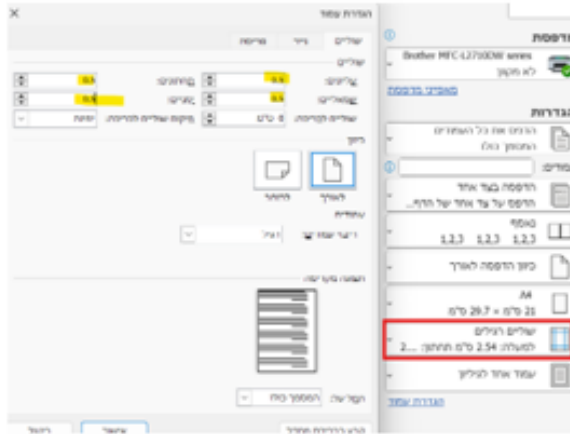


הוראות לדף הנוסחאות



הוראות הדפסה!

את הדף יש להדפיס עם שוליים מותאמות אישית ברוחב 0.5 בכל צד.

ב WORD, יש לבחור בלשונית הדפסה את חלון השוליים, לבחור שוליים מותאמים אישית ולשנות ל 0.5 בכל הכיוונים

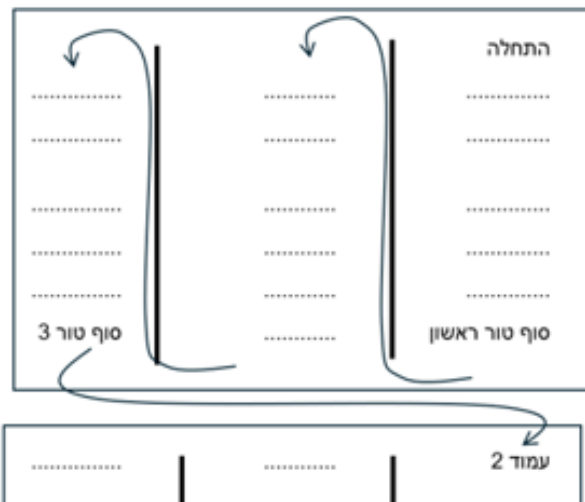
עריכה:

בדף הכנסנו כמה שיותר הסברים, נוסחאות ותמונות. אם מספר העמודים חורג ממספר העמודים המותר בבחינה ניתן לערוך את קובץ ה WORD ולהוריד הסברים מורחבים, תמונות או נוסחאות טריוויאליות. ניתן גם כמובן להוסיף הסברים שלכם או נוסחאות.

בכל מקרה מומלץ מאוד לעבור על הדף לפני המבחן!! הוא גם סיכום של החומר.

אין להוריד את הסמל של GOOL או כל סימן מסחרי אחר!!

מבנה הדף:



הדף בנוי משלושה טורים.

ההתחלה היא בפינה הימנית העליונה.

בסוף הטור הראשון עוברים לטור השני באותו עמוד (ולא לעמוד הבא). בסוף הטור האחרון עוברים לטור הראשון (הימני) בעמוד הבא.

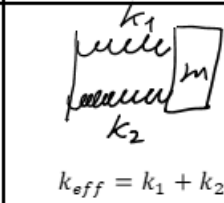
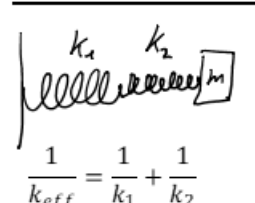
ניתן לשנות את כיוון הפריסה לרוחב, זה יוצר מראה יותר מרווח על חשבון מספר עמודים.

כל הזכויות שמורות למני גבאי ולאתר GOOL

הדף מיועד לכל שימוש שאינו מסחרי ובפרט לשימוש מרצים, מורים, סטודנטים ותלמידים בקורסים שונים, ניתן לערוך את הדף אך יש להשאיר סימונים של אתר גול.

