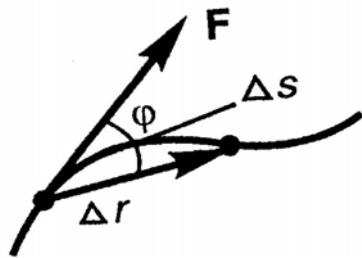


עבודה ואנרגיה

תוך כדי התנועה יכולים הכוחות הפועלים על הגוף להשתנות הן בגודלם והן בכיוונם.

קטע קטן של העתק (או של דרך) אשר בגבולותיו אפשר להזניח את שינויי הכוח.

העתק אלמנטרי $\vec{\Delta r}$



עבודה אלמנטרית -

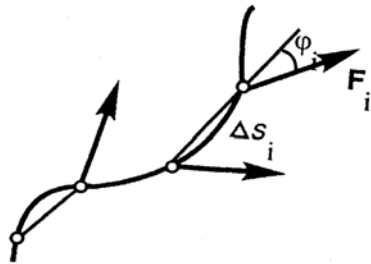
הערך הסקלרי:

$$\Delta A = F \cdot \Delta r \cdot \cos \varphi = F \cdot \Delta s \cdot \cos \varphi$$

Δr – העתק אלמנטרי

Δs – דרך אלמנטרית

φ – זווית בין כיווני ווקטור הכוח לבין ווקטור ההעתק.



$$A = \sum F_i \cdot \Delta s_i \cdot \cos \varphi_i$$

העבודה בהעתק אלמנטרי

n – מספר קטעים אלמנטריים של הדרך, המחלקים את הקטע.

באופן כללי:

$$A = \int F \cos \varphi \, ds$$

אם $F = \text{const}$, $\varphi = \text{const}$

אזי: $A = F \cdot s \cdot \cos \varphi$

כאשר s – הדרך הכוללת (לא העתק!).

העבודה היא ערך אלגברי:

$(0 < A)$, אם $0 < \cos \varphi$,

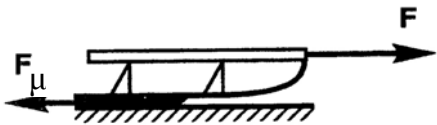

ו- $(0 > A)$, אם $0 > \cos \varphi$.

עבודה אלמנטרית בתנועה סיבובית


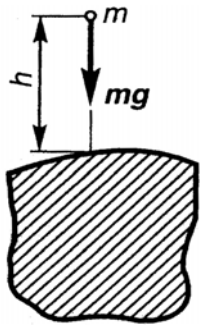
M – מומנט של כוח

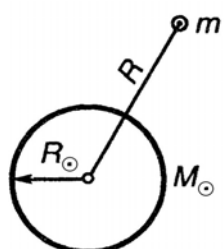
$\Delta \varphi$ – זווית סיבוב יחסית לציר ניח

$$\Delta A_\varphi = M \cdot \Delta \varphi$$

עבודה ואנרגיה (המשך)	
$P = \frac{\Delta A}{\Delta t} = F \cdot v$	<p>הספק - העבודה שבוצעה ביחידת זמן : ΔA – עבודה אלמנטרית בפרק זמן Δt, F – כוח v – מהירות</p>
<p style="text-align: center;">עבודה, אנרגיה – ג'אול, J הספק – וואט, W</p>	<p>יחידות</p>
<div style="text-align: center;">  $\vec{F} - \vec{F}_\mu = 0$ </div>	<p>אנרגיה - מידת יכולתו של גוף לבצע עבודה. לדוגמה, כוחות הפועלים על גוף מגדילים את אנרגיית הגוף בערך השווה לעבודת הכוחות. אם עגלה נעה במישור אופקי במהירות קבועה, אזי הכוח השקול שווה לאפס : עבודת כוח חיכוך F_μ שווה לעבודת הכוח F הדרוש למשיכת העגלה, אבל עם סימן נגדי. עבודת הכוח השקול שווה לאפס, ואנרגיית העגלה לא תשתנה.</p>
<div style="text-align: center;">  $E_k = \frac{mv^2}{2}$ </div>	<p>אנרגיה קינטית - אנרגיה של גוף עקב היותו בתנועה. אנרגיה קינטית תלויה במסת גוף m ובמהירותו v : שינוי אנרגיה קינטית שווה לעבודת כוחות חיצוניים.</p>
<p>השדה נקרא כך, כאשר עבודת כוחות השדה בהעברת גוף מנקודה אחת לשנייה אינה תלויה במסלול התנועה.</p>	<p>שדה פוטנציאלי</p>

