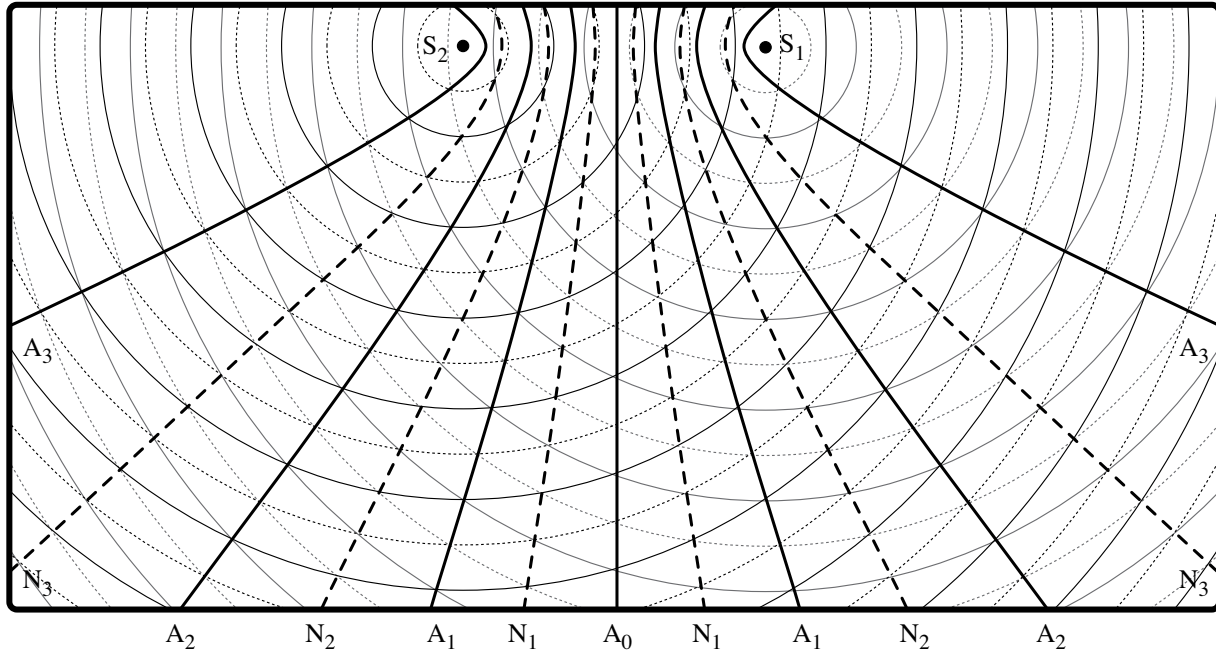


פרק ו: עקיפה והתאבכות

1. באיור שלהלן קווי המקסימום הם A_0, A_1, A_2 ו- A_3 , וקווי המינימום הם N_1, N_2 ו- N_3 .



2. א. נקודה A: נוצרת בה התאבכות בונה בכל רגע ורגע, כי הפרש מרחקיה משני המקורות הוא 0, לכן הגלים מגיעים ל-A במופע.

נקודה B: נוצרת בה התאבכות הורסת בכל רגע ורגע, כי הפרש מרחקיה משני המקורות הוא 1 ס"מ והוא שווה לחצי אורך גל. לכן הגלים מגיעים ל-B במופע מנוגד.

נקודה C: נוצרת בה התאבכות בונה בכל רגע ורגע, כי הפרש מרחקיה משני המקורות הוא 4 ס"מ, והוא שווה לשני אורכי גל. לכן הגלים מגיעים ל-C במופע.

נקודה D: נקודת ביניים, כי הפרש מרחקיה משני המקורות הוא 0.5 ס"מ, והוא אינו שווה למספר שלם של אורכי גל, ולא למספר אי-זוגי של חצאי אורך גל. לכן הגלים אינם מגיעים ל-D במופע, ולא במופע מנוגד.

ב. (1) לאחר שמחליפים את המים בנוזל אחר - תדירות הגלים לא תשתנה, כי היא נקבעת על-ידי מקור הגלים.

(2) לאחר שמחליפים את המים בנוזל אחר - אורך הגל של הגלים משתנה, כי בנוזל האחר מהירות הגלים שונה מזו שבמים, התדירות כאמור לעיל אינה משתנה, לכן אורך הגל משתנה.

3. א. כזכור, אפשר למדוד את אורך הגל כמרחק בין שיא לשיא עוקב. כאשר מסתכלים על הקו המחבר את שני המקורות S_1 ו- S_2 , רואים כי המרחק בין המקורות הוא 5 ס"מ, והוא כולל בדיוק חמישה אורכי גל. מכאן שאורך הגל הוא 1 ס"מ.

ב. (1) נקודה A: נוצרת בה התאבכות בונה בכל רגע ורגע, כי הפרש מרחקיה משני המקורות הוא $3\lambda - 3\lambda = 0$, לכן הגלים מגיעים ל-A במופע.

(2) נקודה B: נוצרת בה התאבכות בונה בכל רגע ורגע, כי הפרש מרחקיה משני המקורות הוא

$$\lambda = 4.5\lambda - 5.5\lambda. \text{ לכן הגלים מגיעים ל-B במופע.}$$

(3) נקודה C: נוצרת בה התאבכות הורסת בכל רגע ורגע, כי הפרש מרחקיה משני המקורות הוא

$$0.5\lambda = 3.5\lambda - 4\lambda. \text{ לכן הגלים מגיעים ל-C במופע מנוגד.}$$

(4) נקודה E: נוצרת בה התאבכות הורסת בכל רגע ורגע, כי הפרש מרחקיה משני המקורות הוא 1.5 ס"מ, והוא

שווה לשלושה חצאים של אורך גל. לכן הגלים מגיעים ל-E במופע מנוגד.

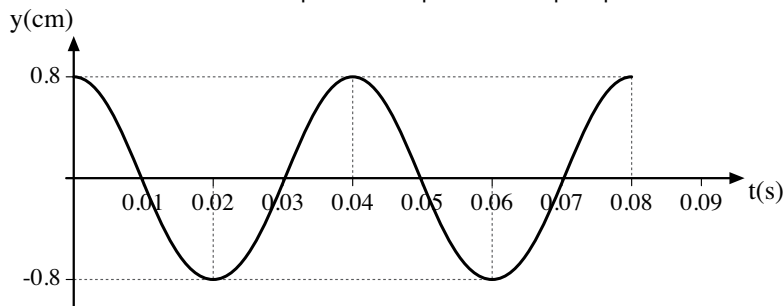
(5) נקודה F: נקודת ביניים, כי הפרש מרחקיה משני המקורות הוא 4.2 ס"מ, והוא אינו שווה למספר שלם של

אורכי גל, ולא למספר אי-זוגי של חצאי אורך גל. לכן הגלים אינם מגיעים ל-F במופע, ולא במופע מנוגד.

ג. (1) חישוב זמן המחזור, T, של הגל הנוצר על ידי כל אחד המקורות:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{25} = 0.04 \text{ s}$$

(2) הגרף שלהלן מתאר את העתק הנקודה A כפונקציה של זמן.



4. לאורך קו צומת נוצרת התאבכות הורסת בכל רגע ורגע מפני שהגלים מגיעים לכל נקודה במופע מנוגד בכל רגע

ורגע. זה אומר, ששיא ממקור אחד נפגש עם שפל מן המקור האחר, חצי שיא ממקור אחד נפגש עם חצי שפל מן המקור האחר וכיו"ב.

נקודה הנמצאת על קו צומת מסדר נמוך נמצאת במרחקים שונים רק במקצת משני המקורות. לכן העתק של נקודת שיא של גל המגיע ממקור אחד שווה בקירוב רב לערך המוחלט של העתק נקודת השפל של גל המגיע מהמקור האחר (הפרש הדרכים משני המקורות הוא קטן). לכן על-פי עקרון הסופרפוזיציה **העתק פני המים בנקודה זו שווה בקירוב רב לאפס**. קווי הצומת בעלי הסדרים הנמוכים שונים מאוד מפסי המקסימום (מים רועים לעומת מים רגועים), לכן בתבנית ההתאבכות הם בולטים לעין, ונראים בבירור.