קפיצים

חוק הוק - הכוח שמפעיל קפיץ: $F = -k\Delta x$
 Δx - התארכות ממצב הרפוי של הקפיץ (מסומן גם ב Δl)
 k - הוא קבוע הקפיץ ותלוי בחומר ממנו עשוי הקפיץ

חיבור במקביל	חיבור בטור
	
עבודה ואנרגיה	GOOL

העבודה שמבצע כוח קבוע או כוח ממוצע:

$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{x} = F \Delta x \cos \alpha$
 כאשר α היא הזווית בין הכוח להעתק
 - כוח שפועל במאונך לתנועה (למהירות) אינו מבצע עבודה.
 - אם הגוף לא נע העבודה אפס (לכן חיכוך סטטי אינו מבצע עבודה).

אנרגיה קינטית: $E_k = \frac{1}{2}mv^2$
העבודה הכוללת (כולל הכוחות המשמרים) שווה לשינוי

אנרגיה קינטית: $W_{SF} = \Delta E_k$
האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית: $U_g = mgh$
 h זה הגובה של הגוף. ניתן לבחור גובה אפס איפה שרוצים.

הפוטנציאלית הכובדית: $W_g = -\Delta U_g$
האנרגיה הפוטנציאלית האלסטית (האנרגיה של קפיץ): $U_{el} = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$
 k הוא קבוע הקפיץ

Δx היא התארכות מהמצב הרפוי (לפעמים מסומן ב Δl)
האנרגיה הככלית היא האנרגיה הקינטית של הגוף ועוד סך כל האנרגיות הפוטנציאליות:

$E = E_k + U = \frac{1}{2}mv^2 + mgh + \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$
 *בשוויון השני רשמנו את האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית והאלסטית. תיאורטית יכולות להיות עוד אנרגיות פוטנציאליות אבל זה מאוד נדיר בקורס הזה.

משפט עבודה אנרגיה: $E_i + W_{NC} = E_f$ או $E_i + W_{NC} = \Delta E$
 E_i ו- E_f הם האנרגיות הכלליות בהתחלה ובסוף.

W_{NC} היא העבודה שנעשתה על ידי הכוחות הלא משמרים
 בתהליך שבין נקודת ההתחלה לסוף.

נוסחה לשינוי גובה של מטוטלת:
 $h = l(1 - \cos \theta)$
 h - הגובה מהתחתית
 l - אורך החוט
 θ - זווית ביחס לאנך מהתקרה.

חוס (Q): האנרגיה הנוצרת מחיכוך קינטי. כמות החום שנוצרת בתהליך שווה לעבודה של כוח החיכוך הקינטי (והפוכה בסימן, כי העבודה שמבצע החיכוך הקינטי על הגוף שלילית)

$Q = -W_{f_k}$ ניתן לחשב את החום שנוצר גם מהשינוי באנרגיה הכללית של הגוף.

הספק (P): העבודה שנעשית ביחידת זמן.
ההספק של כוח קבוע או הספק ממוצע: $P = \frac{W}{\Delta t}$

היחידה הסטנדרטית של הספק היא Watt (W) והיא שווה לגאול חלקי שניה.

יחידת נוספת היא כוח סוס (Hp): $1 \text{ Hp} = 746 \text{ Watt}$
נוסחה נוספת להספק: $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$
 בנוסחה יש מכפלה סקלרית של הכוח במהירות הגוף.

