מנגדים

$$V_T = V_1 = V_2 = \text{const}$$

$$I_T = I_1 + I_2 + \dots$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

לשני נגדים בלבד קיימת נוסחה נוחה יותר:

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

אנרגיה חשמלית

$$E_{EL} = q \cdot V$$

E	אנרגיה חשמלית	J	ג'אול
q	מטען חשמלי	C	קולון
V	מתח חשמלי	V	ולט

$$E_{EL} = I \cdot V \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{V^2}{R} \cdot t$$

I	עוצמת זרם חשמלי	A	אמפר
V	מתח חשמלי	V	וולט
R	התנגדות חשמלית	Ω	אום
t	זמן	sec	שניות

לצורך חישוב תשלום לחברת החשמל משתמשים ביחידות אנרגיה שונות שנקראות קילוואט-שעה (קוט"ש או kWh)

קילוואט-שעה זאת אנרגיה שצורך מכשיר חשמלי שהספקו 1 קילוואט במשך שעה אחת של פעילות.

לדוגמה: נורה של 60 וואט: הספקה בקילוואט הוא $P = \frac{60}{100} = 0.06 \text{ kW}$. לכן במשך שעה היא צורכת כמות אנרגיה של 0.06 קוט"ש. אם מחיר של קוט"ש אנרגיה חשמלית

הוא 0.5 נה, אז עלות הפעלה של הנורה במשך שעה אחת הוא $0.5 \cdot 0.06 = 0.03$ נה, כלומר 3 אגורות. עלות הפעלה של הנורה במשך חודש רצוף: $0.03 \cdot 24 \cdot 30 = 43.2$ נה.

הספק חשמלי

הספק חשמלי הוא אנרגיה חשמלית שמומרת לסוג אחר ביחידת זמן

יחידת הספק היא וואט [W]

וואט אחד הוא הספק שבו אנרגיה של 1 ג'אול משתחררת בשנייה אחת

$$P = I \cdot V = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$

אמפר	A	עוצמת זרם חשמלי	I
וולט	V	מתח חשמלי	V
אום	Ω	התנגדות חשמלית	R
וואט	W	הספק חשמלי	P