לעומת זאת נקודה הנמצאת על קו צומת מסדר גבוה - **מרחקיה משני המקורות שונים מאוד זה מזה** (הפרש מרחקיה שווה למספר אי-זוגי גדול של חצאי אורך גל); גל "טרי" שנוצר על ידי המקור הקרוב לנקודה נפגש עם גל "זקן" שנוצר על ידי המקור הרחוק מהנקודה, לכן העתק של נקודת שיא ממקור אחד שונה במידה ניכרת מהערך המוחלט של העתק נקודת השפל מהמקור האחר. לכן **לאורך קווים אלה נעים גלים בעלי משרעת שונה מאוד מאפס**. לאורך קווי הצומת בעלי הסדרים הגבוהים מתפשט גל (אמנם עם משרעת קטנה לעומת משרעת הגל המתפשט לאורך קו מקסימום), לכן הם אינם שונים מאוד מפסי המקסימום, ואינם נראים בצורה ברורה בתבנית ההתאבכות.

5. א. A_n - נקודה על קו מקסימום מסדר n.

S_1 - מיקום המקור האחד.

S_2 - מיקום המקור האחר.

n - המספר הסידורי של קו המקסימום: $n = 0, 1, 2, \dots$

λ - אורך הגל של הגל שנוצר על-ידי כל אחד משני המקורות.

ב. אם הנקודה A_n קרובה יותר ל- S_2 מאשר ל- S_1 אזי:

$$(1) \quad A_n S_1 - A_n S_2 = n\lambda$$

ואם הנקודה A_n נמצאת על קו המקסימום האחר מסדר n , כך שהיא קרובה יותר ל- S_1 מאשר

$$(2) \quad A_n S_1 - A_n S_2 = -n\lambda$$

ל- S_2 אזי:

את שני השוויונים (1) ו-(2) אפשר לכתוב כשוויון אחד:

$$|A_n S_1 - A_n S_2| = n\lambda$$

ג. משמעות הקשר: הנקודה A_n הנמצאת על קו מקסימום מסדר n , מרחקה מ- S_1 גדול או קטן ממרחקה מ- S_2

ב- $n\lambda$.

6. א. N_n - נקודה על קו מינימום מסדר n .

S_1 - מיקום המקור האחד.

S_2 - מיקום המקור האחר.

n - המספר הסידורי של קו המינימום: $n = 1, 2, 3, \dots$

λ - אורך הגל של הגל שנוצר על-ידי כל אחד משני המקורות.

ב. אם N_n קרובה יותר ל- S_2 מאשר ל- S_1 , אזי

$$(1) \quad N_n S_1 - N_n S_2 = (n - \frac{1}{2})\lambda$$

ואם הנקודה N_n נמצאת על קו מינימום האחר מסדר n , כך שהיא קרובה יותר ל- S_1 מאשר ל- S_2 , אזי:

$$(2) \quad N_n S_1 - N_n S_2 = -(n - \frac{1}{2})\lambda$$

את שני השוויונים (1) ו-(2) אפשר לכתוב כשוויון אחד:

$$|N_n S_1 - N_n S_2| = (n - \frac{1}{2})\lambda$$

ג. משמעות הקשר: נקודה N_n הנמצאת על קו מינימום מסדר n , מרחקה מ- S_1 גדול או קטן ממרחקה מ- S_2 ב-

$(n - \frac{1}{2})\lambda$.

7. א. שני מקורות גלים הם "מנוגדי מופע" אם בכל רגע ההעתק של מקור אחד שווה למינוס ההעתק של המקור האחר.

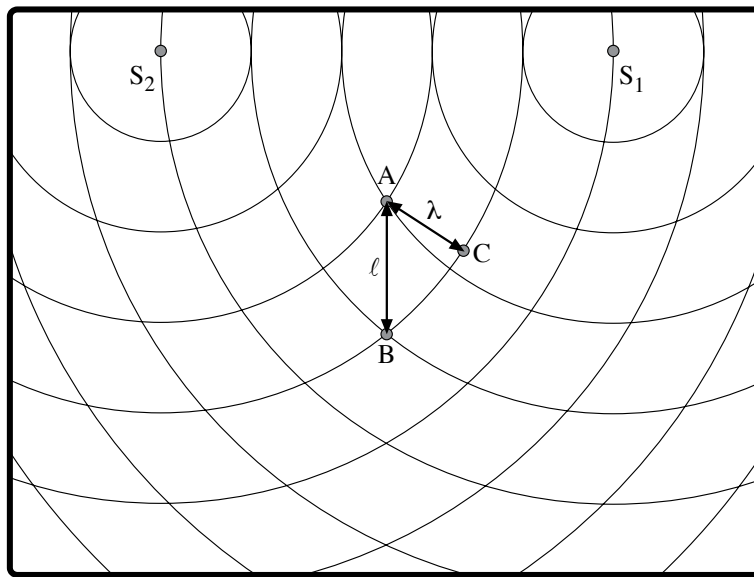
ב. שני המקורות הם מנוגדי מופע, כל נקודה לאורך האנך האמצעי נמצאת במרחקים שווים משני המקורות, לכן לכל נקודה כזו הגלים מופיעים במופע מנוגד, לכן מתרחשת בה בכל רגע התאבכות הורסת.

ג. שני המקורות הם שווי משרעת. כיוון שכל נקודה על האנך האמצעי נמצאת במרחקים שווים משני המקורות הגלים מגיעים לנקודה כזו כך שהם מבטלים לחלוטין זה את זה.

8. א. נסביר מדוע המרחק בין שתי נקודות שיא לאורך קו מקסימום אינו שווה לאורך הגל של גל הנוצר על ידי מקור יחיד.

באיור א הנקודות A ו-B נמצאות על קו מקסימום מסדר אפס. המרחק ביניהן מסומן באיור ב- ℓ .

מרחק זה גדול מאורך הגל הנוצר על ידי מקור יחיד, שהוא למשל המרחק בין הנקודות A ו-C.



איור א

ב. באיור ב הדגשנו את שני מקורות הגלים באמצעות שני עיגולים לבנים S_1 ו- S_2 שהוספנו לתצלום. בחרנו נקודה B על קו מקסימום מסדר ראשון (ראה איור). המרחקים של נקודה זו משני המקורות הם 9.25 ס"מ ו-8.7 ס"מ. הפרש המרחקים שווה לאורך הגל: $\lambda = 9.25 - 8.7 \approx 0.55 \text{ cm}$

הערה למורה: נחשב את השגיאה במדידת אורך על-פי הנקודה B: השגיאה המוחלטת במדידה בסרגל של כל אחד משני המרחקים של הנקודה משני המקורות היא $\Delta x = 0.05 \text{ cm}$ (מחצית המרחק בין שתי שנתות סמוכות בסרגל) לכן השגיאה המוחלטת בהפרש האורכים היא: $\Delta x = 0.05 + 0.05 = 0.1 \text{ cm}$. מכאן שתוצאת המדידה של אורך הגל היא: $\lambda = 0.55 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$. כלומר ממדידה זו נובע שאורך הגל הוא ערך כלשהו בין 0.45 cm לבין 0.65 cm.