- הנוסחה נכונה גם להספק רגעי (ולא רק להספק ממוצע או קבוע)

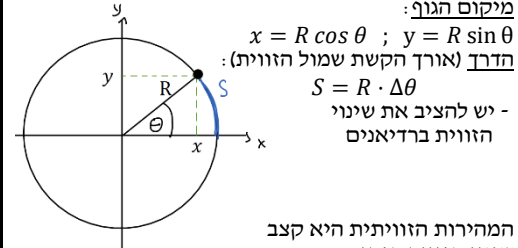
תנועה מעגלית

תנועה מעגלית היא תנועה במעגל ברדיוס קבוע.
מיקום הגוף: $x = R \cos \theta$; $y = R \sin \theta$
הדרך (אורך הקשת שמול הזווית): $S = R \cdot \Delta \theta$

- יש להציב את שינוי הזווית ברדיאנים

המהירות הזוויתית היא קצב שינוי הזווית בזמן.
המהירות הזוויתית קבועה או ממוצעת:

(ביחידות של רדיאן לשניה) $\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$
 f היא התדירות (יחידות הרץ או 1/sec). T זמן מחזור.



הקשר בין המהירות הזוויתית למהירות הקווית (נכון גם למהירויות שאינן קבוע): $|\vec{v}| = \omega R$

תאוצה רדיאלית (למרכז המעגל): $a_r = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$
סכום הכוחות למרכז המעגל:

$\Sigma F_r = m \left(\frac{v^2}{R} \right) = m(\omega^2 R)$

- בתרגילים, נבחר מערכת צירים כך שכיוון ציר X הוא למרכז המעגל וציר Y מאונך לו. בציר X נשתמש בנוסחה של סכום הכוחות למרכז המעגל ובציר Y סכום הכוחות שווה לאפס (בתנועה שבה גודל המהירות קבוע).

- אם גודל המהירות אינו קבוע (תנועה לא קצובה) אז ישנה גם תאוצה משיקית. התאוצה המשיקית שווה לשינוי גודל המהירות בזמן (בדיקו כמו תאוצה רגילה בתנועה בקו ישר).

עבור תאוצה משיקית קבועה או ממוצעת: $a_\theta = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
סכום הכוחות בכיוון המשיק (ציר Y) יהיה: $\Sigma F_\theta = ma_\theta$
תאוצה זוויתית: קצב שינוי המהירות הזוויתית בזמן.

עבור תאוצה זוויתית קבועה או ממוצעת: $\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$
 (ביחידות של רדיאן לשניה בריבוע).

הקשר בין תאוצה זוויתית לתאוצה המשיקית (גם עבור תאוצה משתנה): $a_\theta = \alpha R$
מהירות זוויתית כתלות בזמן בתאוצה זוויתית קבועה: $\omega(t) = \omega_0 + \alpha \cdot (t - t_0)$
זווית כתלות בזמן בתאוצה זוויתית קבועה:

$\theta(t) = \theta_0 + \omega_0(t - t_0) + \frac{1}{2}\alpha(t - t_0)^2$

מתקף ותנע

המתקף שמפעיל כוח קבוע או ממוצע על גוף: $\vec{J} = \vec{F} \cdot \Delta t$
התנגשות אלסטית: התנגשות שבה האנרגיה הקינטית נשמרת. נוסף למשוואת שימור התנע את משוואת שימור האנרגיה: $\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$

התנגשות אלסטית במימד אחד (מצחית) בלבד, ניתן להחליף את משוואת שימור האנרגיה במשוואה הבאה: $v_1 - v_2 = -(u_1 - u_2)$

התנגשות פלסטית: הגופים נעים יחד אחרי ההתנגשות. משוואת שימור התנע הופכת ל- $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{u}$

$\vec{u}$ - היא המהירות המשותפת לאחר ההתנגשות
רע: הגופים נעים יחד לפני ההתנגשות.
ת: משוואת שימור התנע הופכת ל- $(m_1 + m_2)\vec{v} = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2$

- התנגשות פלסטית ורע הן אף פעם לא התנגשויות אלסטיות! כלומר לא יכול להתקיים שימור אנרגיה בהתנגשויות האלו.

- שימו לב שקיימות התנגשויות שהן לא אלסטיות ולא פלסטיות (סתם התנגשויות) בהן יש רק את משוואת שימור התנע הרגילה.

- הערה: בספרים מסוימים השם התנגשות אלסטית מתייחס להתנגשות רגילה שהיא לא פלסטית ואין בה שימור אנרגיה. להתנגשות שיש בה גם שימור אנרגיה קוראים התנגשות אלסטית לחלוטין.

התנגשות אלסטית מצחית (במימד אחד) בין מסות שוות
שאחד הגופים במנוחה: במקרה זה כל האנרגיה עוברת מהגוף הפוגע לגוף במנוחה. כלומר הגוף הפוגע ייעצר והגוף שהיה במנוחה ינוע לאחר ההתנגשות במהירות שבו פגע בו הגוף הראשון.

תנועה מחזורית

תנועה מחזורית: היא תנועה המורכבת מקטע תנועה מסוים החוזר על עצמו באופן מדויק כל מרווח זמן קבוע.

הגדרה: תנועה מחזורית היא תנועה שבה קיים T קבוע ועבור מתקיים $\vec{x}(t + T) = \vec{x}(t)$ לכל $\vec{x}(t)$ כאשר T הוא זמן המחזור. שימו לב, כל תנועה הרמונית היא תנועה מחזורית אבל לא כל תנועה מחזורית היא הרמונית.

בתנועה הרמונית יש תנאים נוספים שהכוח ביחס ישר למיקום.

תנועה הרמונית

המיקום כתלות בזמן בתנועה הרמונית: $x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$

- הראשית היא בנקודת שיווי המשקל.
 - נקודת שיווי המשקל היא הנקודה שבה סכום הכוחות שווה לאפס (התאוצה גם שווה לאפס והמהירות מקסי).

- A - אמפליטודת התנועה, מרחק מקסימאלי משווי משקל.
 ω - תדירות זוויתית. φ - פאזה.

המהירות בתנועה הרמונית: $v(t) = -\omega A \sin(\omega t + \varphi)$
התאוצה בתנועה הרמונית: $a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi)$
קשר בין התדירות הזוויתית (אומגה) לתדירות וזמן המחזור: $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

עבור מסה המחוברת לקפיץ: $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$
 כאשר k הוא קבוע הקפיץ ו- m היא מסת הגוף.

הפאזה: $\varphi = \omega \cdot t_0$

כאשר t_0 הוא הזמן שעבר מהרגע שבו הגוף היה בקצה החיובי עד ש $t = 0$ (מתחילים למדוד את התנועה)

בדר"כ נמצא את A ו- φ מתנאי התחלה:
 $x(t = 0) = A \sin \varphi$; $v(t = 0) = -\omega A \cos \varphi$
מהירות ותאוצה מקסימליות:

$v_{max} = \pm \omega A$; $a_{max} = \pm \omega^2 A$
תוספת של כוח קבוע למערכת: משנה רק את נקודת שיווי המשקל (ולא את התדירות). במקרה כזה נקודת שיווי המשקל לא תהיה הנקודה שבה הקפיץ רפוי וצריך להבחין ביניהם. מקרה נפוץ הוא של **קפיץ אנכי**. בקפיץ אנכי כוח הכובד הוא כוח קבוע, הוא לא משפיע על התנועה למעט שינוי נקודת שיווי המשקל. אפשר לחשוב שכוח הכובד גורם למתיחה התחלתית של הקפיץ עד לנקודה שבה כוח הקפיץ שווה לכוח הכובד (נקי ש.מ. חדשה) משם התנועה תהיה כרגיל. אפשר לקבוע את $x=0$ בנקודת ש.מ ולהתעלם מהכובד.

האנרגיה בתנועה הרמונית:

$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv_{max}^2$

מרכז מסה

מיקום מרכז המסה: $\vec{r}_{c.m.} = \frac{m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2}{m_1 + m_2}$
 ניתן לרשום אותה לכל רכיב בנפרד, לדוגמה לרכיב x:

$x_{c.m.} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2}$
מהירות מרכז המסה: $\vec{v}_{c.m.} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2}$
תאוצת מרכז המסה: $\vec{a}_{c.m.} = \frac{m_1\vec{a}_1 + m_2\vec{a}_2}{m_1 + m_2}$

עבור יותר משני גופים הנוסחאות ממשיכה בהתאמה. מספר גופים קשחים (לא נקודתיים): עושים מרכז מסה בין מרכזי המסה.

גוף עם חור: נעשה מרכז מסה של הגוף המלא עם מרכז מסה של החור כאשר המסה של החור שלילית.

תאוצת מרכז המסה תלוי רק בכוחות החיצוניים:

$\Sigma F_{ext} = ma_{c.m.}$
 אם אין כוחות חיצוניים (מרכז המסה במנוחה בהתחלה) אז מיקום מרכז המסה נשמר. ניתן לעשות "שימור מרכז מסה" לחשב אותו בהתחלה ובסוף ולהשוות.

מומנט כוח

מומנט כוח: $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$
 כאשר $\vec{r}$ הוא וקטור שיוצא מהציר עד לנקודה שבה פועל הכוח (ניתן לחשב את המכפלה באמצעות דטרמיננטה או באמצעות גודל וכיוון)

גודל המומנט: $|\vec{\tau}| = |\vec{r}||\vec{F}|\sin \alpha = |\vec{F}|r_\perp$
 כאשר $r_\perp$ הוא הרכיב של $\vec{r}$ המאונך לכוח כיוון לפי כלל יד ימין או כלל הבורג.

מומנט התמד

אם גוף קשיח מסתובב סביב ציר סיבוב **כל הנקודות על הגוף מבצעות תנועה מעגלית באותה המהירות הזוויתית** (אך לא באותה מהירות קווית)

מומנט התמד של מערכת גופים נקודתיים: $I = \Sigma m_i r_i^2$
משפט שטיינר: $I' = I_{c.m.} + md^2$
 כאשר d הוא המרחק בין הצירים ו m היא המסה הכוללת של הגוף. הערה: משפט שטיינר פועל רק **לצירים מקבילים**, ורק כאשר אחד הצירים עובר במרכז המסה. **אדטיביביות:** ניתן לסכום את המומנט התמד של כל חלק וחלק בגוף על מנת לקבל את המומנט הכולל. $I_T = I_1 + I_2$

גוף נקודתי סביב ציר כלשהו: $I = mR^2$

טבעת וגליל חלול סביב הציר המרכזי: $I_{c.m.} = mR^2$

דיסקה/גליל מלא במרכז מסה סביב ציר z-אנך לדיסקה: $I_{c.m.} = \frac{1}{2}mR^2$

דיסקה במרכז מסה סביב ציר x-במישור הדיסקה: $I_{c.m.} = \frac{1}{4}mR^2$

מוט במרכז המסה: $I_{c.m.} = \frac{1}{12}mL^2$

גוף נקודתי סביב ציר כלשהו: $I = mR^2$

טבעת וגליל חלול סביב הציר המרכזי: $I_{c.m.} = mR^2$

דיסקה/גליל מלא במרכז מסה סביב ציר z-אנך לדיסקה: $I_{c.m.} = \frac{1}{2}mR^2$

דיסקה במרכז מסה סביב ציר x-במישור הדיסקה: $I_{c.m.} = \frac{1}{4}mR^2$

מוט במרכז המסה: $I_{c.m.} = \frac{1}{12}mL^2$

גוף נקודתי סביב ציר כלשהו: $I = mR^2$

טבעת וגליל חלול סביב הציר המרכזי: $I_{c.m.} = mR^2$

דיסקה/גליל מלא במרכז מסה סביב ציר z-אנך לדיסקה: $I_{c.m.} = \frac{1}{2}mR^2$

דיסקה במרכז מסה סביב ציר x-במישור הדיסקה: $I_{c.m.} = \frac{1}{4}mR^2$

מוט במרכז המסה: $I_{c.m.} = \frac{1}{12}mL^2$

מוט בקצה	$I = \frac{1}{3}mL^2$
כדור מלא במרכז מסה	$I_{c.m.} = \frac{2}{5}mR^2$
תיבה או לוח במרכז מסה	$I_{c.m.} = \frac{m(a^2 + b^2)}{12}$

גוף קשיח

אם גוף קשיח מסתובב סביב ציר סיבוב כל נקודות על הגוף מבצעות תנועה מעגלית באותה מהירות הזוויתית (אך לא באותה מהירות קווית)
תנע קווי של גוף קשיח:
תנ"ץ:

גוף הנע בקו ישר (ללא סיבוב פנימי, כלומר לכל החלקים בגוף אותה מהירות קווית):
תנ"ץ גוף קשיח המסתובב סביב ציר קבוע:
 כאשר I מומנט ההתמד ביחס לציר - תנ"ץ של תנועה משולבת (הגוף גם זז וגם מסתובב סביב מרכז המסה):
 כאשר $\vec{L}_{c.m.}$ הוא התנ"ץ ביחס לציר העובר במרכז המסה ושווה ל- $\vec{L}_{c.m.} = I_{c.m.}\vec{\omega}$
אנרגיה קינטית סיבובית:

- סביב ציר קבוע כלשהו:
 - תנועה משולבת (גוף נע ומסתובב סביב מרכז המסה):
 - תנועה משולבת שהסיבוב אינו סביב מרכז מסה (*):
 כאשר I_0 מומנט ההתמד ביחס לציר, $\vec{v}_0$ היא מהירות הציר ו- $\vec{r}_{c.m.,0}$ הוא מיקום מרכז המסה ביחס לציר.
 (*) השימוש בנוסחה מאוד נדיר
 טבלת השוואה בין תנועה סיבובית לתנועה בקו ישר

תנועה סיבובית	תנועה בקו ישר
θ	x
$\omega = \dot{\theta}$	$v = \dot{x}$
$\alpha = \dot{\omega} = \ddot{\theta}$	$a = \dot{v} = \ddot{x}$
I	m
L	p
τ	F

גלגול ללא החלקה: מהירות הנקודה שנוגעת במשטח מתאפסת (ביחס למשטח) $\leftarrow a_{c.m.} = \alpha R$; $v_{c.m.} = \omega R$
 - בגל"ה החיכוך הוא סטטי ולכן אין איבוד אנרגיה.

איך נגשים לשאלות?

דורך כוחות ומומנטים

עושים:

- חוק $\Sigma F = ma_{c.m.}$
- משוואות מומנטים: $\Sigma \tau = I\alpha$
- קשר בין התאוצות, לדוגמה $a_{c.m.} = \alpha R$

בודקים מה נשמר:

- אנרגיה אם כל הכוחות משמרים.
- תנע קווי אם סכום הכוחות החיצוניים מתאפס.
- תנ"ץ אם סכום המומנטים החיצוניים מתאפס.

תנע זוויתי (תנ"ץ)

תנ"ץ:
 $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$
 $\vec{r}$ - הוא וקטור המיקום של הגוף, $\vec{p}$ - התנע הקווי
 עבור גוף הנע בקו ישר ניתן לחשב את התנ"ץ לפי:
 $|\vec{L}| = mvd$
 כאשר d זה המרחק האפקטיבי.
 v - המהירות.
קשר בין תנ"ץ
למומנט כוח:
 $\Sigma \vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}$
חוק שימור התנע הזוויתי:
 אם $\Sigma \vec{\tau}_{ext} = 0$ אז התנע הזוויתי נשמר

תנ"ץ של תנועה משולבת, מערכת גופים שמסתובבים סביב מרכז מסה שנע:
 $\vec{L} = \vec{r}_{c.m.} \times \vec{p}_{c.m.} + \vec{L}_{c.m.}$
 כאשר $\vec{r}_{c.m.} \times \vec{p}_{c.m.}$ זה התנע הזוויתי של מרכז המסה כאילו הוא גוף נקודתי שהמסה שלו היא מסת כל המערכת ו- $\vec{L}_{c.m.}$ התנע הזוויתי ביחס למערכת מרכז המסה, כלומר סך התנ"ץ של הגופים במערכת ביחס לצופה הנע בנקודת מרכז המסה.
פרצסיה (נקיפה):
 לתנע הזוויתי יש רכיב במישור xy שמסתובב סביב ציר z . גזרת בזמן של הרכיב הזה נותנת לנו את מומנט הכוח שפועל על המערכת.

עבודה אנרגיה והספק ברכיבים במעגל

העבודה שמתבצעת על מטען q שעובר בנגד תחת מתח V היא:
 $W = qV = Q$
 כאשר Q זה החום שנוצר בנגד.
הספק קבוע או ממוצע:
 W - העבודה שהתבצעה במרווח הזמן Δt
 - היחידות הסטנדרטיות של הספק הן וואט: $1W = 1J/sec$
נוסחה נוספת להספק שנכונה גם להספק רגעי:
 $P = IV = I^2R = V^2/R$
 השוויון הראשון נכון לכל רכיב חשמלי והשניים האחרונים (עם R) נכונים רק לנגד.

זרם מתח והתנגדות

הזרם הוא כמות המטען שעוברת ביחידת זמן
חישוב זרם קבוע או ממוצע:
 I הוא סקלר אבל כיוון הזרם נקבע לפי כיוון תנועת המטענים החיוביים.
 - היחידות הסטנדרטיות של זרם הם אמפר $1A = 1C/sec$
 - בגרף של $I(t)$ סך המטען שעבר הוא השטח מתחת לגרף.
 - בגרף של $q(t)$ שיפוע הגרף שווה לזרם. אם הגרף ליניארי
ניתן לרשום:
 $q(t) = I \cdot \Delta t + q_0$
מהירות סחיפה:
 $I = n_e A q_e v_d$
 n_e - מספר האלקטרונים ליחידת נפח.
 A - שטח חתך של המוליך. q_e - מטען האלקטרון.
 v_d - מהירות הסחיפה (מהירות ממוצעת של האלק' במוליך)

מהירות האות החשמלי היא מהירות שבה ההשפעה של שינוי במקום אחד במעגל מגיעה למקום אחר (לדוגמה, המהירות שבה תידלק נורה כתוצאה מהדלקה של מתג). מהירות האות החשמלי היא מהירות האור והיא גדולה בהרבה ממהירות הסחיפה.
 מקור מתח מבצע עבודה במעגל חשמלי סגור וגורם לתנועה של המטענים (זרם). **המקור אינו מוסיף מטענים** למעגל.

חוק אוהם:
 $V = IR$
 V - מתח על הרכיב. I - זרם ברכיב. R - התנגדות הרכיב.
נגד: מוליך שההתנגדות שלו גדולה בהרבה מן החוטים.
תלות ההתנגדות במבנה הנגד:
 $R = \frac{l}{A} \cdot \rho$
 l - אורך הנגד (הדרך שהמטענים עושים בנגד).
 A - שטח חתך, שטח בנגד המאונך לכיוון הזרם.
 ρ - התנגדות סגולית, תכונה שתלויה בסוג החומר ובטמפרטורה ונתונה בטבלאות.

