

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.

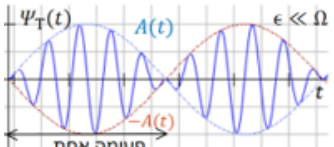
ניתן לשנות את כיוון הפריסה לרוחב, זה יוצר מראה יותר מרווח על חשבון מספר עמודים.

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.

GOOL	החזרה והעברה
תנאי שפה לנקודת אי-רציפות במיתר ב- $x=0$:	
1. רציפות הפונקציה:	$\psi_L(0,t) = \psi_R(0,t)$
2. רציפות הכוח:	$F_L = F_R$
אם המתיחות אחידה, אז תנאי 2 הופך לרציפות הגזרות:	
	$\left. \frac{\partial \psi_L}{\partial x} \right _{x=0} = \left. \frac{\partial \psi_R}{\partial x} \right _{x=0}$
	$\psi_L(x,t) = \psi_r(x,t) + \psi(x,t)$; $\psi_R(x,t) = \psi_t(x,t)$
	$\psi_r(x,t) = r\psi(-x,t)$
	$\psi_t(x,t) = t\psi\left(\frac{v_1}{v_2}x,t\right)$; $v_1 = \sqrt{\frac{T}{\rho_1}}$ $v_2 = \sqrt{\frac{T}{\rho_2}}$
	מקדם החזרה: $r = \frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1} = \frac{\sqrt{\rho_1} - \sqrt{\rho_2}}{\sqrt{\rho_1} + \sqrt{\rho_2}}$
	מקדם העברה: $t = \frac{2v_2}{v_2 + v_1} = \frac{2\sqrt{\rho_1}}{\sqrt{\rho_1} + \sqrt{\rho_2}}$
הערה: את הנוסחאות של מקדם ההעברה והחזרה נרשום בנושא הבא בצורה יותר כללית עם שימוש בעכבות.	
GOOL	עכבה
	עכבה (impedance): $Z = \sqrt{\rho T} = \frac{T}{v}$
	T – מתיחות. V – מהירות הגל
	$ Z = \frac{ F_y }{ V_y(t) }$
	F_y – הכוח על אלמנט מסה
	$V_y(t)$ – מהירות אלמנט מסה (מהירות החומר)
	מקדמי העברה וחזרה בפגיעה של גל מתווך 1 ל-2:
	$r = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$ מקדם החזרה. $t = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}$ מקדם העברה
	תאום עכבות: $z_1 = z_2 \Leftarrow t = 1 \rightarrow r = 0$
GOOL	אנרגיה הספק ותנע
	אנרגיה ליחידת אורך של גל נע במיתר:
	$\epsilon(x,t) = \rho \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)^2 = \rho v^2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right)^2$
	אנרגיה ממוצעת בזמן:
	הספק רגעי בנקודה, כמה עבודה עושה החלק השמאלי על החלק הימני ביחידת זמן:
	$P^\pm = \pm Z \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} \right)^2 = \pm v \epsilon(x,t)$
	$P^\pm$ הוא הספק רגעי של גל הנע בכיוון החיובי/שלילי
	ההספק הממוצע בזמן:
	מקדם החזרה של האנרגיה: $R = \frac{P_1^-}{P_1^+} = r^2 = \left(\frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} \right)^2$
	מקדם העברה של האנרגיה: $T = \frac{P_2^+}{P_1^+} = \frac{z_2}{z_1} t^2 = \frac{4z_1 z_2}{(z_1 + z_2)^2}$
	$R + T = 1$
	תנע: התנע הוא אפס.
GOOL	גלים עומדים
	מיתר חצי אינסופי:
	קצה קשור: $\Psi(x=0,t) = 0 \Rightarrow \Psi(x,t) = C \sin(kx) \sin(\omega t + \varphi)$
	קצה חופשי:
	$\left. \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right _{x=0} = 0 \Rightarrow \Psi(x,t) = C \cos(kx) \cos(\omega t + \varphi)$
	מיתר סופי:
	2 קצוות קשורים: $\Psi(x=0,t) = \Psi(x=L,t) = 0$
	$\lambda_n = \frac{2L}{n}$; $k_n = \frac{\pi n}{L}$; $n = 0,1,2,3 \dots$; $f_n = \frac{vn}{2L}$
	$\Psi(x,t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \sin(k_n x) \sin(\omega_n t + \varphi_n)$
	קצה קשור וקצה חופשי:
	$\Psi(x=0,t) = 0, \left. \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right _{x=L} = 0$
	$k_n = \frac{\pi}{L} \left(n + \frac{1}{2} \right)$; $n = 0,1,2,3 \dots$
	$\lambda_n = \frac{2L}{(n+\frac{1}{2})}$; $f_n = \frac{v}{2L} \left(n + \frac{1}{2} \right)$
	$\Psi(x,t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \sin(k_n x) \sin(\omega_n t + \varphi_n)$
	מיתר סופי עם 2 קצוות חופשיים:
	$\left. \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right _{x=0} = 0, \left. \frac{\partial \Psi}{\partial x} \right _{x=L} = 0$
	$\lambda_n = \frac{2L}{n}$; $f_n = \frac{vn}{2L}$; $k_n = \frac{\pi n}{L}$; $n = 0,1,2,3 \dots$