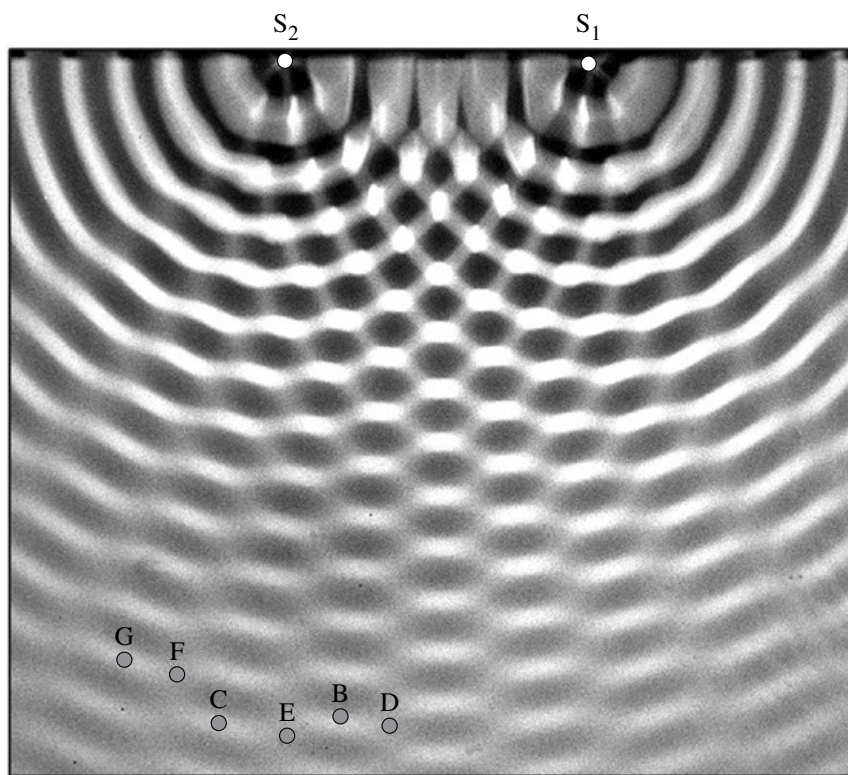
ג. (1) בחרנו בנקודה C על קו מקסימום מסדר שני. המרחקים של נקודה זו משני המקורות הם 10.0 ס"מ ו-8.8 ס"מ. הפרש המרחקים שווה לכפליים אורך הגל, לכן: $\lambda = \frac{10.0 - 8.8}{2} \approx 0.6 \text{ cm}$

הערה: אפשר לראות כי התוצאה שהתקבלה בסעיף זה נמצאת בתחום שהתקבל בסעיף ב.
(2) בחרנו בנקודה D על קו מינימום מסדר ראשון (ראה איור ב). המרחקים של נקודה זו משני המקורות הם 9.2 ס"מ ו-8.9 ס"מ. הפרש המרחקים שווה לחצי אורך הגל לכן: $\lambda = 2 \cdot (9.2 - 8.9) \approx 0.6 \text{ cm}$

(3) בחרנו בנקודה E על קו מינימום מסדר שני (ראה איור ב). המרחקים של נקודה זו משני המקורות הם 9.8 ס"מ ו-8.9 ס"מ. הפרש המרחקים שווה ל-3/2 אורך גל לכן: $\lambda = \frac{2 \cdot (9.8 - 8.9)}{3} \approx 0.6 \text{ cm}$

(4) בחרנו בנקודה F על קו מינימום מסדר שלישי (ראה איור ב). המרחקים של נקודה זו משני המקורות הם 8.9 ס"מ ו-8.2 ס"מ. הפרש המרחקים שווה ל-5/2 אורך גל לכן: $\lambda = \frac{2 \cdot (9.75 - 8.25)}{5} \approx 0.6 \text{ cm}$

(5) בחרנו בנקודה G על קו מקסימום מסדר שלישי. המרחקים של נקודה זו משני המקורות הם 10.0 ס"מ ו-8.2 ס"מ. הפרש המרחקים שווה ל-3 אורכי גל לכן: $\lambda = \frac{10.0 - 8.2}{3} \approx 0.6 \text{ cm}$



איור ב

9. שלוש תופעות שבהן גל משנה את כיוון התפשטותו:
א. החזרה ב. שבירה ג. עקיפה

10. מניסוי החריצים המפורסם של יאנג נובע כי תופעת ההתאבכות מתרחשת באור, כמו בגלים.

11. א. פס האור הנמצא במרחק שווה משני החריצים - זהו פס מקסימום מסדר אפס, כי הוא נמצא במרכז התבנית.
ב. לכל אחד מפסי האור ג ו-ז האור הגיע מחריץ אחד במסלול שהוא ארוך בשני אורכי גל ממסלול האור שהגיע מהחריץ האחר, מפני שפסי אור אלה הם פסי מקסימום מסדר שני.
ג. לקו החושך שבין פסי אור ב ו-ג, ולקו החושך שבין פסי אור ז ו-ח הגיע אור מחריץ אחד במסלול שהוא ארוך בשני וחצי אורכי גל ממסלול האור שהגיע מהחריץ האחר.

12. א. θ_n - הזווית שבין האנך האמצעי לקו שמחבר את שני החריצים לבין הקו המחבר את נקודת האמצע בין החריצים לנקודה שעל המסך שבה מתקבל קו מקסימום מסדר n.

n - המספרים 0, 1, 2, ...

λ - אורך הגל של הגל העובר דרך החריצים.

d - המרחק בין החריצים.

ב. מוצדק להשתמש בנוסחה כאשר מרחק המסך, L, מהחריצים גדול מאוד ביחס למרחק, d, בין החריצים.

$$\sin \theta_n = n \frac{\lambda}{d} \Rightarrow \sin \theta_3 = 3 \frac{\lambda}{d} \quad .13$$

$$\sin \theta_3 = 3 \frac{600 \cdot 10^{-9}}{0.02 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow \theta_3 \approx 5.2^\circ \quad \text{נציב ערכים ביחידות S.I.}$$

$$n_{\max} \leq \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{2} \quad .14 \text{ א. על פי קשר (4) בספר:}$$

$$n_{\max} \leq \frac{8}{2} + \frac{1}{2} = 4.5$$

$$n_{\max} = 4 \quad \text{לכן:}$$

ב. כיוון שבכל סדר יש 2 קווי מינימום, מספר קווי המינימום בתבנית ההתאבכות הוא 8.

.15 א. מספר קווי המינימום בתבנית ההתאבכות שבשאלה 8 הוא 12.

ב. המרחק בין המקורות הוא 3.5 ס"מ, ואורך הגל, על פי התשובה לשאלה 8 הוא 5.5 mm.

$$n_{\max} \leq \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{2} ; n_{\max} \leq \frac{3.5}{0.55} + \frac{1}{2} = 6.86 \quad \text{מספר קווי המינימום על פי קשר (4) בספר:}$$

$$n_{\max} = 6 \quad \text{לכן הסדר המרבי של קווי המינימום הוא:}$$

$$2n_{\max} = 2 \cdot 6 = 12 \quad \text{לכן מספר קווי המינימום בתבנית צריך להיות:}$$

תשובה זו תואמת את התשובה לסעיף א.

ג. מספר הקווים נקבע על פי היחס d/λ . שני גדלים אלה בתצלום קטנים באותה מידה לעומת הגדלים המתאימים במציאות. לכן היחס d/λ אינו שונה בתצלום לעומת המציאות.

.16 א. כאשר מרחיקים זה מזה שני מקורות של גלי מים תבנית ההתאבכות "מתכווצת", כלומר הפריסה של הקווים השונים קטנה, ותוך כדי כך גדל מספר קווי הצומת באותו אבט.

ב. כאשר מגדילים את התדירות של שני מקורות של גלי מים הדבר משפיע על תבנית ההתאבכות באותה צורה כמו הגדלת המרחק בין המקורות.

$$\frac{\Delta x}{L} = \frac{\lambda}{d} \quad .17 \text{ א. נוסחת יאנג:}$$

Δx - רוחב של פס מקסימום

L - מרחק המסך מהחריצים.

λ - אורך הגל של הגל הבוקע מכל חריץ.

d - המרחק בין החריצים.

ב. בשני תנאים:

$$(1) L \gg d - \text{כלומר מרחק המסך, } L, \text{ מהחריצים גדול מאוד לעומת המרחק } d \text{ בין החריצים.}$$

(2) הזוויות θ_n קטנות, כך שמתקיים בקירוב: $\tan \theta_n \approx \sin \theta_n$. במילים אחרות הנוסחה נכונה עבור פסי מקסימום קרובים לאורך האמצעי לקו המחבר את שני החריצים.

.18 א. לא בכל מקרה שבו מוצדק להשתמש בנוסחה $\sin \theta_n = n \frac{\lambda}{d}$ מוצדק להשתמש גם בנוסחת יאנג. בנוסחה הראשונה מוצדק להשתמש כאשר $L \gg d$. בנוסחת יאנג מוצדק להשתמש כאשר מתקיים $L \gg d$, אך נדרש גם שהזוויות θ_n תהיינה קטנות.

ב. כן.

19. א. כי קווי החושך מסדר ראשון מתקבלים בזוויות קטנות.

ב. המרחק בין שני פסי חושך מסדר ראשון הוא רוחב פס אור, Δx . כיוון שמדובר בסדר נמוך, מוצדק להשתמש בנוסחת יאנג:

$$\frac{\Delta x}{L} = \frac{\lambda}{d} \Rightarrow \Delta x = \frac{L\lambda}{d} = \frac{3 \cdot 650 \cdot 10^{-9}}{0.02 \cdot 10^{-2}}$$

$$\Delta x = 0.975 \text{ cm}$$

20. א. הרוחב של חמישה פסי אור בתצלום הוא 3.4 ס"מ. לכן הרוחב, $\Delta x_{\text{תצלום}}$, של פס אור יחיד בתצלום:

$$\Delta x_{\text{תצלום}} = \frac{3.4}{5} = 0.68 \text{ cm}$$

הרוחב, $\Delta x_{\text{מציאות}}$, של פס אור במציאות:

$$\Delta x_{\text{מציאות}} = \frac{\Delta x_{\text{תצלום}}}{3} = \frac{0.68}{3} = 0.23 \text{ cm}$$

ב. נציב ערכים בנוסחת יאנג, כאשר המרחקים נמדדים בס"מ:

$$\frac{\Delta x}{L} = \frac{\lambda}{d} \Rightarrow \lambda = \frac{d \cdot \Delta x}{L} = \frac{0.05 \cdot 0.23}{150} \Rightarrow \lambda = 7.67 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 767 \text{ nm}$$

ג. פסי האור היו צרים יותר.

ד. התבניות דומות בכך שפסי האור בתבנית המתקבלת משני חריצים ופסי האור הראשיים בתבנית המתקבלת משלושה חריצים מתקבלים באותן זוויות.

התבניות שונות בכך שבתבנית משלושה חריצים בין כל שני פסי מקסימום ראשיים סמוכים מופיע פס מקסימום משני. בנוסף לכך עוצמת ההארה של פסי המקסימום הראשיים משלושה חריצים יותר גדולה, ופסי המקסימום הראשיים יותר צרים.

21. אור מונוכרומטי הוא אור בעל גוון יחיד; אי אפשר לפרק אותו לצבעים. במילים אחרות אור מונוכרומטי מורכב מגלים בעלי אורך גל יחיד.

22. א. מצאנו על ידי מדידות (בעזרת הסרגל המופיע בתצלום) כי הרוחב של חמישה פסי אור בתבנית ההתאבכות של האור הכחול הוא כ-6.5 ס"מ, הרוחב של חמישה פסי אור בתבנית ההתאבכות של האור הירוק הוא כ-6.8 ס"מ, והרוחב של שלושה פסי אור בתבנית ההתאבכות של האור האדום הוא כ-4.7 ס"מ.

ב. רוחב פס אור סגול הוא $\Delta x_{\text{סגול}} = \frac{6.5}{5} = 1.3 \text{ cm}$, של אור ירוק הוא $\Delta x_{\text{ירוק}} = \frac{6.8}{5} = 1.36 \text{ cm}$, ושל אור אדום הוא $\Delta x_{\text{אדום}} = \frac{4.7}{3} = 1.57 \text{ cm}$. מאחר ובספקטרום של האור הנראה המרכיב הצהוב מופיע בין הירוק לאדום, הרוחב של פס אור צהוב היה מקיים: $1.36 \text{ cm} < \Delta x_{\text{צהוב}} < 1.57 \text{ cm}$

23. א. נוסחת הסריג:

$$\sin \theta_n = nN\lambda$$

$$\sin 30^\circ = 4 \cdot 2500\lambda \Rightarrow \lambda = 10^{-5} \text{ cm}$$

נציב את נתוני השאלה:

אורך הגל של האור הוא 500 nm.

ב. נוסחת הסריג תקפה רק למקרה שהחריצים הם מקורות שווי מופע. זה מתרחש אם האלומה פוגעת בסריג במאונך למישור החריצים.

$$\sin \theta_n = nN\lambda$$

$$\sin 15^\circ = \lambda \cdot 500 \cdot \lambda \Rightarrow \lambda = 5.18 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$$

א. נוסחת הסריג

נציב בנוסחה את נתוני השאלה:

אורך הגל של האור
 ב. על פי נוסחת הסריג:
 $\sin \theta_2 = 2N^* \lambda = 2 \cdot 500 \cdot 5.18 \cdot 10^{-4} \Rightarrow \theta_2 \approx 31.2^\circ$ נציב בנוסחה את נתוני השאלה:

$\tan \theta_1^{\text{יוק}} = \frac{x}{L} = \frac{10}{100} \Rightarrow \theta_1^{\text{יוק}} = 5.71^\circ$.25

נוסחת הסריג
 נציב את נתוני השאלה בנוסחה:
 $\sin 5.71^\circ = 1 \cdot N^* \cdot 498 \cdot 10^{-9} \Rightarrow N^* = 2 \cdot 10^5 \text{ m}^{-1}$
 $= 2 \cdot 10 \text{ mm}^{-1}$

קבוע הסריג הוא 200 חריצים למילימטר.

.26 א. נוסחת הסריג
 נציב בנוסחה את נתוני השאלה:
 $\sin \theta_2 = 2 \cdot 5000 \cdot 480 \cdot 10^{-7} \Rightarrow \theta_2 \approx 28.7^\circ$
 ב. $\sin \theta_n = nN^* \lambda$

$\sin \theta_n \leq 1 \Rightarrow nN^* \lambda \leq 1 \Rightarrow n \leq \frac{1}{N^* \lambda} = \frac{1}{5000 \cdot 480 \cdot 10^{-7}}$

$n \leq 4.17 \Rightarrow n_{\max} = 4$

בסדר הגבוה ביותר הוא 4.

.27 א. נוסחת הסריג
 $\sin \theta_1 = 1 \cdot N^* \lambda$
 $\sin \theta_1^{\text{אדום}} = 1 \cdot 2500 \cdot 700 \cdot 10^{-7} = 0.175 \Rightarrow \theta_1^{\text{אדום}} = 10.08^\circ$
 $\sin \theta_1^{\text{סגול}} = 1 \cdot 2500 \cdot 400 \cdot 10^{-7} = 0.1 \Rightarrow \theta_1^{\text{סגול}} = 5.74^\circ$
 הזווית בין האור האדום לסגול בסדר ראשון:

$\theta_1^{\text{אדום}} - \theta_1^{\text{סגול}} = 10.08^\circ - 5.74^\circ = 4.34^\circ$

ב. לגבי סדר שני:

$\sin \theta_2 = 2N^* \lambda$
 $\sin \theta_2^{\text{אדום}} = 2 \cdot 2500 \cdot 700 \cdot 10^{-7} = 0.35 \Rightarrow \theta_2^{\text{אדום}} = 20.49^\circ$
 $\sin \theta_2^{\text{סגול}} = 2 \cdot 2500 \cdot 400 \cdot 10^{-7} = 0.2 \Rightarrow \theta_2^{\text{סגול}} = 11.54^\circ$

הזווית בין האור האדום לסגול בסדר שני:
 $\theta_2^{\text{אדום}} - \theta_2^{\text{סגול}} = 20.49^\circ - 11.54^\circ = 8.95^\circ$

.28 בסדר כלשהו (שונה מאפס) האור האדום מתקבל בזווית גדולה מהאור הסגול (נובע מנוסחת הסריג). לכן נראה בתרגיל זה שהאור האדום של הסדר השני מתקבל בזווית גדולה מהאור הסגול בסדר השלישי. נניח ש- N^* נמדד בחריצים לס"מ.