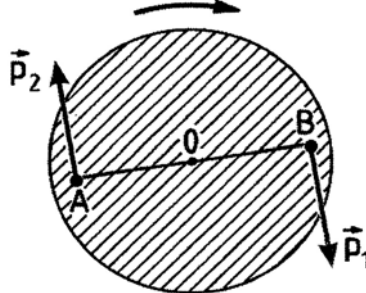
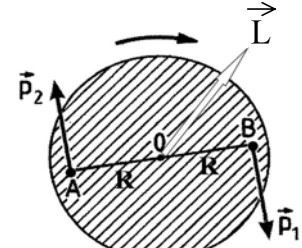
עבודה ואנרגיה (המשך)

<p>כוחות היוצרים שדה פוטנציאלי נקראים כוחות פוטנציאליים, או כוחות משמרים.</p>	<p>כוחות פוטנציאליים (משמרים)</p>
	<p>עבודת כוחות משמרים –</p> <p>תלויה במיקומם (קואורדינטות) של הנקודה ההתחלתית A והנקודה הסופית B של המסלול. העבודה אינה תלויה במסלול.</p>
 $\Delta U = mgh$ $\Delta A = - (U_2 - U_1)$ <p>U_1 ו-U_2 הן אנרגיות פוטנציאליות במצב התחלתי ומצב סופי, ו-$U_2 - U_1$ שווה לתוספת האנרגיה.</p>	<p>אנרגיה פוטנציאלית של גוף -</p> <p>אנרגיה שמקורה בפעולה הדדית של הגוף על גופים אחרים באמצעות כוחות משמרים (לדוגמה, משיכה גרביטציונית הדדית של הגוף וכדור הארץ).</p> <p>אנרגיה פוטנציאלית תלויה במרחק בין הגופים היוצרים את הכוחות.</p> <p>למשל, בהעתקה אנכית אטית של גוף בעל מסה m לגובה h בשדה הכובד של כדור הארץ, נעשית העבודה:</p> $A = mgh$ <p>והאנרגיה הפוטנציאלית גדלה באותו הערך:</p> <p>עבודת כוח הכבידה היא שלילית (מכיוון שכיוון התנועה נגדי לכיוון הכוח).</p> <p>באופן כללי, בהעברת גוף ממקום התחלתי למקום סופי, העבודה של כוחות משמרים שווה לשינוי האנרגיה הפוטנציאלית עם סימן מינוס:</p> <p>רמת אפס של אנרגיה פוטנציאלית נקבעת באופן שרירותי; בשדה הכובד של כדור הארץ נקבעת בדרך כלל את רמת האפס על פני הקרקע.</p>

נוסחאות לחישוב אנרגיה קינטית ופוטנציאלית	
אנרגיה קינטית	
$E_k = \frac{m_0 v^2}{2}$ <p style="text-align: center;">m_0 – מסת גוף במנוחה</p>	<p>גוף נמצא בתנועה במהירות $c \gg v$ (מהירות אור בריק):</p>
$E_\omega = \frac{I \omega^2}{2}$ <p style="text-align: center;">I – מומנט התמדה</p>	<p>גוף מסתובב סביב ציר ניח במהירות זוויתית ω:</p>
$E_v = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right)$ <p style="text-align: center;">$\beta = \frac{v}{c}$ – יחס מהירות הגוף למהירות אור</p>	<p>גוף נמצא בתנועה במהירות גבוהה ($v \sim c$) (מהירות אור בריק):</p>
אנרגיה פוטנציאלית	
	<p>גוף בעל מסה m בשדה הכובד של כדור הארץ:</p> $U_G = -G \frac{M \cdot m}{R}$ <p style="text-align: center;">M – מסת כדור הארץ R_0 – רדיוס כדור הארץ R – מרחק בין מרכז כדור הארץ לבין מרכז המסה של הגוף ($R_0 \ll R$) G – קבוע הגרביטציה העולמית</p>
$U = mgh$	<p>גוף בעל מסה m בשדה כובד אחיד:</p> <p style="text-align: center;">g – תאוצה של נפילה חופשית h – גובה מעל פני הארץ</p>
$U_k = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}$ <p style="text-align: center;">$\Delta l = l - l_0$</p>	<p>קפיץ מתוח (או מכווץ):</p> <p style="text-align: center;">k – קבוע הקפיץ Δl – התארכות (התכווצות) ממצב רפוי:</p>