קבוע:	$FT[1] = \delta(k)$
נוסחת הכפל באקספוננט, קוסינוס או סינוס (מודולציה):	$FT[f(x)e^{iCx}] = F(k-C)$
	$FT[f(x) \cos(Cx)] = \frac{F(k-C) + F(k+C)}{2}$
	$FT[f(x) \sin(Cx)] = \frac{F(k-C) - F(k+C)}{2i}$
נוסחת הכינוץ והזזה:	$FT[f(ax+b)] = \frac{1}{ a } e^{i \frac{kb}{a}} F\left(\frac{k}{a}\right)$
נוסחת הגזרות: אם $f(x), f'(x) \in G$ ו- $\lim_{x \rightarrow \pm\infty} f(x) = 0$:	$FT[f'(x)] = ikF(k)$
אז:	
נוסחת המומנט: אם $xf(x) \in G$ או $F(k)$ גזירה ברציפות ו- $FT[xf(x)] = i \frac{d}{dk} F(k)$	

GOOL	מבוא לגלים
גלים רוחביים: ההפרעה בכיוון ניצב להתקדמות (מיתר)	
גלים אורכיים: ההפרעה בכיוון מקביל להתקדמות (קול)	
תווך: החומר בו מתקדמת ההפרעה	
פונקציית הגל: $f(x \pm vt)$, כאשר v היא מהירות הגל.	
אנרגיה של גל: $E, A \propto A^2$ היא האמפליטודה (משרעת)	
משוואת הגלים במימד אחד:	
כל פונקציה מהצורה $f(x \pm vt)$ היא פתרון של משוואת הגלים. סכום של שני פתרונות מהווה גם פתרון אם לשני הפתרונות אותה מהירות גל.	
התאבכות: סכימה של גלים שנפגשים	
חזית גל: אוסף הנקודות המגיעות לשיא באותו זמן	
גלים מתוזמרים:	
λ – אורך הגל; T – זמן המחזור; v – מהירות הגל	
- תדירות (מספר המחזורים בשנייה):	
גל הרמוני:	
- מספר הגל:	
- קשרים בין הגדלים השונים:	
גל עומד: מורכב משני גלים נעים זהים הנעים בכיוונים מנוגדים	
- נקודות צומת (node): נקודות שלא זוזות. אין מהירות גל.	
- נקודת טבור (antinode): אמפליטודה מקסימאלית.	
- פעימות: בפעמיות אחרות מחברים שני גלים בעלי אותה אמפליטודה ומקבלים גל בתוך מעטפת (פעמה).	
$\Psi_1(t) = A \cos(\omega_1 t)$ & $\Psi_2(t) = A \cos(\omega_2 t)$	
$\Psi_T(t) = \Psi_1(t) + \Psi_2(t) = 2A \cos(\epsilon t) \cos(\Omega t)$	
	