(1) $\sin \theta_2^{\text{אדום}} = 2N^* \lambda^{\text{אדום}} = 2N^* \cdot 700 \cdot 10^{-7} = N^* \cdot 1400 \cdot 10^{-7}$

(2) $\sin \theta_3^{\text{סגול}} = 3N^* \lambda^{\text{סגול}} = 3N^* \cdot 400 \cdot 10^{-7} = N^* \cdot 1200 \cdot 10^{-7}$

מקשרים (1) ו-(2) לעיל אפשר לראות כי:

$\sin \theta_2^{\text{אדום}} > \sin \theta_3^{\text{סגול}}$

$\theta_2^{\text{אדום}} > \theta_3^{\text{סגול}}$

מכאן:

29. אין מבחינים בעקיפה באיור 16 כי רוחב החריץ גדול מאוד מאורך הגל, לכן העקיפה של פס המקסימום המרכזי קטנה מאוד ולא מורגשת, והעוצמה של פסי המקסימום קטנה מאוד ולא מבחינים בהם.

30. הגדלת החריץ תגרום לכך שהזווית המאפיינת את העקיפה של פס העקיפה המרכזי תהיה קטנה יותר, ופסי האור המשניים יהיו צפופים וחלשים יותר.

31. בחיי היום-יום אין מבחינים בפסי עקיפה של אור כי העצמים בחיי היום יום גדולים בהרבה מאורכי הגל של האור, כמו כן גם המרווחים בין עצמים אלה גדולים בהרבה מאורך הגל של האור.

32. א. מתוצאות מדידות בתצלום 46 מתקבל כי רוחבו של פס האור המרכזי הוא בקירוב 4.4 ס"מ (במציאות, על פי הסרגל המופיע בתצלום), ורוחו של פס אור משני הוא בקירוב 2.2 ס"מ.

ב. פסי האור המשניים שווים ברוחבם.

ג. רוחבו של פס אור מרכזי כפול מזה של פס אור משני.

33. א. הזווית θ'_1 של נקודת צומת מהסדר הראשון מקיימת:

$$(1) \quad \sin \theta'_1 = 1 \frac{\lambda}{w} = \frac{x'_1}{L_1}$$

בהנחה שהזווית θ'_1 קטנה: $L_1 \approx L$. משוויון זה ומקשר (1) נקבל:

$$\frac{\lambda}{w} = \frac{x'_1}{L} \Rightarrow \frac{500 \cdot 10^{-6}}{0.2} = \frac{x'_1}{800}$$

$$x'_1 = 2 \text{ mm}$$

לכן:

לכן הרוחב Δx_0 של פס המקסימום המרכזי מקיים:

$$\Delta x_0 = 2x'_1 = 4 \text{ mm}$$

ב. פס מקסימום משני שווה כידוע למחצית רוחבו של פס מקסימום ראשי, דהיינו ל-2mm.

ג. במצב זה אורך הגל שווה ל"רוחב" החריץ, לכן העקיפה של פס המקסימום המרכזי תהיה מלאה..

34. א. הזווית θ'_1 של נקודת צומת מהסדר הראשון מקיימת:

$$(1) \quad \sin \theta'_1 = 1 \frac{\lambda}{w} = \frac{x'_1}{L_1}$$

בהנחה שהזווית θ'_1 קטנה: $L_1 \approx L$. משוויון זה ומקשר (1) נקבל:

$$\frac{\lambda}{w} = \frac{x'_1}{L} \Rightarrow \frac{550 \cdot 10^{-6}}{0.02} = \frac{x'_1}{1200}$$

$$x'_1 = 33 \text{ mm}$$

לכן:

לכן הרוחב Δx_0 של פס המקסימום המרכזי מקיים:

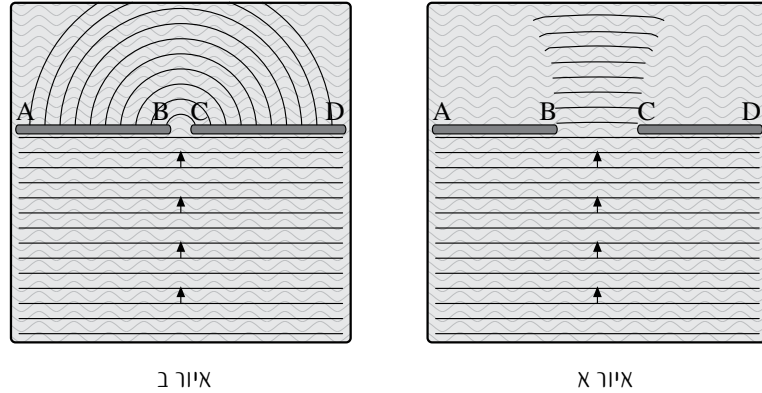
$$\Delta x_0 = 2x'_1 = 6.6 \text{ mm}$$

ב. נחשב את הרוחב בעזרת נוסחת יאנג:

$$\frac{\Delta x}{L} = \frac{\lambda}{d} \Rightarrow \frac{\Delta x}{1200} = \frac{550 \cdot 10^{-6}}{0.06}$$

$$\Delta x = 11 \text{ mm} = 1.1 \text{ cm}$$

35. סרטוט מקורב של הגלים לאחר שהם עברו בפתח BC מוצג באיורים א ו-ב שלהלן.



36. א. רוחב הפתח צריך להיות שווה ל-1.5 ס"מ או קטן מערך זה.

ב. כאשר רוחב הפתח שווה ל-15 ס"מ העקיפה של פס האור המרכזי אינה ניכרת, כי $\frac{\lambda}{w} \ll 1$.

37. א. קול הוא גל מכני. כאשר דלת החדר פתוחה - הקול שמתפשט דרך הפתח של הדלת, עוקף, ועובר לאזור "הצל הגאומטרי" שמעבר לקירות.

ב. סדר הגודל של אורך הגל של גלי קול (ששומעים בחיי היום-יום) צריך להיות בין עשרות סנטימטרים לכמה מטרים, כי ב"חריצים" בעלי רוחב מסדר גודל זה מתרחשת עקיפה.

38. גלי הים יעקפו את הספינה, ומאחוריה, במרחק מה ממנה יתפשטו גלים ללא "צל גאומטרי".

39. א. תופעת העקיפה מרחשת כאשר גל עובר ליד מחסום, והמחסום קוטע את חזית הגל.

ב. "עקיפה של גל" היא תופעה שבה גל מתפשט לאזור של "הצל הגאומטרי".

40. א. חישוב אורכי הגל של ארבעה הקווים הספקטראליים:

$$\sin \theta_n = nN\lambda$$

$$\sin 12.3^\circ = 5300 \cdot \lambda_1 \Rightarrow \lambda_1 \approx 4.02 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 402 \text{ nm}$$

$$\sin 13.2^\circ = 5300 \cdot \lambda_2 \Rightarrow \lambda_2 \approx 4.31 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 431 \text{ nm}$$

$$\sin 16.9^\circ = 5300 \cdot \lambda_3 \Rightarrow \lambda_3 \approx 5.48 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 548 \text{ nm}$$

$$\sin 17.9^\circ = 5300 \cdot \lambda_4 \Rightarrow \lambda_4 \approx 5.80 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 580 \text{ nm}$$

ב. צבע האור בסדר אפס שראה התלמיד הוא סגלגל, בדיוק בצבע שבו הנורה נראתה לו ישירות.

הסבר: על פי נוסחת הסריג, בסדר $n = 0$ לכל אורכי הגל זווית 0° עם כיוון ההתפשטות המקורי (לפני הפגיעה בסריג).

ג. חלק הספקטרומטר נצבעו בשחור כי גוף שחור בולע אור בכל אורכי הגל ובכך נמנע מאור הפוגע בספקטרומטר להיות מוחזר לעבר הסריג.

ד. כאשר התלמיד הרחיק את לוחות הספקטרומטר, הנורה לא היוותה יותר מקור אור שהוא בקירוב נקודתי, אלא מקור או מורחב. אור באורך גל מסוים הנפלט מנקודה על הנורה יצר קו ספקטלי מסדר מסוים. במקום סמוך מקום בו נוצר קו ספקטלי נוצר קו ספקטלי מאותו סדר על ידי האור שנפלט מנקודה סמוכה של מקור האור. כך מכל הנקודות של הנורה נוצרו בכל סדר n קווים ספקטליים סמוכים אשר יחד יצרו קו ספקטלי אחד רחב ורציף.

ה. (1) בניסוי עם נורת הלהט, סדר אפס נראה לבן, בדיוק כפי שהנורה נראתה לו בהסתכלות ישירה, לא דרך סריג.
(2) בסדר ראשון חל שינוי - הוא אינו מורכב מארבעה קווים ספקטרליים בדידים, אלא מרצף צבעים - החל מהסגול וכלה באדום.

41. א. הנקודה A נמצאת על קו מינימום מסדר ראשון.

$$S_1A - S_2A = \frac{1}{2}\lambda \Rightarrow 34 \cdot 33 = \frac{1}{2}\lambda \Rightarrow \lambda = 2 \text{ cm} \quad \text{לכן:}$$

ב. הנקודה B נמצאת על קו מקסימום מסדר שני, לכן הפרש מרחקיה משני המקורות הוא 2λ , כלומר 4 ס"מ.

$$v = \lambda f = 2 \cdot 25 = 50 \text{ cm/s} \quad \text{ג.}$$

ד. אם המקורות יהיו במופע מנוגד תתקבל תבנית התאבכות הפוכה לתבנית שמתקבלת כאשר המקורות שווים מופע. כלומר במקומות של קווי המקסימום יהיו קווי מינימום ולהיפך.

ה. מערכת הניסוי היא פנס המאיר על זוג חריצים צרים וקרובים. על מסך שמעבר לחריצים מתקבלת תבנית התאבכות.

ו. שני פנסים הם מקורות אור לא קוהרנטיים, כלומר הפרש המופע בין האור המגיע מפנס אחד לבין האור המגיע מהפנס האחר אינו קבוע.

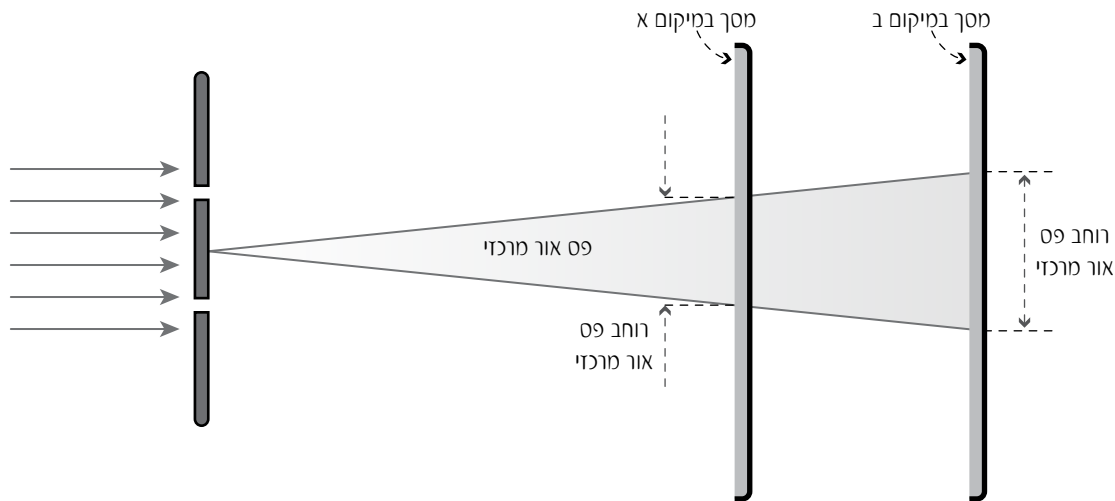
42. היתרון של שימוש באור כחול על פני אור לבן בהארת עצמים הנחקרים מבעד למיקרוסקופ הוא בכך שהעקיפה של אור כחול קטנה מזו של אור לבן. הדבר נובע מכך שאור לבן כולל גוונים שאורכי הגל שלהם גדולים מזה של אור כחול, למשל ירוק צהוב ואדום. עקיפה של אור מונעת ראייה של עצמים קטנים מאורך הגל של האור, כי האור עוקף אותם - חודר לאזור "הצל הגאומטרי" שלהם כך שלא נשאר "צל גאומטרי" לכן אי אפשר לראות אותם.

43. א. הקטנת המרחק בין החריצים תגרום לתבנית שבה פסי המקסימום רחבים יותר. אפשר להיווכח בכך בעזרת נוסחת יאנג:

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

ככל ש- d קטן - Δx גדל.

ב. הרחקת המסך תגרום לכך שפסי המקסימים יהיו רחבים יותר וחלשים יותר. אפשר לראות בעזרת האיור הבא שרוחב פס המקסימום מסדר 0 גדול יותר כאשר המסך נמצא במיקום ב מאשר בהיותו במיקום א.



כאשר מרחיקים את המסך כל פס מקסימום נפרש על פני שטח גדול יותר, כלומר אנרגיית האור נפרשת על

- פני שטח גדול יותר, לכן עוצמת ההארה (אנרגיה ליחידת שטח וליחידת זמן) קטנה.
- ג. פסי האור יהיו רחבים יותר. כי לאור אדום אורך גל גדול יותר, ומנוסחת יאנג נובע שרוחב פס אור יהיה גדול יותר.
- ד. הקטנת ערכי הרוחב של החריצים תגרום לכך שעוצמת ההארה תהיה קטנה יותר. בנוסף לכך עקיפת פס המקסימום המרכזי בתבנית העקיפה מכל חריץ תהיה גדולה יותר.
- ה. אם מחליפים את מקור האור הכחול במקור אור לבן פס האור המרכזי יהיה לבן וכל פס אחר יהיה ספקטרום רציף של כל הצבעים.
- ו. סגירת אחד החריצים תגרום לכך שתתקבל תבנית עקיפה.

44. א. נתבונן במערכת שני סריגים שיש ביניהם מרווח מסוים. נניח כי האור פוגע תחילה בסריג שחריציו אנכיים, ולאחר מכן בסריג שחריציו אופקיים.

כאשר אלומת הלייזר עוברת את הסריג הראשון, זה שחריציו אנכיים, מתקבלת סדרה אופקית של אלומות אור - פסי המקסימום בסדרים השונים. כל אלומה כזו, הפוגעת בסריג שחריציו אופקיים, יוצרת סדרה אנכית של אלומות. כל האלומות שעוברות את הסריג השני, יוצרות "רשת" אלומות שבפועל במסך יוצרות עליו תבנית התאבכות בדוגמה זו המתוארת באיור שבגוף השאלה.

ב. הסריג שחריציו מקבילים לציר ה- x אחראי לקביעת המרחקים האנכיים בין נקודות המקסימום. המרחקים האנכיים גדולים יותר מהאופקיים, לכן המרחקים האנכיים נקבעו על ידי הסריג שהקבוע שלו גדול יותר; זהו הסריג שהקבוע שלו N_2^* .

כלומר: הסריג שהקבוע שלו N_2^* - חריציו אופקיים.

ג. נחשב את המרחק האופקי, Δx_1 , בין נקודות אור סמוכות, מרחק זה נקבע כאמור על ידי הסריג שהקבוע שלו N_1^* .

$$\sin \theta_1^{(1)} = 1 \cdot N_1^* \cdot \lambda = 1000 \cdot 630 \cdot 10^{-7} = 0.063$$

$$\theta_1^{(1)} = 3.61^\circ$$

$$\tan \theta_1^{(1)} = \frac{\Delta x_1}{L} \Rightarrow \tan 3.61^\circ = \frac{\Delta x_1}{100} \Rightarrow \Delta x_1 = 6.31 \text{ cm}$$

נחשב את המרחק האנכי, Δx_2 , בין נקודות אור סמוכות:

$$\sin \theta_1^{(2)} = 1 \cdot N_1^* \cdot \lambda = 1500 \cdot 630 \cdot 10^{-7} = 0.095$$

$$\theta_1^{(2)} = 5.45^\circ$$

$$\tan \theta_1^{(2)} = \frac{\Delta x_2}{L} \Rightarrow \tan 5.45^\circ = \frac{\Delta x_2}{100} \Rightarrow \Delta x_2 = 9.54 \text{ cm}$$

עתה נחשב באמצעות משפט פיתגורס את המרחק OA:

$$OA = \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2} = \sqrt{6.31^2 + 9.54^2}$$

$$OA = 11.44 \text{ cm}$$

45. מעבירים אלומה מקבילה ומונוכרומטית דרך הסדק. על פי מידת העקיפה (הזווית שבהן מתקבלים קווי מינימום מסדר ראשון) וידיעת אורך הגל, אפשר לחשב את רוחבו של הסדק (כי $\sin \theta_1^* = \frac{\lambda}{\omega}$).