חוק שימור האנרגיה המכנית	
<p>מערכת סגורה</p> <p>מערכת שעליה לא פועלים כוחות חיצוניים נקראת מערכת סגורה. חוקי שימור אנרגיה ותנע מתקיימים במערכות סגורות בלבד.</p>	
<p>אנרגיה מכנית</p> <p>סכום של אנרגיות קינטיות של כל הגופים במערכת ושל האנרגיות הפוטנציאליות שלהם נקרא – האנרגיה המכנית של המערכת.</p>	$E = \Sigma(E_k + U_p)$
<p>חוק שימור האנרגיה</p> <p>במערכת סגורה, שבה פועלים כוחות משמרים בלבד, אנרגיה מכנית נשמרת. אנרגיה אינה נוצרת ואינה נעלמת, אלא היא יכולה להפוך מצורה אחת (פוטנציאלית) לאחרת (קינטית) או להפך.</p> $E = \frac{mv^2}{2} + mgh$ $\frac{mv^2}{2} + mgh = \text{const}$ $\frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2$ $\frac{mv^2}{2} + \frac{k(\Delta l)^2}{2} = \text{const}$	<p>דוגמה 1: גוף הנמצא בנפילה חופשית. האנרגיה המכנית של המערכת הסגורה הכוללת את כדור הארץ והגוף: (הערה: תוך כדי נפילתו של הגוף גם כדור הארץ נע לקראתו, אולם מהירות תנועתו זניחה). לפי חוק שימור אנרגיה מכנית: אם ידועים מהירות וגובה הגוף במצב כלשהו (1), אפשר לחשב את המהירות במצב אחר (2) בעזרת המשוואה: דוגמה 2: מערכת הכוללת גוף בעל מסה m הקשור בקפיץ בעל קבוע k. האנרגיה המכנית של המערכת נשמרת:</p>
<p>שינוי האנרגיה המכנית שווה לעבודת כוח החיכוך:</p> $\Delta E = E_2 - E_1 = \Delta A_\mu$	<p>כוחות חיכוך ושימור האנרגיה המכנית</p> <p>כוחות חיכוך אינם כוחות משמרים; אם במערכת פועלים כוחות חיכוך, האנרגיה המכנית אינה נשמרת.</p>

חוק שימור תנע

$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ $\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t, \quad \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$ <p style="text-align: center;">$\vec{F} \cdot \Delta t$ מתקף כוח.</p> $[p] = [m] \cdot [v] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{sec}}$ $\vec{P} = \sum \vec{p}_i$ 	<p style="text-align: right;">תנע –</p> <p>הערך הווקטורי השווה למכפלת מסת הגוף במהירותו:</p> <p>החוק השני של ניוטון במונחים של כוח ותנע: שינוי תנע של גוף בהשפעת כוח חיצוני במשך זמן מסוים שווה למתקף של הכוח באותו פרק הזמן.</p> <p style="text-align: right;">יחידות של תנע:</p> <p>תנע של מערכת – סכום כל ווקטורי התנע של כל הגופים במערכת:</p> <p style="text-align: right;">הערה</p> <p>תנע של גוף יכול להיות שווה לאפס גם במקרה של גוף נע. דוגמה: תנע של דיסק המסתובב סביב ציר קבוע.</p> $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = 0$
$\vec{P} = \sum \vec{p}_i = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots = \text{const}$	<p style="text-align: right;">שימור תנע</p> <p>במערכות ייחוס אינרציאליות, תנע של מערכת סגורה נשמר:</p> <p>אם המתקף של כל הכוחות החיצוניים שווה לאפס, בכיוון מסוים, אזי תנע המערכת באותו הכיוון נשמר.</p>
 $\vec{L} = \vec{L}_1 + \vec{L}_2 \neq 0$	<p style="text-align: right;">חוק שימור תנע זוויתי</p> <p>במערכת סגורה, שעליה לא פועלים מומנטים של כוחות חיצוניים (או שקול המומנטים החיצוניים שווה לאפס), סכום ווקטורי התנע הזוויתי של כל הגופים נשמר:</p> $\vec{L}_i = \vec{p}_i \times \vec{R}_i$ $\vec{L} = \sum \vec{L}_i = \text{const}$