$\epsilon = \frac{\omega_f - \omega_s}{2}$	
$\Omega = \frac{\omega_f + \omega_s}{2}$	
תדירות הפעימה היא 2ε	

GOOL	גלים רוחביים במיתר
משוואת הגלים:	
T – המתיחות במיתר, ρ – צפיפות המסה ליחידת אורך, ψ – פונקציית הגל, ההעתק הרוחבי של כל חתיכה במיתר.	
מהירות הגל:	
פתרון המשוואה:	
- אפשרויות נוספות לפתרון (על ידי שימוש בוהריות טריגונומטריות)	
שתי האפשרויות האחרונות עדיפות לגלים עומדים.	
פתרון במספרים מרוכבים:	
אם הפונקציה ממשית, אז $A_3 = A_4^*$ ו- $A_4 = A_3^*$, והפתרון מתכנס לחלק הממשי של	
יחס הדיספרסיה:	
פתרון באמצעות נוסחת ד'אלמבר:	
$\psi(x,t) = \frac{1}{2} [\psi(x-vt,0) + \psi(x+vt,0)] + \frac{1}{2v} \int_{x-vt}^{x+vt} \psi'(x',0) dx'$	

GOOL	אנליזה פורייה
כאשר L הוא המחזור של הפונקציה (אפשרי גם שהמחזור של הפונקציה יהיה קטן מ- L אבל לא גדול ממנו).	
הפונקציה צריכה להיות מחזורית ובמרחב L_2 .	
מכפלה פנימית:	
פונקציות אורתוגונליות:	
$\int_0^L \sin\left(\frac{2\pi n x}{L}\right) \cos\left(\frac{2\pi m x}{L}\right) dx = 0$	
$\int_0^L \cos\left(\frac{2\pi n x}{L}\right) \cos\left(\frac{2\pi m x}{L}\right) dx = \frac{L}{2} \delta_{nm}$	
$\int_0^L \sin\left(\frac{2\pi n x}{L}\right) \sin\left(\frac{2\pi m x}{L}\right) dx = \frac{L}{2} \delta_{nm}$	
אפשר לתאר באמצעות אותן נוסחאות של טור פורייה גם קטע מתוך פונקציה שאינה מחזורית או פונקציה המוגבלת לתחום מסוים. צריך לזכור שהטור מתאר רק את הקטע המסוים ובשאר המרחב הוא מתאר שכפול של הקטע ולא את הפונקציה המקורית.	
טור סינוסים וקוסינוסים לתיאור פונקציה בקטע סופי:	
$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin\left(\frac{\pi n}{L} x\right)$	
$B_n = \frac{2}{L} \int_0^L f(x) \sin\left(\frac{\pi n}{L} x\right) dx$	
$f(x) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos\left(\frac{\pi n}{L} x\right)$	
$A_n = \frac{2}{L} \int_0^L f(x) \cos\left(\frac{\pi n}{L} x\right) dx$	
טור אקספוננטים:	
$C_0 = \frac{1}{L} \int_0^L f(x) dx$, $C_n = \frac{1}{L} \int_0^L f(x) e^{-i \frac{2\pi n}{L} x} dx$	
הקשר בין המקדמים בטור אקספוננטים לטור סינוסים וקוסינוסים:	
$A_n = C_n + C_{-n}$; $B_n = i(C_n - C_{-n})$; $\frac{A_0}{2} = C_0$	
$C_n = \frac{1}{2}(B_n - iA_n)$; $C_{-n} = \frac{1}{2}(B_n + iA_n)$	
תופעת גיבס:	
קרוב לנקודת האי רציפות של הפונקציה המקורית. נראה תנודתיות בפונקציה המתוארת על ידי הטור. תנודתיות זו חולקת וקטנה ככל שמספר האיברים בטור גדל והיא נעלמת לגמרי עבור אינסוף איברים.	
בנקודת אי הרציפות אנחנו נראה סטייה של 0.9% מערך הקפיצה בפונקציה, סטייה זו היא קבועה ואינה קטנה ככל שמגדילים את מספר האיברים (החל ממספר איברים מסוים).	
התמרת (טרנספורם) פורייה:	
$f(k) = FT[f(x)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-ikx} dx$	
התמרה הפוכה:	
תכונות:	
אם $f(x) \in G$ אז $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx \neq \infty$	
אם $f(x) \in G$ אז $F(k) \in G$	
אם $f(x) \in G$ אז $\lim_{k \rightarrow \pm\infty} F(k) = 0$	
אם $f(x)$ זוגית אז $F(k) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} f(x) \cos(kx) dx$	
אם $f(x)$ אי-זוגית אז:	
$F(k) = -\frac{i}{\pi} \int_0^{\infty} f(x) \sin(kx) dx$	
אם $f(x)$ ממשית אז $\overline{F(k)} = F(-k)$	
התמרות של פונקציות מיוחדות:	
גאוסיאן:	
אקספוננט:	
לורנציאן:	
פונקציית דלתא:	