46. א. נוסחת הסריג:

$$\sin \theta_n = n N^* \lambda$$

$$\sin \theta_n = n \cdot 5000 \cdot 656.3 \cdot 10^{-7} = n \cdot 0.3282$$

$$\sin \theta_1 = 1 \cdot 0.3282 \Rightarrow \theta_1 \approx 16.16^\circ$$

$$\sin \theta_2 = 2 \cdot 0.3282 \Rightarrow \theta_2 \approx 41.02^\circ$$

$$\sin \theta_3 = 3 \cdot 0.3282 \Rightarrow \theta_3 \approx 79.88^\circ$$

$$\sin \theta_4 = 4 \cdot 0.3282$$

הסינוס של θ_4 גדול מ-1 לכן סדר רביעי לא מתקבל. סדר ראשון מתקבל בזווית 19.16° , סדר שני בזווית 41.02° וסדר שלישי בזווית 79.88° .

ב. נדרוש שסינוס הזווית בסדר ראשון של אורך הגל המרבי יהיה קטן מ-1. $\sin \theta_1 = N \cdot \lambda < 1$

$$\lambda < \frac{1}{N} = \frac{1}{5000} \text{ cm} = \frac{10^7}{5000} \text{ nm}$$

לכן:

$$\lambda < 2000 \text{ nm}$$

אפשר לבצע מדידות בעזרת ספקטרומטר זה עם אור שאורך הגל שלו קטן מ-2000 ננומטר.

47. א. אורך הגל המתאים לקו ספקטרלי ℓ_1 הוא λ_1 , כי הקו ℓ_1 מתקבל בזווית קטנה יותר מאשר הקו ℓ_2 , ושני הקווים מתקבלים באותו סדר ($n = 1$). על פי נוסחת הסריג, ככל שאורך הגל קטן יותר - הזווית קטנה יותר.

ב. נוסחת הסריג: $\sin \theta_n = nN \cdot \lambda$

הקו ℓ_1 מתקבל בזווית $\theta_1^{(1)} = 44.97^\circ$ נציג בנוסחת הסריג: $\sin \theta_1^{(1)} = 1 \cdot N \cdot \lambda_1$

$$N = \frac{\sin \theta_1^{(1)}}{\lambda_1} = \frac{\sin 44.975^\circ}{589 \cdot 10^{-6}} \frac{\text{חריצים}}{\text{מ}''\text{מ}}$$

$$N = 1200 \frac{\text{חריצים}}{\text{מ}''\text{מ}}$$

ג. נחשב את הזוויות המתאימות לסדר השני עבור אורך הגל λ_1 :

$$\sin \theta_2^{(1)} = n \cdot N \cdot \lambda_2 = 2 \cdot 1200 \cdot 586.0 \cdot 10^{-6} \approx 1.4$$

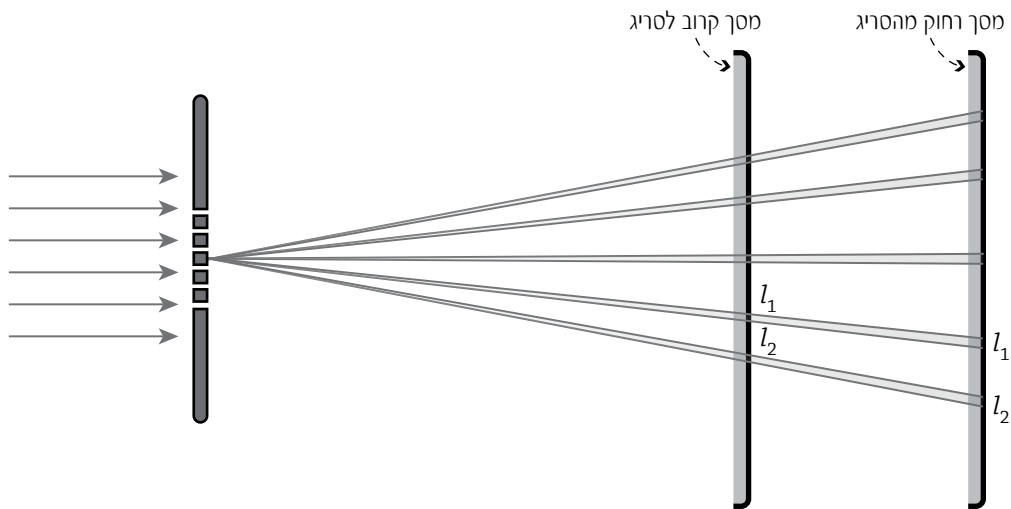
הסינוס של $\theta_2^{(1)}$ גדול מ-1, לכן סדר שני אינו יכול להתקבל.

ד. נחשב מהו קבוע הסריג שעבורו אור בעל אורך הגל 589.6 nm יתקבל בזווית 90° .

$$\sin \theta_1 = N \cdot \lambda \leq \sin 90^\circ \Rightarrow N_{\max}^* = \frac{\sin \theta_1}{\lambda} = \frac{\sin 90^\circ}{589.6 \cdot 10^{-6}}$$

$$N_{\max}^* = 1696 \frac{\text{חריצים}}{\text{מ}''\text{מ}}$$

ה. כדי להגדיל את המרווח בין שני הקווים הספקרטליים יש להרחיק את המסך מהסריג, כמתואר באיור הבא.



48. א. אפשר להסיק ששני המקורות הם מנוגדי מופע.

ב. כן, כי הפרש המופע ביניהם קבוע.

ג. הנקודה C היא נקודת המקסימום הקרובה ביותר ל-0.

מכאן ש-

$$(1) \quad CS_2 - CS_1 = \frac{1}{2}\lambda$$

נחשב באמצעות משפט פיתגורס את אורך הקטע S_2C .

$$CS_2 = \sqrt{(S_1S_2)^2 + (S_1C)^2} = \sqrt{14^2 + 48^2} = 50 \text{ cm}$$

$$50 - 48 = \frac{1}{2}\lambda \Rightarrow \lambda = 4 \text{ cm}$$

נציב את התוצאה ב-(1) לעיל:

$$(2) \quad \sin \theta_n = n \frac{\lambda}{d}$$

ד. התנאי לקו מינימום, כאשר המקורות מנוגדי מופע:

$$\sin \theta_n \leq n \frac{\lambda}{d} \leq 1 \Rightarrow n \leq \frac{d}{\lambda} = \frac{14}{4} = 3.5$$

$$n_{\max} = 3$$

לכן בכל צד של האנך האמצעי

$$2n_{\max} + 1 = 2 \cdot 3 + 1 = 7$$

מספר קווי המינימום באמבט:

ה. הסדר הגבוה ביותר של קווי המינימום הוא 3.

נחשב את הזווית θ_3 המתאימה לקו זה. על פי (2) לעיל:

$$\sin \theta_3 = 3 \frac{\lambda}{d} = 3 \cdot \frac{4}{14} \Rightarrow \theta_3 = 59^\circ$$

נסמן ב- x_3 את מרחק הנקודה O מהנקודה שבה חותך קו מינימום מסדר 3 את הקו AB.

$$\tan 59^\circ = \frac{x_3}{S_1C} = \frac{x_3}{48} \Rightarrow x_3 = 48 \cdot \tan 59^\circ \approx 79.9 \text{ cm}$$

49. א. איור ב מתאים לניסוי שנערך עם חריץ יחיד, כי על פי האיור רוחב פס האור הראשי כפול מרוחב פס אור משני,

תמונה המתאימה לעקיפה.

ב. נסמן Δx - רוחב פס מקסימום באיור א.

$$(1) \quad \Delta x = 0.6 \cdot 2 = 1.2 \text{ cm}$$

על פי איור א:

נסמן ב- x'_1 - המרחק מאמצע פס מקסימום מרכזי עד מינימום מסדר ראשון באיור ב.

(2) $x'_1 = 0.6 \cdot 3 = 1.8 \text{ cm}$ על פי איור ב:

(3) $\frac{\Delta x}{L} = \frac{\lambda_2}{d}$ נוסחת יאנג לגבי תבנית ההתאבכות (איור א):

הנוסחה לחישוב הזוויות שבהן מתקבלות נקודות מינימום מסדר ראשון בתבנית עקיפה (איור ב):

(4) $\sin \theta_1 = \frac{\lambda}{w} \approx \frac{x'_1}{L} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{w} \approx \frac{x'_1}{L}$

נציב במשוואה (3) את (1), $d = 1.25 w$, ו- $\lambda_2 = \lambda_1 - 100$. נציב במשוואה (4) את (2). את שני המשוואות שמתקבלות נחלק זו בזו. פתרון המשוואה שמתקבלת:

$$\lambda_2 = 500 \text{ nm} ; \lambda_1 = 600 \text{ nm}$$

ג. נציב ערכים בנוסחה (3) המופיעה בפתרון לסעיף ב: $\frac{\Delta x}{L} = \frac{\lambda_2}{d} \Rightarrow \frac{1.2}{120} = \frac{500 \cdot 10^{-7}}{d}$

$$d = 5 \cdot 10^{-3} \text{ cm} = 0.05 \text{ mm}$$

$$d = 1.25 w \Rightarrow 0.05 = 1.25 w$$

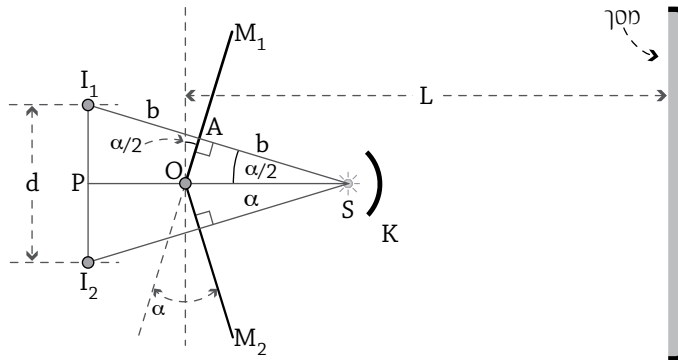
$$w = 0.04 \text{ mm}$$

50. א. אור שמקורו ב- S ופוגע בזוג מראות, מוחזר מהן ונוצרות שתי דמויות מדומות של המקור S: I_1 סימטרית ל-S

ביחס למראה M_1 , ו- I_2 סימטרית ל-S ביחס למראה M_2 . הדמויות I_1 ו- I_2 משמשות שני "מקורות" הגורמים להיווצרות תבנית התאבכות, כמתואר באיור שבתשובה לסעיף ב.

ב. נוריד אנך SA מהמקור S למראה M_1 , ונסמן את אורכו ב- b; נארך את SA כאורכו מאחורי המראה עד לדמות I_1 , כי הדמות סימטרית למקור ביחס למראה; (ראה תרשים).

נבנה את הדמות I_2 בצורה דומה (ראה תרשים). את המרחק בין I_1 ל- I_2 נסמן ב- d. נסמן את נקודת המפגש של שתי המראות באות O.



נסמן את נקודת החיתוך של המשך הקו SO עם הקו $I_1 I_2$ ב- P.

הזווית בין המראה M_1 לישר שעובר דרך O ומקביל למסך היא $\alpha/2$ (ראה תרשים).

על פי נוסחת יאנג:

כאשר L' המרחק מהקו $I_1 I_2$ למסך. כיוון ש- $a \ll L$; $L' \approx L$ לכן נוכל לרשום את נוסחת יאנג בקירוב כך:

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

נתבונן במשולש ישר הזווית OAS: $\angle AOS = 90^\circ \cdot \frac{\alpha}{2}$

$$\sin\left(90^\circ \cdot \frac{\alpha}{2}\right) = \frac{b}{a}$$

$$b = a \sin\left(90 \cdot \frac{\alpha}{2}\right) \quad \text{לכן:}$$

$$(2) \quad b = a \cos \frac{\alpha}{2} \quad \text{נתבונן במשולש } PI_1S:$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{I_1 P}{I_1 S}$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{d/2}{2b} \quad \text{לכן:}$$

$$(3) \quad d = 4b \sin \frac{\alpha}{2} \quad \text{ומכאן:}$$

$$d = 4a \cos \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\alpha}{2} \quad \text{נציב את (2) ב- (3) ונקבל:}$$

$$d = 2a \sin \alpha \quad \text{על סמך הזהות } \sin \alpha = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2}$$

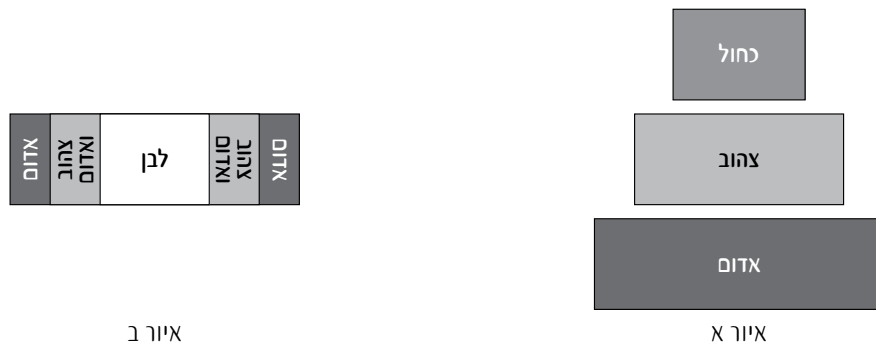
$$(4) \quad d \approx 2a\alpha \quad \text{זווית קטנה ולכן:}$$

$$\frac{\Delta x}{L} = \frac{\lambda}{2a\alpha} \quad \text{נציב את (4) ב- (1) ונקבל:}$$

$$\Delta x = \frac{\lambda L}{2a\alpha} \quad \text{לבסוף:}$$

ג. לא שני מקורות אור נפרדים הם מקורות אור שהפרש המופע ביניהם אינו קבוע, כלומר המקורות אינם קוהרנטיים.

51. נניח לשם פשטות שהאור הלבן אינו מורכב מרצף של גוונים, אלא משלושה גוונים בלבד: אדום, צהוב וכחול. ידוע כי אורך הגל של אור האדום גדול מזה של אור צהוב, ושל הצהוב גדול מזה של הכחול. לכן העקיפה של פס האור המרכזי של האור הכחול תהיה הקטנה ביותר, של האור הצהוב בינונית, ושל האור האדום הגדולה ביותר כמתואר באיור א.



באזור החפיפה של שלושת הגוונים גם יחד יתקבל אור לבן (שהרי הנחנו שהאור הלבן מורכב משלושת גוונים אלה). בשולי האור הלבן יתקבל אור צהוב יחד עם אור אדום, ובשולי תחום זה יתקבל אור אדום, כמתואר באיור ב.

52. א. הצורה היא **היפרבולה**, כי היא המקום הגאומטרי של נקודות במישור שהפרש מרחקיהן משני המקורות הוא גודל קבוע ($2a$ עבור כל הנקודות על קו מקסימום מסדר n).

ב. הנוסחה $\sin \theta_n = n \frac{\lambda}{d}$ תקפה עבור $d \gg L$, כלומר עבור נקודות על ההיפרבולה שמרחקן משני המקורות הרבה יותר גדול מהמרחק בין המקורות. נקודות אלה על ההיפרבולה קרובות מאוד לאסימפטוטות של ההיפרבולה, ונקודות על האסימפטוטה אכן נמצאות באותה זווית.