## חוק קולון והשדה החשמלי:

**חוק קולון:** הכוח ש-q2 מפעיל על q1 הנמצא במרחק r ממנו $F_{21}=k\frac{q_1q_2}{r^2}\hat{r}$

$k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ $k=9*10^9$ $\varepsilon_0=8.854*10^{-12}$ $\lfloor\varepsilon 0\rfloor=c^2/Nm^2$

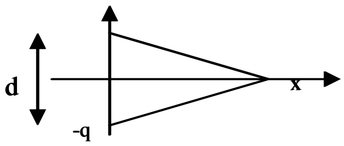
**עקרון הסופרפוזיציה:** $F1=\sum_{i=2}^{n}F_{1i}$

**השדה של מטען נקודתי בראשית:** $\vec{E}(\vec{r})=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}*\frac{q}{r^2}$

**קווי שדה** – קווי שדה מתחילים ב(+) לכיוון (-) – המשיק לקווי השדה נותן את הכיוון של השדה בכל נקודה.

**שדה של דיפול חשמלי:** השדה בנקודה x כלשהי

$$E(x)=\frac{-Qd}{4\pi\varepsilon_0}*\frac{1}{(x^2+(d/2)^2)^{3/2}}*\hat{z}$$




**השדה החשמלי:** השדה בנקודה r0 שנוצר בעקבות קבוצת מטענים {Qj}:

+q

$$\vec{E}(\vec{r})=\frac{\vec{F}}{q},\qquad \vec{E}(\vec{r}_0)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum\frac{Qj}{|\vec{r}_0-\vec{r}j|}\hat{r}_{0j}$$

**השדה בין 2 לוחות בעלי שטח A:** E=4kσπ

**חוקים אלגבריים:** $\hat{r}=\vec{r}/|\vec{r}|$ , $|\vec{r}|=\sqrt{r^2}$

## צפיפות, שטף וחוק גאוס:

**צפיפות – הגדרה**

$\rho=\frac{\text{מטען}}{\text{נפח}}\Rightarrow dq=\rho*dv$

**צפיפות משטחית - σ. קווית- λ**

**שדה של תיל אינסופי בעל צפיפות מטען λ** (אם מדובר בתיל סופי ו-(r<<L) אפשר להתייחס אליו כמו לתיל אינסופי)

$E(\vec{r})=\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$

**שטף** – מספר קווי השדה החוצים את המסגרת (כאשר השדה מקביל לנורמל / השדה ניצב לשטח ⇐ השטף שווה ל-0). $\phi_E=\oiint\vec{E}\bullet\vec{n}dA$

**חוק גאוס:** $\phi=\frac{Q}{\varepsilon_0}$

* אם נכנס למשטח אותו זרם שיוצא ⇐ השטף הוא 0.

**שדה של מישור אינסופי** $\infty E=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

**חוק גאוס – סימטריה כדורית:** $dq(r)=4\pi r^2\rho(r)dr\Rightarrow E(r)\,4\pi k/R^2\int_r\rho(r')(r')^2dr$

**סים' מישורית:** $dq(x)=A\rho(x)dx\Rightarrow E(x)\,1/\varepsilon_0\int_x\rho(x')dx'$

**סימטריה גלילית:** $dq(r)=2\pi rL\rho(r)dr\Rightarrow E(r)\,4\pi k/R\int_r\rho(r')(r')dr$

**צפיפות מטען בשדה חשמלי:** $\vec{E}(\vec{r})=k\iiint\frac{\rho dv}{|\vec{r}-\vec{r}|}(\vec{r}-\vec{r}')$

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **שטח פנים של כדור:** $4\pi R^2$ | **שטח מעטפת של גליל:** $2\pi RL$ | **נפח כדור:** $4\pi R^3/3$ | **בסימטריה כדורית:** $dv=4\pi r^2dr$ | **אורך קשת:** dl=rdθ | **אלמנט נפח בטורוס:** dv=2πrhdr | $1/\sqrt{1-x}\approx 1+x/2$ |

**מוליכים: בתוך מוליך:** E=0 (וגם Q=0) ⇐ כל המטען במוליך יברח לשפה החיצונית. אם ניקח משטח גאוסי חלק בתוך המוליך וחלק בחוץ: **בשפת המוליך:** (השדה E ניצב לשפה, הרכיב המקביל מתאפס) $|E|=\sigma/\varepsilon_0$ .

**שדה של קליפה כדורית מוליכה:** בתוך הקליפה: E=0 מחוץ לקליפה: $E(r)=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$

הפוטנציאל על כל המוליך קבוע.

בחישוב $\Delta v$ - $ds=\hat{x}dx+\hat{y}dy+\hat{z}dz$

## פוטנציאל, אנרגיה פוטנציאלית ועבודה:

**אנרגיה פוטנ':** Δu=-Wab. **בשדה משמר:** $\Delta u=ub-ua=-\int_a^b\vec{F}ds$ (לא תלוי במסלול)

**אנרגיה עבור N מטענים:** $U=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{2}\sum_{m\neq n}^{N}\frac{q_mq_n}{r_{mn}}$

**פוטנציאל:** (יחידות – volt) $V(\vec{r})=\frac{\Delta u(\vec{r})}{q_0}=\frac{Wab}{q}=-\iint Eds$

**בהינתן E קבוע**, נרצה להעביר מטען q מ-A ל- B   Δv=E*|AB|

* מטען חיובי רוצה לעבור מאזור פוטנ' גבוה לאזור פוטנציאל נמוך יותר ולהפך.

**חישוב השדה בהינתן הפוטנציאל:** $E=-\vec{\nabla}v$

**באינסוף:** v=0

**מתח** (בין a ל-b): Vab=V(b)-V(a)= $-\int Edl$ ⇒ W=q*Vab

**פוטנציאל של מטען נקודתי:** $V(r)=\frac{1}{r}*\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}$

**דוגמא:** פוטנציאל במרחק R מתיל סופי: $V=\int\frac{k\cdot\lambda dx}{\sqrt{x^2+R^2}}$

**אינטגרל חשוב!!!** $\int\frac{x}{\sqrt{R^2+X^2}}=\sqrt{x^2+R^2}$ , $\int_0^\infty\frac{r}{(r^2+h^2)^{3/2}}dr=\frac{-1}{\sqrt{r^2+h^2}}\Big|_0^\infty=\frac{1}{h}$ , $\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dr}{(1+r^2)^{3/2}}=\frac{r}{\sqrt{1+r^2}}\Big|_{-\infty}^{\infty}=2$

## מומנט של דיפול חשמלי:

**מומנט כוח:** $\vec{N}=\vec{r}\times\vec{F}$

**מומנט של דיפול חשמלי:** (a מכוון מ –q ל:+q) $\vec{p}=q\cdot\vec{a}$

**מומנט כוח של דיפול חשמלי:** $\vec{N}=\vec{p}\times\vec{E}$

**אנרגיה פוטנציאלית של דיפול חשמלי:** $U=-\vec{p}\cdot\vec{E}$

## קיבול:

**בהינתן 2 מוליכים בעלי סימן שונה:** (הקיבול תלוי בצורת המוליכים ובמרחק בניהם): $\lfloor c\rfloor=farad$ Q=C*V
(אם נגדיל את המטען על המוליכים הקיבול לא ישתנה)

**קבל לוחות:** $C=\frac{\varepsilon_0 A}{d}$

**קבל גלילי:** $C=\frac{2\pi L\varepsilon_0}{\ln(b/a)}$ (אם קרוב ל-b: ln=(b-a))

**אנרגיה בטעינת קבל:** Δu=v*dq

U=½CV²

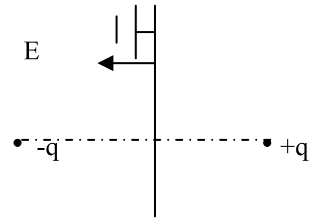
**מציאת קיבול** (בהינתן d,A,Q): **1**. מציאת השדה בין המוליכים. **2**. חישוב הפרש הפוטנצ' בין המוליכים: $V=-\int Eds$ **3**. חישוב הקיבול ע"י C=Q/V

**חיבור קבלים:** בטור: $Ctot=\sum_j Cj$ במקביל: $\frac{1}{Ctot}=\sum_j\frac{1}{Cj}$

**צפיפות האנרגיה** בטעינת קבל: $u=(\varepsilon_0/2)*E^2$

**דוגמא:** קיבול של כדור מבודד: $C=q/v=4\pi\varepsilon_0 R$

**שיטת השיקופים**: נתון מטען q במרחק L מלוח אינסופי ומוארק. חשב את השדה\הפוטנציאל בכל נקודה:




(מוארק) V=0,E=0

ניקח "מטען דמה" סימטרי למטען המקורי. על פי הסימטריה של הבעיה נקבל את אותם התנאים מהבעיה המקורית. הפתרון של השאלה יהיה תקף רק עבור החלק המקורי!!!

$$V = \frac{kq}{r_+} - \frac{kq}{r_-} \qquad E = \frac{kq}{r_+^2} - \frac{kq}{r_-^2}$$

הקפיצה בשדה בין 2 צידי הלוחות מקיימת: E2-E1=4πσk

**אלקטרודינמיקה:**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **זרם:** $i = \frac{dq}{dt}$ (ampere) (הזרם תלוי בגיאומטריה) | **כמות המטען שחוצה שטח A בזמן dt:** $q = \int idt$ | **צפיפות זרם:** $\lvert\vec j\rvert = \frac{i}{A}$ | **מציאת זרם באמצעות צפיפות:** $i = \iint \vec j \bullet \hat n dA$ |
| **התנגדות:** $R = \frac{V}{I}$ $\lfloor R \rfloor = ohm(\Omega)$ **כללי:** $R = \int \frac{dl}{\sigma A}$ | **התנגדות סגולית:** $\vec j = \frac{1}{\rho}\vec E$ **יחידות:** ohm*meter | **מוליכות:** $\rho = \frac{1}{\sigma}$ ⇐ ohms low : $\vec j = \sigma \vec E$ | |
| **כאשר E קבוע:** $V = \left(\frac{L\rho}{A}\right)\cdot i$ $E = \frac{V}{L} \Rightarrow \rho = \frac{Av}{Li}$ | **הספק:** $P = \frac{du}{dt} = i\cdot Vab$ כמה אנרגיה עוברת בזמן מסוים | | |
| **במקרה של נגד:** $P = iv = i^2R = \frac{V^2}{R}$ $\lfloor P \rfloor = WATT$ | **חיבור נגדים:** בטור: $Rtot = \sum_j Rj$ במקביל: $\frac{1}{Rtot} = \sum_j \frac{1}{Rj}$ | | |

**מעגלי DC:**

העבודה שעושה הכא"מ: $dw = Edq$

**חוקי קירכהוף:**

1. סכום המתחים בכל לולאה סגורה הוא 0.
2. המתח של נגד Vr=-IR
3. אם הזרם הוא מ(+) ל-(-) המתח שלילי, ואחרת חיובי
4. חוק הזרמים: סכום הזרמים על כל צומת הוא 0. זרם נכנס לצומת הוא חיובי ויוצא הוא שלילי

**מעגלי RC:**

מצב התחלתי: הקבל לא טעון (מעגל פתוח).

**1. טעינת קבל:**

זמן אופייני: $RC = \tau$

$$q(t) = \varepsilon\cdot c(1 - e^{-t/\tau})$$

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{r} e^{-t/\tau}$$

משוואת המעגל: $\varepsilon = Ri + \frac{q}{c}$

**2. פריקת קבל:**

מצב התחלתי: q=εc, I=0, t=t1

זמן אופייני: $RC = \tau$

משוואת המעגל:

$$q(t) = \varepsilon\cdot ce^{-(t-t1)/\tau}$$

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{r}\cdot e^{-(t-t1)/\tau}$$

$$0 = Ri + \frac{q}{c}$$

**שדה מגנטי:**

| | | |
|---|---|---|
| **כוח לורנץ:** $\vec F = q(\vec E + \vec v \times \vec B)$ * **קווי השדה המגנטי תמיד סגורים על עצמם** | **הכח המגנטי הפועל על קטע ds של חוט עם זרם I:** $d\vec F = id\vec s \times \vec B$, $\vec F_B = q\vec V \times \vec B$ $\lfloor B \rfloor = tesla$ | **חוק ביו-סבר:** $d\vec B(\vec r) = \frac{\mu_0 i}{4\pi}\cdot\frac{d\vec l \times \vec r}{r^3}$, $\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}$ |
| **שדה מגנטי של במרחק R מתיל אינסופי:** $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R}$ | **חוק אמפר:** $\oint B \bullet ds = \mu_0 Iin$, I – זרם החוצה את המסלול. **חוק אמפר אומר:** ניתן לחשב את השדה המגנטי בעזרת החוק אם יודעים את כיוונו משיקולי סימטריה וניתן למצוא מסלול המאפשר לחלץ את עוצמת השדה מתוך אינטגרל המסלול. | |
| השדה שתורמת צלע a עם זרם I של מס' ריבועי לשדה במרכזו $\vec B = \frac{\mu_0 I\sqrt2}{4\pi\frac{a}{2}}$ | **שדה של גליל: בחוץ:** $B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ **בפנים:** $B(r) = \frac{\mu_0 Ir}{2\pi R^2}$ | |
| **שדה של טורוס (סופגנייה):** r>b ,r<a : **B=0** $a<r<b \Rightarrow B = \frac{\mu_0 INa}{r}$ | **תנועות מטען בש"מ:** רדיוס הסיבוב: $R = \frac{mv}{qB}$ תדירות הסיבוב: $\omega = \frac{qB}{m}$ | **שדה של סולנואיד: בפנים:** $B(r) = \mu_0 IN$ (N-מספר ליפופים) בחוץ– השדה שווה לאפס. |
| **חוק פרדיי:** $\oint E\cdot ds = -\frac{d\phi_B}{dt} = \varepsilon$, $\phi_B = \iint \vec B \bullet \hat n dA$, $\lfloor \phi_B \rfloor = webers$ **מדבר רק על החלק המשמר של השדה.** | **כאשר יש N ליפופים:** $\varepsilon = -N\frac{d\phi_B}{dt}$ | |
| **חוק לנץ:** הזרם שנוצר במעגל סגור, מתנגד לשינוי השדה המגנטי. | **הכוח הנדרש ע"מ להוציא לולאה משדה מגנטי במהירות V:** $F = \frac{B_0^2 D^2 v}{R}$ | **דיפול מגנטי:** $\mu = I\cdot\vec A$ (A – וקטור שטח בכיוון הנורמל – **נקבע ע"י סיבוב יד ימין**) |
| **מומנט הכוח על כריכת זרם:** $\vec N = \vec\mu \times \vec B$ | **אנרגיה פוטנציאלית של כריכת זרם:** $U = -\vec\mu \bullet \vec B$ | **קצב אובדן האנרגיה:** $\frac{dw}{dt} = i^2R$ |
| **בנוכחות שדה מגנטי משתנה בזמן נוצר שדה חשמלי לא משמר!!!** | | |

## השראות עצמית:

L- השראות עצמית. $L=\left|\frac{\phi_B}{i}\right|$, $|\varepsilon|=L\left|\frac{di}{dt}\right|$ גם L תלוי בגיאומטריה בלבד.

דוגמא: השראות של סלונואיד: $L=\mu_0 n^2 lA$

סליל: המתח על הסליל: $V_L=\frac{dI_L}{dt}L$ אנרגיה פוטנציאלית: $U=\frac{1}{2}Li^2$

מעגל RL : כיבוי: משוואת המעגל:

$$Ri+L\,{di}/{dt}=0$$

מצב התחלתי: $I(t=0)=i_0$

הזרם בנגד: $i(t)=i_0e^{-Rt/L}$

המתח על הסליל: $V_L(t)=-i_0\,\mathrm{Re}^{-Rt/L}$

מעגל RL : הדלקה: משוואת המעגל: $Ri+L\frac{di}{dt}=\varepsilon$

מצב התחלתי: $I(t=0)=0$

הזרם במעגל: $i(t)={\varepsilon}/{R}(1-e^{-Rt/L})$

המתח על הסליל: $V_L(t)=\varepsilon\cdot e^{\frac{-Rt}{L}}$

אנרגיה אלקטרומגנטית: אנרגיה ליחידת נפח:

$$u_E={E^2\cdot\varepsilon_0}/{2}\qquad u_B={B^2}/{2\mu_0}\qquad utot=U_B+U_E\qquad U=\iiint u_{tot}dv\qquad U={1}/{2}\,LI^2$$

השדה המגנטי מתקיים בזכות השינוי בזרם!!!
(אם הזרם קבוע ⇐ $\phi_E=0$)

חוק אמפר מקסוול:

$$\varepsilon_0\frac{d\phi_E}{dt}-\text{זרם העתקה}\qquad \mu_0\varepsilon_0={1}/{C^2}\qquad \oint\vec B d\vec s=\mu_0 I+\mu_0\varepsilon_0\,{d\phi_E}/{dt}$$

$\oiint\vec B\bullet\hat n dA=0$ ⇐ אין קווי שדה שלא נסגרים על עצמם ואין מונופולים מגנטיים.

## משוואות הגלים, גלים מחזוריים, ופירוק פורייה:

פונקציית הגלים: y=(kx+wt) ⇐ גל מתקדם בכיוון השלילי של x.
y=(kx-wt) ⇐ גל מתקדם בכיוון החיובי של ציר ה-X.

משוואת הגלים:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}=\frac{1}{v^2}\cdot\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

ייצוג גלים במספרים מרוכבים:

$$e^{\pm i\alpha}=\cos\alpha\pm i\cdot\sin\alpha,\qquad e^{i\alpha}+e^{-i\alpha}=2\cos\alpha,$$

$$e^{i\alpha}-e^{-i\alpha}=2i\cdot\sin\alpha$$

מיתר: קיים מיתר בעל מתיחות T ומסה ליחידת אורך μ:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}=\frac{T}{\mu}\cdot\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\Rightarrow v=\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

גלים מחזוריים: אורך גל: $\Psi(x+\lambda,t)=\Psi(x,t)$ זמן מחזור:

תדירות גל: $\Psi(x,t+T)=\Psi(x,t)$ $f={1}/{T}$ הקשר הבסיסי: $\lambda=vT$

* אם נתונה משוואת גלים וידוע כי u1(x,t), u2(x,t) הם פתרונות של המשוואה, אזי גם u=u1+u2 הוא פתרון למשוואה

גלים סינוסוידאלים: פונקציה בסיסית: $\Psi(x,t)=A\sin(kx-\omega t+\varphi)$ (מה שבתוך הסוגריים נקרא פאזה).

$$\omega={2\pi}/{T},\quad k={2\pi}/{\lambda},\quad v={\omega}/{k}$$

התאבכות הורסת ובונה: בהינתן גל

$$u1=A1\sin(\omega t-kx+\varphi1),u2=A2\sin(\omega t-kx+\varphi2),u=u1+u2$$

מקרה 1: A1=A2 :

$$u=2A1\cos(\frac{\varphi1-\varphi2}{2})\sin(\omega t-kx+\frac{\varphi1+\varphi2}{2})$$

I. אם φ1-φ2=π הגל מתאפס ⇐ התאבכות הורסת (הגלים לגמרי לא בפאזה) ⇐
$\Delta x=\lambda n+1/2$ (על מנת לקבל Δx מינימלי נדרוש n=1)

II. אם φ2=φ1 : $u=2A1\sin(\omega t-kx+\varphi1)=2u1$ ⇐ התאבכות בונה.

גל עומד: מתקבל מחיבור שני גלים הנעים בכיוונים הפוכים.

$$u=2A\cos(kx+{\Delta\varphi}/{2})\sin(\omega t+\frac{\varphi1+\varphi2}{2})$$

(אין יחס בין הזמן והמרחב ⇐ אין מהירות).

מספר נקודות אפס של הגל = m-1 (m – סדר הגל/ הרמוניות)

$\lambda={m}/{k}={2L}/{m}$ (L – האורך בין 2 נק' הקצה של הגל).

$$\Psi(x,t=0)=\sum_n An\sin(k_n x),$$

An – משקל הרמוניה n (אמפליטודה)

$$An=\frac{1}{L}\int_0^L\Psi(x,t=0)\sin(k_n x)dx$$

אנרגיה של גל עומד: בהינתן En – האנרגיה של הרמוניה n :

$$Etot=\sum_n En$$

משפט פרסבל:

$$\left(\frac{a_0}{2}\right)^2+\frac{1}{2}\sum_{n=1}^{\infty}(An)^2+(Bn)^2=\frac{1}{2L}\int_0^{2L}f^2(x)dx$$

$$\sum_n(An)^2=\frac{2}{L}\int_0^L f^2(t=0)dx$$

טרנספורמציית פורייה: פונקציה מחזורית מקיימת: f(x+2L)=f(x).

$$f(x)=\frac{A_0}{2}+\sum_{n=1}^{\infty}AnCos(\frac{2\pi n}{L}x)+\sum_{n=1}^{\infty}BnSin(\frac{2\pi n}{L}x)dx$$

$$A_n=\frac{2}{L}\int_{-L/2}^{L/2}f(x)Cos(\frac{2\pi n}{L}x)dx\qquad B_n=\frac{2}{L}\int_{-L/2}^{L/2}f(x)Sin(\frac{2\pi n}{L}x)dx$$

* אם f(x) זוגית ⇐ f(x)=f(-x) ⇐ אין sin בפיתוח ⇐ Bn=0

* אם f(x) אי זוגית ⇐ f(x)=-f(-x) ⇐ אין cos בפיתוח ⇐ An=0.

## גלים אלקטרומגנטיים:

קיימים שדות Ez,By : מש' הגלים:

$$\frac{\partial^2 Ez}{\partial x^2}=\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 Ez}{\partial t^2},\qquad\frac{\partial^2 By}{\partial x^2}=\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 By}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial Ez}{\partial x}=\frac{\partial By}{\partial t},\qquad\frac{\partial By}{\partial x}=\varepsilon_0\mu_0\frac{\partial Ez}{\partial t},\qquad\varepsilon_0\mu_0=\frac{1}{c^2}$$

$E=CB$ !!!

אנרגיה של גלים אלקטרומגנטיים: (נמצא בפרק של מגנטיות בסוף). האנרגיה שחוצה את משטח A ליחידת זמן:

$$\frac{du}{dt}=\frac{EBA}{\mu_0}$$

* זמן התקדמות האנרגיה שווה לזמן התקדמות הגל!

הגל, ומודד את כמות האנרגיה שהגל נושא. עבור גל א"מ : מכוון עם התקדמות $\vec{S}=\frac{1}{\mu_0}\vec{E}\times\vec{B},\lfloor S\rfloor=\frac{energy}{time * area}$

**עוצמה:** $\langle\vec{S}\rangle = I = \frac{1}{T}\int_0^T \vec{S}(t)dt$ **בגל א"מ :** $I=\frac{E_0^{\,2}}{2c\mu_0}$

## ניסוי יאנג והתאבכות:

$$\Delta=\frac{d\sin\theta}{2}$$

$$r1=r+\Delta, r2=r-\Delta$$

**המרחק בין 2 נקודות סמוכות:**

$$\Delta x=\frac{\lambda L}{d}$$

$$\psi 1=A1\sin(\omega t-kr1), \Psi 2=A2\sin(\omega t-kr2)$$

$$A1=A2\Rightarrow$$

$$\Psi=\Psi 1+\Psi 2=2A\cos\left(\frac{kd\sin\theta}{2}\right)\sin(\omega t-kr)$$

**התאבכות – מה אני רואה כצופה מהצד?**

- **אם הפרש הפאזות הוא π וכפולותיו ⇐ חושך מלא.**
- **אם הפרש הפאזות הוא 0 או 2πn ⇐ אור חזק**

**עוצמת גל:**

$$\Psi=\Psi 1+\Psi 2\Rightarrow|\Psi|^2=2A^2+2\cos(\text{הפרש הפאזה})$$

**במספר מרוכבים:** $|z|^2=z\cdot\bar{z}$

**התאבכות בונה:** $k(r1-r2)+\varphi=kd\sin\theta+\varphi=2\pi n$ **(n-סדר)**

**התאבכות הורסת:** $k(r1-r2)+\varphi=\pi(2n+1)$

**שינוי ב-d: כאשר מקטינים את d המרחק בין 2 מקס' גדל:**

$$\theta n-\theta n+1=\frac{2\pi}{kd}$$

**באופן כללי (אם אין עיכוב בפאזה):** $\Delta\varphi=k\Delta x$ **(Δx – כמה דרך עשה הגל שעובר דרך סדק 2 פחות כמה דרך עשה הגל שעובר דרך סדק 1)**

**עוצמה של גל אלקטרומגנטי בניסוי יאנג:** $I(\theta)=\frac{E_0^{\,2}}{2c\mu_0}\cos^2\left(\frac{kd\sin\theta}{2}\right)$

## ניסוי יאנג מרובה סדקים:

$$Em=Eo\sin(\omega t-kx-k(N-1)\Delta)$$

**. N – מספר הסדקים**

**נקודות מקס' מהסוג החזק:**

$$\left(\frac{1}{2}kd\sin\theta\right)=n\pi \quad I=N^2\frac{E_0^{\,2}}{2c\mu_0}$$

**בין 2 נקודות מקס' מהסוג החזק יש (N-1) אפסים!!! הזווית של המקסימום הראשית ה-1:**

$$\sin\theta=\frac{\lambda}{d}$$

$$I(\theta)=\frac{E_0^{\,2}}{2c\mu_0}\left(\frac{\sin^2\left(\frac{Nkd\sin\theta}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{kd\sin\theta}{2}\right)}\right)$$ **כאשר sinθ=0** $$I=\frac{E_0^{\,2}}{2c\mu_0}$$

## נוסחאות חשובות:

$$\sum_{i=1}^{n}P^i=\frac{p-p^{n+1}}{1-p}$$

$$\int_0^n\sin^2\left(\frac{n\pi x}{L}\right)dx=\frac{L}{2}$$

$$\int x\sin(ax)dx=\frac{\sin(ax)}{a^2}-\frac{x\cos(ax)}{a}$$

$$\bar{X}=\frac{\alpha+\beta}{2}, \Delta X=\frac{\alpha-\beta}{2}$$

$$\sin\alpha\pm\sin\beta=2\sin\left(\frac{\alpha\pm\beta}{2}\right)\cos\left(\frac{\alpha\mp\beta}{2}\right)$$

$$\cos\alpha+\cos\beta=2\cos\bar{x}\cos\Delta x$$

$$\cos\alpha-\cos\beta=-2\sin\bar{x}\sin\Delta x$$

$$\sin\alpha\cos\beta=\tfrac{1}{2}\left[\sin(2\bar{x})+\sin(2\Delta x)\right]$$

$$\cos\alpha\cos\beta=\tfrac{1}{2}\left[\cos(2\bar{x})+\cos(2\Delta x)\right]$$

$$\sin\alpha\sin\beta=\tfrac{1}{2}\left[\cos(2\Delta x)-\cos(2\bar{x})\right]$$

$$\sin(\alpha\pm\beta)=\sin\alpha\cos\beta\pm\cos\alpha\sin\beta$$

$$\cos(\alpha\pm\beta)=\cos\alpha\cos\beta\mp\sin\alpha\sin\beta$$

**דוגמא:** נתונה טבעת בעלת רדיוס R הטעונה במטען λ ומסתובבת במהירות זוויתית w . מה השדה לאורך ציר **הטבעת?** עקב הסימטרייה – השדה יהיה רק בציר z .

$$\vec{B}(z)=\frac{\mu_0 I}{2}\cdot\frac{R^2}{\left(z^2+R^2\right)^{3/2}}\hat{Z}$$

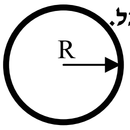
$$I=\frac{q}{T}=\frac{2\pi R\lambda}{T}, T=\frac{2\pi}{\omega}\Rightarrow I=\omega R\lambda$$

**דוגמא** : נתון סליל גלילי ארוך בעל זרם I ורדיוס b . חלקיק טעון נמצא במנוחה במרחק r ממרכז הסליל, (r<b) . על המטען יפעל כוח רק אם הזרם משתנה בזמן (כוח מגנטי) בכיוון הניצב לציר הסליל ולרדיוס.

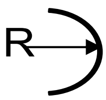
**דוגמא:** במרכזו טבעת מוליכה עובר תיל אינסופי בעל זרם משתנה בזמן. בתוך הטבעת לא יזרום זרם כי השטף המגנטי הוא אפס (B מאונך לשטח הטבעת!!!)

**דוגמא:** נתונות שלוש התפלגויות מטען, כאשר המטען הכולל שווה בכל אחת מההתפלגויות.

**.1 P-מרכז המעגל.**




**.2 P – במרחק R מהקשת.**




**.3**


**היחסים בין השדות בנקודה P של ההתפלגויות השונות:**
**E1<E2<E3**
**היחסים בין הפוטנציאלים בנקודה P של ההתפלגויות השונות:**
**V1=V2=V3**