כאשר a הוא רוחב כל סדק, d המרחק בין שני סדקים ו- N מספר הסדקים.

GOOL

אינטרפרומטריה

האינטרפרומטר של מיכלסון:

הפרש הדרכים:

$$\delta = 2(L_2 - L_1)$$

הפרש הפאזה:

$$\Delta\phi = k\delta + \pi$$

התאבכות בונה:

$$\delta = \lambda \left(m + \frac{1}{2} \right)$$

התאבכות

חורסת:

$$\delta = \lambda m$$

עוצמה:

$$\frac{I}{I_{\max}} = \cos^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right) = \sin^2 \left(\frac{\pi\delta}{\lambda} \right)$$

אינטרפרומטר מאד-זנדר:

$$\delta = d(n-1)$$

גלאי 1:

$$\Delta\phi = k\delta$$

גלאי 2:

$$\Delta\phi = k\delta + \pi$$

עוצמה:

$$\frac{I}{I_{\max}} = \cos^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right)$$

אינטרפרומטר פברי-פרו:

$$\frac{I}{I_{\max}} = \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right)}$$

בין שני קרניים

$$\Delta\phi = k\delta = k2d \cos \theta$$

צמודות:

$$k\delta = 2kd \cos \theta$$

רוחב

האינטרפרומטר θ - זווית

פגיעה.

מקדם החזרה בכל פגיעה:

$$R = r^2 = \left(\frac{Ar}{Ai} \right)^2$$

העוצמה:

$$\frac{I}{I_{\max}} = \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right)}$$

$$I(\Delta\phi) = I_{\max} \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right)}$$

$$R = 0.02$$

$$R = 0.5$$

$$R = 0.9$$

$$FWHM$$

$$(2\pi + \Delta\phi_1)$$

$$\Delta\phi_1 \approx \frac{1-R}{\sqrt{R}}$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

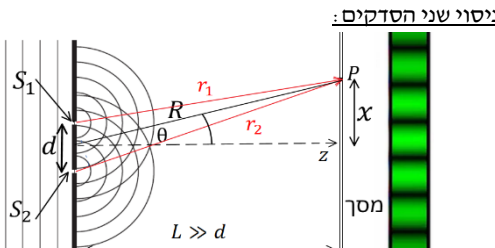
$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$

$$(R=0.5 \text{ - רוחב הפונקציה בחצי גובה})$$



ניסוי שני הסדקים:

קירוב השדה הרחוק $L \gg d$:

$$A_1 \approx A_2 \leftarrow \Delta r \ll r$$

$$\Delta r = d \sin \theta \leftarrow r_1 || r_2$$

העוצמה היחסית:

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \cos^2 \left(\frac{k d \sin \theta}{2} \right)$$

קירוב זוויות קטנות:

$$\sin \theta \approx \tan \theta \approx \frac{x}{L}$$

בגלל התלות של האמפליטודה במרחק, צריך להכפיל את

התוצאה לעוצמה בקוסינוס טטה עבור גלים גליליים

ובקוסינוס בריבוע עבור גלים כדוריים. התוספת הזו

קשורה למבנה של המסך והיא לא תופיע במסך עגול.

בדרי"ח מניחים קירוב זוויות קטנות ואז היא זניחה.