ההתנגדות של נגד משתנה:
 $R(x) = \rho \cdot \frac{x}{A} = rx$
 כאשר x הוא אורך הנגד (המשתנה)
 r - התנגדות ליחידת אורך (בדרך קבוע) ביחידות של אוהם למטר.
כא"מ ומתח הדקים בסוללה לא אידיאלית:
 $\varepsilon = V + Ir$
 ε - כא"מ, המתח המקסימאלי של הסוללה.
 V - מתח הדקים. r - התנגדות פנימית. I - זרם בסוללה.
נוסחה נוספת למתח הדקים עם ההתנגדות השקולה (R_T):
ולא הזרם:
 $V_{דקים} = \frac{\varepsilon R_T}{R_T + r}$

חיבור נגדים במעגל

הצד בו הפרטנציאל גבוה בנגד הוא הצד שבו הזרם נכנס לנגד.
חיבור נגדים בטור:
 - חיבור בטור נעשה כאשר **הזרם בנגדים זהה**
 $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$
 - המתח על הנגד השקול שווה לסכום המתחים
 $V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$
חיבור נגדים במקביל:
 - חיבור בטור נעשה כאשר **המתח בנגדים זהה**
 $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$
 - הזרם בנגד השקול שווה לסכום הזרמים
 $I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$

הספק המעגל הוא סך ההספקים של הנגדים במעגל או ההספק של הנגד השקול. הספק המעגל שווה להספק המקור (בסוללה אידיאלית).

חוקי קירכהוף

מתאים לפתור מעגלים עם מספר מקורות מתח.
 1. סך הזרמים שנכנסים לצומת שווה לסכום הזרמים שיוצאים מהצומת.
 2. סכום המתחים בלולאה סגורה שווה לאפס.
 נעשה לולאות מתחים עד אשר נעבור על כל הרכיבים במעגל. נוסיף משוואות זרמים ונקבל מערכת משוואות ממנה ניתן למצא את הזרמים.

נצילות במעגל החשמלי

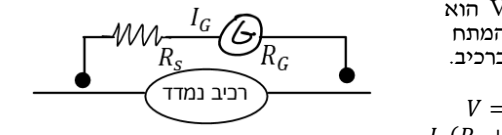
נצילות:
 $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$

η - נצילות המעגל.
 P_{out} - ההספק המופק/מונצל ברכיבים השימושיים במעגל
 P_{in} - ההספק המושקע (של הסוללה)

מכשירי מדידה

אמפרמטר (מד זרם):
 - נחבר את האמפרמטר בטור לרכיב בו נרצה למדוד את הזרם.
 - התנגדות האמפרמטר צריכה להיות מאוד קטנה ביחס לנגד. אמפרמטר אידיאלי הוא ללא התנגדות בכלל.
וולטמטר (מד מתח):
 - נחבר את הוולטמטר במקביל לרכיב אותו נרצה למדוד.
 - התנגדות הוולטמטר צריכה להיות גדולה ככל הניתן (גדולה מאוד ביחס לנגד)
 - וולטמטר אידיאלי הוא וולטמטר עם התנגדות מאוד מאוד גדולה או התנגדות אינסופית.
גליונומטר: מד זרם שהתנגדותו אינה זניחה.
 - שימוש בגליונומטר כמד זרם:
 נחבר במקביל לנגד (מיצד) בעל התנגדות נמוכה (בשביל להקטין את ההשפעה של ההתנגדות הגליונומטר על המעגל)

$I = I_G \left(1 + \frac{R_G}{R_S}\right)$
 I - הזרם במעגל. I_G - הזרם בגליונומטר. R_G - התנגדות הגליונומטר. R_S - התנגדות המיצד.
 - שימוש בגליונומטר כמד מתח:



$V = I_G (R_S + R_G)$
 - בכל אחד מהמקרים, מגבלת המדידה היא המגבלה של **הזרם המקסימלי** שיכול למדוד הגליונומטר.

גשר ווינסטון:
 שיטה למדידת התנגדות של נגד. משנים את ההתנגדות בנגד המשתנה עד שהזרם בגליונומטר מתאפס ואז:
 $R_2 = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_3}$

