

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 השולים, לבחור שולים 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.

פונקציות טריגונומטריות

GOOL

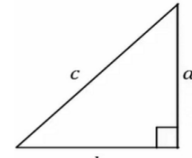
ניצב שמואל

$$\sin \alpha = \frac{a}{c} = \frac{\text{יתר}}{\text{ניצב ליד } \alpha}$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{c} = \frac{\text{יתר}}{\text{ניצב שמואל}}$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{b} = \frac{\text{ניצב ליד } \alpha}{\text{ניצב שמואל}}$$

$$\frac{1}{\tan \alpha} = \frac{b}{a} = \cot \alpha$$

$$a^2 + b^2 = c^2$$


$\sin(90^\circ - \alpha) = \cos \alpha$	$\cos(90^\circ - \alpha) = \sin \alpha$	$90^\circ - \alpha$
$\tan(90^\circ - \alpha) = \cot \alpha$	$\cot(90^\circ - \alpha) = \tan \alpha$	
$\sin(90^\circ + \alpha) = \cos \alpha$	$\cos(90^\circ + \alpha) = -\sin \alpha$	$90^\circ + \alpha$
$\tan(90^\circ + \alpha) = -\cot \alpha$	$\cot(90^\circ + \alpha) = -\tan \alpha$	
$\sin(180^\circ - \alpha) = \sin \alpha$	$\cos(180^\circ - \alpha) = -\cos \alpha$	180°
$\tan(180^\circ - \alpha) = -\tan \alpha$	$\cot(180^\circ - \alpha) = -\cot \alpha$	$-\alpha$
$\sin(-\alpha) = -\sin \alpha$	$\cos(-\alpha) = \cos \alpha$	$-\alpha$
$\tan(-\alpha) = -\tan \alpha$	$\cot(-\alpha) = -\cot \alpha$	
$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$		2α
$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2 \sin^2 \alpha = 2 \cos^2 \alpha - 1$		
$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \sin \beta \cos \alpha$		$\alpha \pm \beta$
$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$		

משוואת הקו הישר

משוואת הקו הישר: $y = mx + n$

הישר עם ציר ה- x הוא $m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \tan \alpha$ כאשר α היא הזווית של הישר עם ציר ה- x . n היא נקודת חיתוך עם ציר ה- y .

מרחק בין שתי נקודות: $d^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$

הפרבולה

משוואת הפרבולה: $y = ax^2 + bx + c$

a חיוב הפרבולה מחייכת, שלילי בוכה.

קודקוד הפרבולה: $x_{\text{קודקוד}} = -\frac{b}{2a}$

נוסחת השורשים: $x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

מבוא פיזיקלי

חוקי חזקות: $(ab)^c = a^c b^c$; $a^b a^c = a^{b+c}$

$(a^b)^c = a^{bc}$; $\frac{1}{a^b} = a^{-b}$

מעברים בין יחידות:

קילו (k) זה 1000: $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$; $1 \text{ kg} = 1000 \text{ gr}$

מילי (m) זה $\frac{1}{1000}$ לדוגמה: $1 \text{ mm} = \frac{1}{1000} \text{ m}$

ומיליגרם $1 \text{ mg} = \frac{1}{1000} \text{ gr}$

ליטר: $1 \text{ liter} = 1000 \text{ cm}^3$

קוב: $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ liter}$

שנת אור היא המרחק שהאור עושה בשנה: $1 \text{ lightyear} = 9.4608 \cdot 10^{15} \text{ m}$

צפיפות:

צפיפות נפחית: $\rho = \frac{M}{V}$; צפיפות משטחית: $\sigma = \frac{M}{S}$

צפיפות אורכית: $\lambda = \frac{M}{l}$

V, S, l הם נפח שטח ואורך הגוף בהתאמה

תנועה בקו ישר

העתק- השינוי במיקום הגוף: $\Delta x = x_2 - x_1$

דבר- אורך כל המסלול שעשה הגוף, סימון באות S

מהירות ממוצעת או קבועה: $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$

המיקום כתלות בזמן במהירות קבועה: $x(t) = x_0 + v(t - t_0)$

גרפים: גרף המיקום במקרה של תנועה במהירות קבועה יהיה קו ישר. שיפוע הגרף הוא המהירות.

גרף המהירות במקרה של מהירות קבועה הוא קו ישר אופקי.

השטח מתת לגרף המהירות הוא ההעתק, עובדה זו נכונה גם עבור מהירות לא קבועה.

השטח החיובי מתחת לגרף המהירות הוא הדרך

תאוצה קבועה או ממוצעת: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$

מהירות כתלות בזמן בתנועה בתאוצה קבועה: $v(t) = v_0 + a(t - t_0)$

כאשר v_0 היא המהירות בזמן t_0 (בדרי"כ רגע תחילת התנועה)

מיקום כתלות בזמן בתנועה בתאוצה קבועה: $x(t) = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2} a(t - t_0)^2$

כאשר x_0 ו v_0 הם המיקום והמהירות בזמן t_0 (בדרי"כ רגע התחלת התנועה)

נוסחה נוספת המקשרת בין המהירות למיקום (ללא תלות בזמן): תאוצה קבועה: $v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$

גרפים:

התאוצה היא השיפוע בגרף של המהירות כתלות בזמן. השטח מתחת לגרף של התאוצה כתלות בזמן שווה לשינוי המהירות.

הגרף של המיקום כתלות בזמן בתאוצה קבועה הוא פרבולה. תאוצה חיובית פרבולה מחייכת, תאוצה שלילית פרבולה עצובה.

המהירות היא נגזרת של המיקום לפי הזמן והמיקום הוא אינטגרל על המהירות לפי הזמן:

$v(t) = \frac{dx}{dt}$; $x(t) = \int v(t) dt$

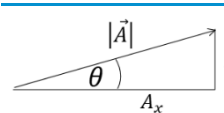
התאוצה היא נגזרת של המהירות והמהירות היא אינטגרל על התאוצה: $a(t) = \frac{dv}{dt}$; $v(t) = \int a(t) dt$

כשעושים אינטגרל צריך להוסיף קבוע, את הקבוע מוצאים מתנאי התחלה.

נגזרות של סינוס וקוסינוס: $(\cos x)' = -\sin x$; $(\sin x)' = \cos x$

GOOL

פירוק לרכיבים:



$A_y = |\vec{A}| \sin \theta$

$A_x = |\vec{A}| \cos \theta$

למצא גודל וזווית:

$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$; $\tan \theta = \frac{A_y}{A_x}$

חיבור וקטורים:

- בצורה גרפית נצימד ראש לזנב. וקטור הסכום יהיה וקטור מהזנב הראשון לראש הוקטור האחרון.

תמיד ניתן להזיז וקטור במרחב כל עוד שומרים על האורך והכיוון שלו.

- בצורה אלגברית נסכום את הרכיבים:

$\vec{A} + \vec{B} = (A_x + B_x, A_y + B_y)$

- בצורה פולרית, נפרק לרכיבים ונסכום.

כפל/חלוקה בסקלר: בצורה אלגברית, נכפיל/נחלק כל רכיב בסקלר: $\vec{B} = \alpha \vec{A} = (\alpha A_x, \alpha A_y)$

בצורה פולרית, נכפיל/נחלק את הגודל בסקלר (הכיוון לא משתנה אלא אם הסקלר שלילי ואז הכיוון מתהפך)

מכפלה סקלרית בין שני וקטורים:

$\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x \cdot B_x + A_y \cdot B_y + A_z \cdot B_z = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \alpha$

תוצאת המכפלה היא תמיד סקלר (ולא וקטור)

מכפלה סקלרית של וקטורים מאונכים מתאפסת.

נוסחה למציאת זווית בין וקטורים:

$\cos \alpha = \frac{A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z}{|\vec{A}| \cdot |\vec{B}|}$

וקטור יחידה: $\hat{A} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$

GOOL

נפילה חופשית וזריקה אנכית

תנועה בתאוצה קבועה g כלפי מטה, נבחר את ציר התנועה להיות ציר Y, ולכן **משוואות התנועה הן:**

$y(t) = y_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2} a(t - t_0)^2$

$v(t) = v_0 + a(t - t_0)$

$v_f^2 = v_i^2 + 2a(y_f - y_i)$

- **בנפילה חופשית** הגוף מתחיל ממנוחה ולכן $v_0 = 0$ בדרי"כ נבחר לפתור באופן הבא:

1. כיוון הציר החיובי יהיה כלפי מטה ואז $a = g$ (במשוואות הני"ל).

2. נבחר את הראשית בנקודת ההתחלה ואז $y_0 = 0$

בזריקה אנכית: יש לגוף מהירות התחלתית כלפי מעלה או מטה. התנועה היא בתאוצה קבועה g כלפי מטה (כמו נפילה חופשית) ומשוואות התנועה יהות.

עדיף לבחור את הכיוון החיובי כלפי מעלה ואז $a = -g$, המהירות ההתחלתית תהיה חיובית אם היא כלפי מעלה ושלילית אם היא כלפי מטה.

- מומלץ לבחור את הראשית בקרקע.

- **שיא גובה** כאשר $v(t) = 0$ הצבה במשוואה נותנת בשיא גובה ש: $y_0 = y_0 + \frac{v_0^2}{2g}$; $t_{\text{שיא גובה}} = \frac{v_0}{g}$

GOOL

תנועה במישור

וקטור המיקום: $\vec{r} = x\hat{x} + y\hat{y} = (x, y)$

העתק: $\Delta \vec{r} = \Delta x\hat{x} + \Delta y\hat{y} = (\Delta x, \Delta y)$

מהירות ממוצעת או קבועה: $\vec{v}_{avg} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$

בדרי"כ נפריד לתנועה בציר X ותנועה בציר Y ונעבוד עם כל ציר בנפרד כמו תנועה במימד אחד.

GOOL

תנועה יחסית

נוסחה למיקום היחסי: $x_{1,2} = x_1 - x_2$

$x_{1,2}$ הם המיקומים של גוף 1 ו-2 ביחס למעבדה/קרקע.

$x_{1,2}$ הוא המיקום של גוף 1 ביחס לגוף 2 (כלומר המיקום של גוף 1 ביחס לראשית צירים הנמצאת על גוף 2)

כני"ל לגבי המהירות היחסית והתאוצה היחסית: $v_{1,2} = v_1 - v_2$; $a_{1,2} = a_1 - a_2$

דינמיקה - חוק I של ניוטון

GOOL

החוק הראשון של ניוטון: אם גוף נע במהירות קבועה בקו ישר (או במנוחה) אז סכום הכוחות עליו מתאפס ולהפך.

החוק השלישי של ניוטון: לכל כוח שגוף אחד מפעיל על גוף שני (כוח פעולה) הגוף השני חייב להפעיל כוח בחזרה (כוח תגובה) השווה בגודלו והפוך בכיוונו.

- שימו לב!! הכוחות פועלים על שני גופים שונים ולכן לא יהיו באותו תרשים כוחות.

חיבור סטטי:

- פועל כאשר הגוף במנוחה (ביחס למשטח המגע).

- כיוונו מנוגד לכיוון שקול הכוחות.

- גודלו משתנה בהתאם לכוחות הפועלים.

- **ערך מקסימאלי:** $f_s, \max = \mu_s N$ או $f_s \leq \mu_s N$

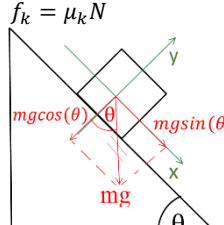
חיבור דינמי:

- פועל כאשר הגוף בתנועה (ביחס למשטח המגע).

- גודלו קבוע (אינו תלוי במהירות או בכוחות האחרים)

חיבור לסטטי ושווה ל: $f_k = \mu_k N$

המשור המשופע:



בבעיות עם מישור משופע מומלץ לבחור מערכת צירים כך שציר X מקביל למישור וציר Y מאונך.

הרכיב של mg במקביל למישור יהיה $mg \sin(\theta)$ ובמאונך למישור $mg \cos(\theta)$, שימו לב לסימנים בהתאם לכיוון הצירים.

דינמיקה - חוק II של ניוטון

GOOL

חוק II של ניוטון: $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$

- בגלל שהשוויון וקטורי צריך שיהיה שוויון בכל ציר

בנפרד. כלומר: $\Sigma F_y = ma_y$, $\Sigma F_x = ma_x$

בבעיות עם מספר גופים נעשה תרשים כוחות וחוק שני לכל גוף בנפרד. אח"כ נוסיף את הקשר בין התאוצות של הגופים.

GOOL

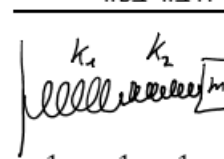
קפיצים

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



$k_{eff} = k_1 + k_2$

חיבור בטור



$\frac{1}{k_{eff}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$

GOOL

כבידה והכוח הריבועי ההפוך

כוח הכבידה בין שני גופים בעלי מסה: $F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2}$

- כאשר m_1 ו- m_2 הם המסות ביניהם פועל הכוח.

- r הוא המרחק בין מרכזי הכובד של הגופים. מפה השם הכוח הריבועי ההפוך.

- G הוא קבוע הנקרא **קבוע הכבידה העולמי** (או קבוע הגריבטציה העולמי או קבוע ניוטון), ערכו נמדד בניסויים והוא: $G = 6.67384 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{s}^2 \text{kg}}$ = $6.67384 \cdot 10^{-8} \frac{\text{cm}^3}{\text{s}^2 \text{gr}}$

GOOL

תנועה מעגלית

תנועה מעגלית היא תנועה במעגל ברדיוס קבוע.

מיקום הגוף: $x = R \cos \theta$; $y = R \sin \theta$

הדבר (אורך הקשת שמואל הזווית): $S = R \cdot \Delta \theta$

- יש להציב את שינוי הזווית ברדיאנים

המהירות הזוויתית היא קצב שינוי הזווית בזמן.

מהירות זוויתית 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 קבועות): $|\vec{v}| = \omega R$

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 ה- X למרכז המעגל וציר ה- 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 קבועה (תנועה לא קצובה) אז ישנה גם תאוצה משיקית. התאוצה המשיקית שווה לשינוי גודל המהירות בזמן (בדיוק כמו תאוצה רגילה בתנועה בקו ישר).

עבור **תאוצה משיקית** קבועה או ממוצעת:

a

θ

=

Δ
v

Δ
t

{\displaystyle a_{\theta }={\frac {\Delta v}{\Delta t}}}

סכום הכוחות בכיוון המשיק (ציר Y) יהיה:

Σ

F

θ

=
m

a

θ

{\displaystyle \Sigma F_{\theta }=ma_{\theta }}

תאוצה זוויתית: קצב שינוי המהירות הזוויתית בזמן.

עבור **תאוצה זוויתית** קבועה או ממוצעת:

α
=

Δ
ω

Δ
t

{\displaystyle \alpha ={\frac {\Delta \omega }{\Delta t}}}

 (ביחידות של רדיאן לשניה בריבוע).
הקשר בין תאוצה זוויתית לתאוצה המשיקית (גם עבור תאוצה משתנה):

a

θ

=
α
R

{\displaystyle a_{\theta }=\alpha R}

מהירות זוויתית כתלות בזמן בתאוצה זוויתית קבועה:
 זווית כתלות בזמן בתאוצה זוויתית קבועה:

ω
(
t
)
=

ω

0

+
α
⋅
(
t
−

t

0

)

{\displaystyle \omega (t)=\omega _{0}+\alpha \cdot (t-t_{0})}

זווית כתלות בזמן בתאוצה זוויתית קבועה:

θ
(
t
)
=

θ

0

+

ω

0

(
t
−

t

0

)
+

1
2

α
(
t
−

t

0

)

2

{\displaystyle \theta (t)=\theta _{0}+\omega _{0}(t-t_{0})+{\frac {1}{2}}\alpha (t-t_{0})^{2}}

עבודה ואנרגיה
עבודה של כוח קבוע:

W
=

F
→

⋅

Δ

r
→

=

|

F
→

|

⋅

|

Δ

r
→

|

⋅
cos
⁡
α
=

F

x

Δ

x

+

F

y

Δ

y

+

F

z

Δ

z

{\displaystyle W={\vec {F}}\cdot {\vec {\Delta r}}=|{\vec {F}}|\cdot |{\vec {\Delta r}}|\cdot \cos \alpha =F_{x}\Delta x+F_{y}\Delta y+F_{z}\Delta z}

 כאשר *α* היא הזווית בין הכוח להעתק.
 - העבודה של כוח שמאונך להעתק (לתנועה) מתאפסת.
 - אם הגוף לא זז אז אין עבודה (לכן העבודה של החיכוך הסטטי היא תמיד אפס).
הקשר בין העבודה כוללת לאנרגיה קינטית:

העבודה של *כל הכוחות* שפועלים על הגוף

W

Σ
F

=
Δ

E

k

{\displaystyle W_{\Sigma F}=\Delta E_{k}}

E

k

=

1
2

m

v

2

{\displaystyle E_{k}={\frac {1}{2}}mv^{2}}

כוח משמר:

- **העבודה שמבצע כוח משמר אינה תלויה במסלול**, היא תלויה רק בנקודת ההתחלה והסיום של התנועה.
 - העבודה במסלול סגור מתאפסת.
 - יש לו אנרגיה פוטנציאלית כך ש:

W

c

=
−
Δ
U

{\displaystyle W_{c}=-\Delta U}

 האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית:

U

g

=
m
g
h

{\displaystyle U_{g}=mgh}

 האנרגיה הפוטנציאלית האלסטית:

U

el

=

1
2

k

x

2

{\displaystyle U_{el}={\frac {1}{2}}kx^{2}}

כאשר *x* ההתארכות הקפיץ ממצב רפוי ו-*k* קבוע הקפיץ.
 - חוץ מ-*U_g* ו-*U_{el}* יכולים להיות עוד כוחות משמרים ועבורם יהיו עוד אנרגיות פוטנציאליות

אנרגיה (מכאנית) כללית:

E
=

E

k

+
U

{\displaystyle E=E_{k}+U}

 - סכום כל האנרגיות הפוטנציאליות שקיימות בבעיה.
משפט עבודה אנרגיה:

E

i

+

W

N
C

=

E

f

{\displaystyle E_{i}+W_{NC}=E_{f}}

W_{NC} העבודה של כל הכוחות הלא משמרים

חוק שימור האנרגיה:
 אם כל הכוחות משמרים (או העבודה של הכוחות הלא משמרים שווה לאפס) אז האנרגיה הכללית נשמרת **העבודה של כוח לא קבוע:**

W
=
∫

F
→

⋅

d

r
→

=
∫
(

F

x

d

x

+

F

y

d

y

+

F

z

d

z
)

{\displaystyle W=\int {\vec {F}}\cdot d{\vec {r}}=\int (F_{x}dx+F_{y}dy+F_{z}dz)}

 בשביל הנוסחה צריך גם משוואה של המסלול.

דוגמה בדו-מימד: נתון

y
(
x
)
=

x

5

{\displaystyle y(x)=x^{5}}

, באמצעות המשוואה עוברים למשתנה אחד. בדוגמה, נציב באינטרל במקום *y* את *x⁵* ו-*dx* נגזרת = *dy*, בדוגמה

d
y
=
5

x

4

d
x

{\displaystyle dy=5x^{4}dx}

.

הגבולות של המשתנה אליו עברנו (בדוגמה גבולות של x)

הספק ונצילות
הספק ממוצע:

P

a
v
g

=

W

Δ
t

{\displaystyle P_{avg}={\frac {W}{\Delta t}}}

הספק רגעי:

P
=

d
W

d
t

=

F
→

⋅

v
→

=

|

F
→

|

|

v
→

|

cos
⁡
α

{\displaystyle P={\frac {dW}{dt}}={\vec {F}}\cdot {\vec {v}}=|{\vec {F}}||{\vec {v}}|\cos \alpha }

F - הכוח שפועל על הגוף ו-*v* היא מהירות הגוף.

נצילות:

η
=

P

o
u
t

P

i
n

=

W

o
u
t

E

i
n

{\displaystyle \eta ={\frac {P_{out}}{P_{in}}}={\frac {W_{out}}{E_{in}}}}

כאשר out מציין את החלק המנוצל על ידי המערכת ו-in מציין את כל מה שמושקע.

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 ועבורו מתקיים

x
˙

(
t
+
T
)

=

x
˙

(
t
)

{\displaystyle {\dot {x}}(t+T)={\dot {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:

- הראשית היא בנקודת שיווי המשקל.
 - נקודת שיווי המשקל היא הנקודה שבה סכום הכוחות שווה לאפס (התאוצה גם שווה לאפס והמהירות מקס')
A - אמפליטודת התנועה, מרחק מקסימאלי משווי משקל.
ω - תדירות זוויתית. *φ* – פאזה.

המהירות בתנועה הרמונית:

v
(
t
)
=
−
ω
A
sin
⁡
(
ω
t
+
φ
)

{\displaystyle v(t)=-\omega A\sin(\omega t+\varphi)}

התאוצה בתנועה הרמונית:

a
(
t
)
=
−

ω

2

A
cos
⁡
(
ω
t
+
φ
)

{\displaystyle a(t)=-\omega ^{2}A\cos(\omega t+\varphi)}

קשר בין התדירות הזוויתית (אומגה) לתדירות וזמן המחזור:

ω
=

2
π

f

=

2
π

T

{\displaystyle \omega =2\pi f={\frac {2\pi }{T}}}

עבור מסה המחוברת לקפיץ:

ω
=

k

m

{\displaystyle \omega ={\sqrt {k\over m}}}

 כאשר *k* הוא קבוע הקפיץ ו-*m* היא מסת הגוף.

הפאזה:

φ
=
ω
⋅

t

0

{\displaystyle \varphi =\omega \cdot t_{0}}

 כאשר *t₀* הוא הזמן שעבר מהרגע שבו הגוף היה בקצה החיובי עד ש *t* = 0 (מתחילים למדוד את התנועה)
בדרכ"כ נמצא את א ו-φ מתנאי התחלה:

x
(
t
=
0
)
=
A
sin
⁡
φ
;
v
(
t
=
0
)
=
−
ω
A
sin
⁡
φ

{\displaystyle x(t=0)=A\sin \varphi ;\;v(t=0)=-\omega A\sin \varphi }

מהירות ותאוצה מקסימליים:

v

max

=
±
ω
A
;

a

max

=
±

ω

2

A

{\displaystyle 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
=

1
2

m

v

2

+

1
2

k

x

2

=

1
2

k

A

2

=

1
2

m

v

max

2

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

מבנה החומר

גודל אטום המימן (הקטן ביותר):

0.53
⋅

10

−
10

m

{\displaystyle 0.53\cdot 10^{-10}m}

יחידת האנגסטרם:

1
Å
=

10

−
10

m

{\displaystyle 1\AA =10^{-10}m}

 פרוטונים מסמנים ב-*p* נויטרונים ב-*n* ואלקטרונים ב-*e*
מסת הפרוטון והנויטרון:

m

n

≈

m

p

=
1.67
⋅

10

−
27

k
g

{\displaystyle m_{n}\approx m_{p}=1.67\cdot 10^{-27}kg}

מסת האלקטרון:

m

e

=
9.1
⋅

10

−
31

k
g

{\displaystyle m_{e}=9.1\cdot 10^{-31}kg}

 מסת האלק' קטנה בערך פי 2000 ממסת הפרוטון וזניחה ביחס אליו. לכן, בקירוב טוב, הפרוטונים והנויטרונים קובעים את מסת האטום.

מטען האלקטרון:

q

e

=
−
1.6
⋅

10

−
19

C

{\displaystyle q_{e}=-1.6\cdot 10^{-19}C}

מטען הפרוטון זהה והפוך בסימנו:

q

p

=
1.6
⋅

10

−
19

C

{\displaystyle q_{p}=1.6\cdot 10^{-19}C}

הנויטרון לא מושפע מהכוח החשמלי ולכן אין לו מטען.
המטען החשמלי של כל גוף יהיה חייב להיות כפולה שלמה של מטען הפרוטון או האלקטרון.

הכוח החשמלי - חוק קולון

חוק קולון:

F
=

k

q

1

q

2

r

2

{\displaystyle F={\frac {kq_{1}q_{2}}{r^{2}}}}

r - הוא המרחק בין הגופים

- קבוע הכוח החשמלי האוניברסלי:

k
=
9
⋅

10

9

N
⋅

m

2

C

2

{\displaystyle k=9\cdot 10^{9}{\frac {N\cdot m^{2}}{C^{2}}}}

 - הכוח הוא כוח דחיה אם סימן המטענים זהה ומשיכה אם הסימן הפוך.

- הנוסחה נכונה רק עבור מטענים נקודתיים או כדורים הטעונים בצורה אחידה. **מטען נקודתי** הוא גוף שהגודל שלו קטן בהרבה מ-*r*, המרחק שבו מחשבים את הכוח.
 - הנוסחה נכונה עבור שני מטענים הנמצאים בריק, כאשר המטענים נמצאים בתוך (לדוגמה מים או שמן) הכוח משתנה.

השדה החשמלי

הכוח הפועל על מטען הנמצא בשדה חשמלי E:

F
=
q
E

{\displaystyle F=qE}

השדה שיוצר מטען נקודתי בכל המרחב:

E
=

k
q

r

2

{\displaystyle E={\frac {kq}{r^{2}}}}

r - הוא המרחק מהמטען לנקודה בה מחשבים את השדה. **עקרון הסופרפוזיציה:** השדה השקול בנקודה במרחב הוא סכום וקטורי של כל השדות שיוצרים כל המטענים באותה נקודה.

קווי שדה: מתארים איכותית את השדה במרחב. כיוון השדה בנקודה משיק לקווי השדה וגודלו בהתאם לצפיפות הקווים.

חוק גאוס ברמה איכותית

הקבוע הדיאלקטרי של הריק:

ε

0

=

1

4
π
k

=
8.85

c

2

N

⋅

m

2

V

2

{\displaystyle \varepsilon _{0}={\frac {1}{4\pi k}}=8.85{\frac {c^{2}}{N\cdot m^{2}}}}

 ניתן לרשום את כל הנוסחאות עם *k* או עם *ε₀*.
השדה של כדור וקליפה כדורית מחוץ לכדור או הקליפה הוא כמו של מטען נקודתי:

E
=

k
Q

r

2

{\displaystyle E={\frac {kQ}{r^{2}}}}

 - כאשר *Q* הוא סך כל המטען. *r* הוא המרחק ממרכז הקליפה/כדור.
 - כיוון השדה הוא בכיוון הרדיאלי (כמו מטען נקי)
 - בקליפה דקה ובכדור מוליך השדה בתוך הקליפה/כדור מוליך הוא אפס.

השדה של מישור אינסופי:

E
=
2
π
k
σ
=

σ

2

ε

0

{\displaystyle E=2\pi k\sigma ={\frac {\sigma }{2\varepsilon _{0}}}}

 כאשר *σ* היא צפיפות המטען
 ליחידת שטח במישור

σ
=

Q

S

{\displaystyle \sigma ={\frac {Q}{S}}}

.
 - כיוון השדה במאונך למישור (החוצה מהמישור עבור מטען חיובי וכלפי המישור עבור מטען שלילי)

השדה של שני מישורים אינסופיים עם צפיפות הפוכה
 הוא

4
π
k
σ
{\displaystyle 4\pi k\sigma }

 בין המישורים ואפס מחוץ

השדה של תיל אינסופי:

E
=

2
k
λ

r

{\displaystyle E={\frac {2k\lambda }{r}}}

λ - היא צפיפות המטען ליחידת אורך בתיל (*λ* =

Q

L

{\displaystyle \lambda ={\frac {Q}{L}}}

)

r - הוא המרחק מהתיל.
 - אותה הנוסחה גם עבור גליל מלא או קליפה גלילית אינסופיים מחוץ לגליל או לקליפה.
 - בקליפה גלילית דקה ובגליל מלא מוליך השדה בתוך הקליפה/גליל מוליך הוא אפס.
 - כיוון השדה הוא בכיוון הרדיאלי (גלילי)

תנועה בשדה חשמלי אחיד

אם השדה אחיד אז יש תנועה בתאוצה קבועה. כמו תנועה בליסטית. **גודל התאוצה** הוא:

a
=

q
E

m

{\displaystyle a={\frac {qE}{m}}}

 כיוון התאוצה בכיוון השדה עבור מטען חיובי וחפוף לשדה עבור מטען שלילי

מוליכים

- במוליך המטענים חופשיים לזוז.
 - **השדה מתאפס** (או ליתר דיוק הכוח) בתוך המוליך. על השפה יכול להיות **שדה מאונך לשפה**.
 - **המטען הכולל בתוך המוליך מתאפס למעט על השפה**(במצב סטטי).
 - **הפוטנציאל במוליך אחיד** (קבוע).
 - הארקה: חיבור לקרקע, מאפסת את הפוטנציאל.

מתח פוטנציאל ואנרגיה של הכוח החשמלי

הכוח החשמלי הוא כוח משמר ולכן האנרגיה של מטען הנע בהשפעת הכוח החשמלי נשמרת.

משוואת שימור אנרגיה:

1
2

m

v

i

2

+

U

i

=

1
2

m

v

f

2

+

U

f

{\displaystyle {\frac {1}{2}}mv_{i}^{2}+U_{i}={\frac {1}{2}}mv_{f}^{2}+U_{f}}

v_f / *v_i* - מהירות הגוף בהתחלה / סוף התנועה.

U_f / *U_i* - האנרגיה הפוטנציאלית בהתחלה / סוף התנועה.
אנרגיה פוטנציאלית של שני מטענים נקודתיים (או האנרגיה פוטנציאלית של מטען נקודתי הנע בהשפעת הכוח החשמלי של מטען נקודתי אחר):

U
=

k

q

1

q

2

r

{\displaystyle U={\frac {kq_{1}q_{2}}{r}}}

 - שימו לב להציב גם את סימני המטענים בנוסחה!
העבודה שמבצע הכוח החשמלי שווה למינוס השינוי באנרגיה הפוטנציאלית של המערכת (או המטען שנע):

Δ

U

חשמלי

=
−
Δ
U

{\displaystyle \Delta U_{\mathrm {חשמלי} }=-\Delta U}

העבודה הדרושה להזיז מטען היא עבודה שאנחנו מבצעים כנגד הכוח החשמלי ולכן היא מינוס העבודה של הכוח החשמלי ושווה לשינוי האנרגיה הפוטנציאלית (ללא מינוס):

Δ
U
=
−

W

חשמלי

=
−

W

מטען

{\displaystyle \Delta U=\mathrm {חשמלי} W=-W_{\mathrm {מטען} }}

פוטנציאל הוא אנרגיה ליחידת מטען. הפוטנציאל היא פונקציה מתמטית שאומרת לנו מה תהיה האנרגיה הפוטנציאלית בנקודה מסוימת.

האנרגיה של מטען נקודתי הנמצא בנקודה בה הפוטנציאל הוא V:

U
=
q
V

{\displaystyle U=qV}

פונקציית הפוטנציאל שיוצר מטען נקודתי במרחב:

r - המרחק מהמטען.
יחידות הסטנדרטיות של הפוטנציאל הן וולט [V]. אחד וולט הוא גאול חלקי קולון.
סופרפוזיציה: על מנת לחשב את הפוטנציאל בנקודה במרחב ניתן לחבר את הפוטנציאל שיוצר כל מטען באותה נקודה. החיבור הוא סקלרי ויותר פשוט מחיבור שדות.

מתח: הפרש פוטנציאלים, מסומן ב *ΔV* אבל לפעמים מסומן גם ב *V* לבד כמו הפוטנציאל, או פוטנציאל בנקודה הוא גם מתח (הפרש פוטנציאלים) מהאפס.
יחידת האלקטרון וולט [eV]: יחידת של עבודה/אנרגיה. נוחה לעבודה, לדוגמה: האנרגיה של אלקטרון בפוטנציאל 5 וולט היא פשוט 5 אלקטרון וולט.

1
e
V
=
1.6
⋅

10

−
19

J

{\displaystyle 1eV=1.6\cdot 10^{-19}J}

הפרש הפוטנציאלים (או המתח) בשדה אחיד:

Δ
V
=
−

E
→

⋅

Δ

x
→

=
−

|

E
→

|

|

Δ

x
→

|

cos
⁡
α

{\displaystyle \Delta V=-{\vec {E}}\cdot {\vec {\Delta x}}=-|{\vec {E}}||{\vec {\Delta x}}|\cos \alpha }

פוטנציאל של לוח אינסופי (כאשר בוחרים פוטנציאל אפס על הלוח):

U
(
x
)
=
−
2
π
k
σ
x

{\displaystyle U(x)=-2\pi k\sigma x}

σ - צפיפות המטען המשטחית על הלוח.
x - המרחק מהלוח.
הפוטנציאל במוליכים קבוע (אחיד) ושווה לערך על השפה (לא בהכרח אפס)

הפוטנציאל של כדור מוליך בכל המרחב:
 - *Q* – סך המטען של הכדור
 - *R* – רדיוס הכדור
 - *r* – המרחק ממרכז הכדור
 שימו לב שהפוטנציאל בתוך הכדור אינו תלוי במרחק (קבוע).
הפוטנציאל של כדה"א: כדה"א הוא כדור מוליך מאוד גדול, *R* = ∞ ולכן הפוטנציאל אפס.
 חיבור של שני מוליכים בחוט מוליך: מאלץ את הפוטנציאלים שלהם להיות שווים (מטען יזרום ממוליך אחד לשני עד השוואת הפוטנציאלים)

הארקה: חיבור מוליך לכדה"א, מאלץ את הפוטנציאל של המוליך להיות אפס (כמו כדה"א).

חישוב אנרגיה פוטנציאלית של מערכת שלמה (העבודה הדרושה לבניית המערכת):
 - דרך 1: נסכום את העבודות להביא את המטענים אחד אחרי השני. עבור המטען הראשון, העבודה היא אפס (כי אין אף מטען אחד במרחב שיוצר פוטנציאל). עבור המטען השני, העבודה לקרב אותו למטען הראשון*. עבור המטען השלישי העבודה לקרב לשני המטענים**, וכן הלאה. במקרה של שלושה מטענים החישוב הוא:

$$W = 0 + q_2 \frac{kq_1}{r_{12}} + q_3 \left(\frac{kq_1}{r_{13}} + \frac{kq_2}{r_{23}} \right)$$

- דרך 2: נסכום את האנרגיה של כל זוג מטענים במערכת. במקרה של שלושה מטענים:

$$W = \frac{kq_1q_2}{r_{12}} + \frac{kq_1q_3}{r_{13}} + \frac{kq_2q_3}{r_{23}}$$

GOOL

זרם מתח והתנגדות

הזרם הוא כמות המטען שעוברת ביחידת זמן

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

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 **לינארי**

$$q(t) = I \cdot \Delta t + q_0$$

ניתן לרשום:

$$I = n_e A q_e v_d$$

מהירות סחיפה:

n_e - מספר האלקטרונים ליחידת נפח.

A - שטח חתך של המוליך. q_e - מטען האלקטרון.

v_d - מהירות הסחיפה (מהירות ממוצעת של האלקטרון במוליך)

מהירות האות החשמלי היא המהירות 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 - מתח על הרכיב. I - זרם ברכיב. R - התנגדות הרכיב.

נגד: מוליך שההתנגדות שלו גדולה בהרבה מן החומרים.

$$R = \frac{l}{A} \cdot \rho$$

תלות ההתנגדות במבנה הנגד:

l - אורך הנגד (הדרך שהמטענים עושים בנגד).

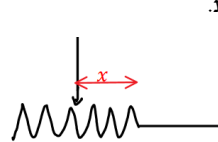
A - שטח חתך, שטח בנגד המאונך לכיוון הזרם.

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)

$$V_{\text{הדקים}} = \frac{\varepsilon R_T}{R_T + r}$$

וללא הזרם:

GOOL עבודה אנרגיה והספק ברכיבים במעגל

העבודה שמתבצעת על מטען q שעובר בנגד תחת מתח V

$$W = qV = Q$$

היא:

כאשר Q זה החום שנוצר בנגד.

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

הספק קבוע או ממוצע:

W - העבודה שהתבצעה במרווח הזמן Δt

- היחידות הסטנדרטיות של הספק הן וואט: $1W = 1J/sec$

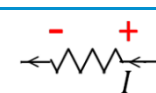
נוסחה נוספת להספק שנוכח גם להספק רגעי:

$$P = IV = I^2 R = V^2 / R$$

השווין הראשון נכון לכל רכיב חשמלי והשניים האחרונים (עם R) נכונים רק לנגד.

GOOL חיבור נגדים במעגל

הצד בו הפוטנציאל 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 כתלות בזמן זהה לטעינה.

זמן אופייני: $\tau = RC$, נהוג להגיד שלאחר זמן של 5τ הקבל טעון/פרוק לגמרי

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

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

GOOL

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 למצוא את הזרמים.

GOOL

נצילות במעגל החשמלי

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

η - נצילות המעגל.

P_{out} - ההספק המופק/מנוצל ברכיבים השימושיים במעגל

P_{in} - ההספק המושקע (של הסוללה)

GOOL

קבלים

קבל הוא רכיב חשמלי היכול לאגור מטען.

קיבול הוא היחס בין המטען על הקבל לבין המתח בו הוא נמצא.

$$C = \frac{Q}{V}$$

הנוסחה הבסיסית של קבל (הגדרת הקיבול):

C - הקיבול של הרכיב. V - המתח בין שני החלקים.

Q - המטען על הלוח החיובי.

- יחידות הקיבול הן Farad: $1 \cdot \text{Farad} = \frac{1 \cdot \text{Coulomb}}{1 \cdot \text{Volt}}$

סוגי קבלים נפוצים: קבל לוחות, קבל כדורי וקבל גלילי.

בדרי"כ נעסוק בקבלים עם שני לוחות (קבל לוחות).

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

הקיבול של קבל לוחות:

A - שטח כל לוח. d - המרחק בין הלוחות.

תכונת הקיבול: הקיבול תלוי רק במבנה הגיאומטרי (אף פעם לא יהיה תלוי במטען על הקבל או במתח שנופל עליו)

לכן הוא תמיד קבוע במעגל (אלא אם משנים את המבנה).

סימון הקבל במעגל: $\text{--}||\text{--}$

לאחר שעבר זמן רב הקבל מתנהג כמו נתק במעגל: כאשר מחברים קבל למקור הוא מתחיל לאגור מטען, תהליך זה נקרא טעינה. התהליך נפסק כאשר המתח בקבל שווה והפוך למתח המופעל עליו, ברע זה כבר לא יזרום זרם דרך הקבל. והקבל מתנהג כמו נתק במעגל.

חיבור קבלים במקביל: $C_T = C_1 + C_2$

התנאי לחיבור במקביל הוא שהמתח על הקבלים זהה (וזה גם המתח על הקבל השקול)

- המטען על הקבל השקול שווה לסכום המטענים על כל הקבלים.

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

חיבור קבלים בטור:

התנאי לחיבור בטור הוא שהמטען על כל הקבלים זהה (וזה גם המטען של הקבל השקול).

- המתח על הקבל השקול שווה לסכום המתחים של כל הקבלים

אנרגיה האגורה בקבל: $U_c = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$

העבודה שמבצעת הסוללה לטעינת קבל:

$$W = QV = 2U_c$$

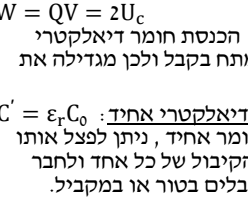
חומרים דיאלקטריים בקבל: הכנסת חומר דיאלקטרי לקבל מקטינה את השדה והמתח בקבל ולכן מגדילה את הקיבול.

קיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד: $C' = \varepsilon_r C_0$

- במידה והקבל אינו מלא בחומר אחיד, ניתן לפצל אותו לקבלים חלקיים, לחשב את הקיבול של כל אחד ולחבר חזר לפי החוקים של חיבור קבלים בטור או במקביל.

טעינה של קבל:

המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה:



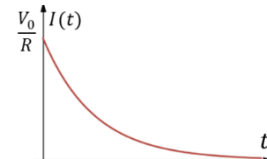
$$V_c(t) = V_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$q_c(t) = CV_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

V_0 - המתח של הסוללה

R - התנגדות המעגל

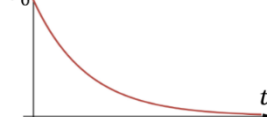
הזרם כתלות בזמן:



$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

פריקה של קבל:

המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה:



$$V_c(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$q_c(t) = CV_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

V_0 - המתח ההתחלתי (המטען ההתחלתי $Q_0 = CV_0$)