התאבכות ב N סדקים

קירוב השדה הרחוק

$$A_1 \approx A_2 \approx A_3 \approx A_4 \leftarrow \Delta r \ll r$$

$$\Delta r = d \sin \theta \leftarrow r_1 || r_2 || r_3 || r_4$$

$$\alpha = kd \sin \theta ; \quad \frac{I_{\text{tot}}(\alpha)}{I_{\text{tot}}(0)} \approx \left(\frac{\sin \left(\frac{N\alpha}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \right)^2$$

פיק גדול (מתרחש כשהמכנה מתאפס):

נקודות התאפסות (כשהמונה מתאפס והמכנה לא):

$$\alpha_n = 2\pi n$$

$$n \neq mN \quad \alpha_n = \frac{2\pi n}{N}$$

פיק קטן (נגזרת שווה לאפס ומכנה לא מתאפס):

$$\alpha_n = \frac{2\pi}{N} \left(n + \frac{1}{2} \right)$$

מספר הפיקים באחד הצדדים (ללא הפיק המרכזי):

$$\frac{kd}{2\pi}$$

(לעגל למטה).

מספר הפיקים (הגדולים) הכולל שווה למספר הפיקים

באחד הצדדים כפול 2 ועוד 1 (המרכזי)

עקיפה

$$\frac{I(\beta)}{I(0)} = \left(\frac{\sin \left(\frac{1}{2}\beta \right)}{\frac{1}{2}\beta} \right)^2$$

קירוב השדה הרחוק $L \gg a$:

$$\beta = ka \sin \theta$$

$$\beta_n = 2\pi n$$

נק' התאפסות:

אם $\lambda > a$ אז רוחב הפיק המרכזי גדול מאינסוף ולא

יהיו נק' התאפסות, הסדק מתנהג כמקור אור נקודתי.

אם $\lambda \gg a$ מקבלים עוצמה קבועה ברוחב הסדק,

מתאים למקרה הקלאסי בו מניחים שהאור נע בקווים

ישרים.

$$\beta_n \approx 2\pi \left(n + \frac{1}{2} \right) \quad \text{(נגזרת מתאפסת)}$$

הקשר לפרוייקט:

האמפליטודה הכוללת על המסך כתלות בזווית:

$$A_{\text{tot}}(\theta) = 2\pi FT [B(x)] (k')$$

כאשר $B(x)$ היא האמפליטודה ליחידת אורך בסדק.

התאבכות ועקיפה ביחד

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin \theta}{2} \right) \frac{\sin \left(\frac{Nkd \sin \theta}{2} \right)}{N \sin \left(\frac{kd \sin \theta}{2} \right)} \right)^2$$

$$\Psi(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \cos(k_n x) \sin(\omega_n t + \phi_n)$$

יחס נפיצה (דיספרסיה) ומהירות החבורה

ייצוג פונקציית הגל באמצעות פורייה:

$$\psi(x, t) = \int_{-\infty}^{\infty} A(k) e^{i(kx - \omega(k)t)} dx$$

כאשר:

$$A(k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \psi(x, 0) e^{-ikx} dx$$

מהירות הפאזה:

$$v_{\phi}(k) = \frac{\omega}{k}$$

מהירות החבורה:

$$v_g(k) = \frac{\partial \omega}{\partial k}$$

רוחב כתלות בזמן של גאוסיאן:

$$\sigma^2(t) = \frac{\sigma^4 + 4\beta^2 t^2}{\sigma^2}$$

כאשר σ היא הרוחב ההתחלתי ו-

$$\beta = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial k^2} \Big|_{k_0}$$

אם מספר הגל יוצא מורכב עבור תדירויות מסוימות, נקבל

גל דועך. קבוע הדעיכה הוא החלק המדומה של מספר הגל.

במכניקת הקוונטים: פונקציית גל מתארת הסתברות

למצוא חלקיק במיקום מסוים.

משוואת שרדינגר:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}$$

התנע של חלקיק:

$$p = \hbar k$$

בגלי מים:

יחס הדיספרסיה הכללי עבור גלים בנוזל הוא: