

איור 1:

התאבכות גלי קול

התאבכות גלי קול. 2 רמקולים שמשדרים בתדירות של 170 הרץ ובפאזה זהה. (כזכור מהירות הקול באוויר היא 340 מטר לשנייה)
 א. נניח כי שניהם נמצאים על אותו קו במרחק של 20 מטר אחד מהשני, מופנים אחד כלפי השני, היכן יש לעמוד כדי לא לשמוע דבר?
 ב. כעת נשים אותם אחד על השני מופנים כלפי השומע במרחק 5 מטר ממנו. לאט לאט נעלה את אחד הרמקולים במאונך לקו המחבר בין הרמקול הנייח לשומע באילו גבהים לא יישמע השומע כלום?

פתרון

א. כדי לא לשמוע דבר נרצה לעמוד בנקודה בה נוצרת התאבכות הורסת בין גלי הקול. אם אנחנו עומדים במרחק x מהרמקול השמאלי (ראה איור 1) הגל הראשון עובר מרחק x ואילו השני מרחק $L - x$ ($L = 20m$ המרחק בין הרמקולים).
 להתאבכות הורסת נרצה שהפרש הדרכים של הגלים יהיה מספר שלם של אורכי גל ועוד חצי אורך גל. כלומר:

$$(L - x) - x = L - 2x = \lambda \left(n + \frac{1}{2} \right) \Rightarrow$$

$$x = \frac{L - \lambda \left(n + \frac{1}{2} \right)}{2}$$

אורך הגל של גלי הקול הינו $2m = \frac{340}{170}m = \frac{v}{f} = \frac{2\pi v}{\omega} = \frac{2\pi}{k}$ ולכן נרצה לעמוד במרחק $x = \frac{20 - 2 \left(n + \frac{1}{2} \right)}{2}m = (9.5 - n)m$. n יכול להיות כל מספר שלם, כלומר במרחקים 0.5, 1.5, 2.5, 3.5...19.5 מהרמקול השמאלי לא נשמע דבר.

ב. נסמן את המרחק בין הרמקולים ב- a . המרחק מהרמקול התחתון לצופה הוא $x_1 = 5m$. המרחק מהרמקול העליון לצופה הוא $x_2 = \sqrt{x_1^2 + a^2}$. עבור התאבכות הורסת נדרוש כי $x_2 - x_1 = \lambda \left(n + \frac{1}{2}\right)$ נציב ונקבל:

$$\sqrt{x_1^2 + a^2} - x_1 = \lambda \left(n + \frac{1}{2}\right) \Rightarrow a^2 = \left(x_1 + \lambda \left(n + \frac{1}{2}\right)\right)^2 - x_1^2 \Rightarrow$$

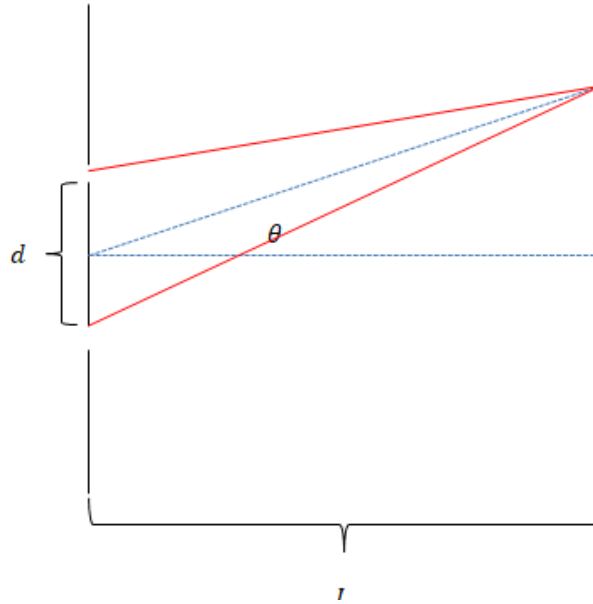
$$a = \sqrt{\lambda^2 \left(n + \frac{1}{2}\right)^2 + 2\lambda \left(n + \frac{1}{2}\right) x_1} m = \sqrt{4 \left(n + \frac{1}{2}\right)^2 + 20 \left(n + \frac{1}{2}\right)} m =$$

$$\sqrt{4n^2 + 24n + 11} m$$

כלומר הרמקולים צריכים להיות במרחק $\sqrt{4n^2 + 24n + 11}$ זה מזה (כאשר n מספר שלם) בכדי שהשומע לא ישמע כלום.

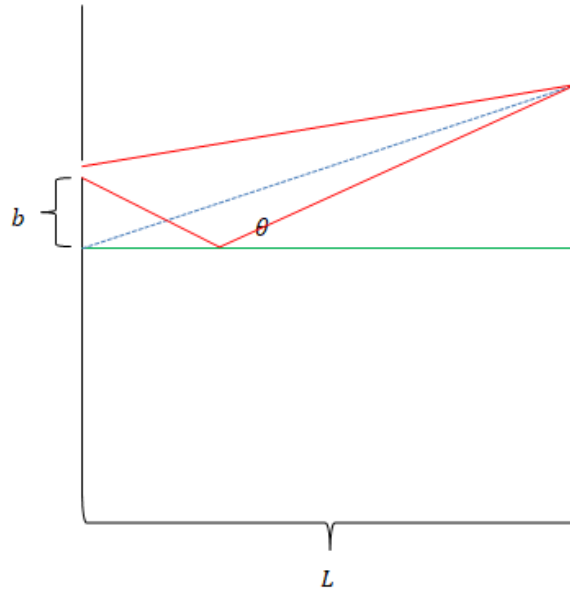
ניסויי יאנג - התאבכות משני סדקים

ניסוי יאנג בשני סדקים שהמרווח ביניהם הוא d והמרחק למסך הוא L כאשר נתון $L \gg d$. מוקרנים ע'י לייזר באורך גל λ



איור 1: שני סדקים

- מהו המרחק בין האנך המרכזי מהסדקים על המסך לבין נקודת האור המית בקירוב של זווית קטנות $\theta \ll 1$?
- מהו המרחק בין נקודות אור? ובין נקודות חושך? בקירוב זה.



איור 2: סדק ומראה

ג. כעת נקח ונשים מראה בין הסדקים מרחק b מהסדק העליון. נסתכל רק על המסך שמעל המראה. היכן יהיו נקודות אור? מה המרחק ביניהן? (בקירוב זוויות קטנות)

פתרון:

א. ע"פ עקרון הוייגנס ניתן להסתכל על כל סדק כמקור אור חדש. המרחק שהאור עובר מהסדק העליון, l_+ להתחתון l_- ועד לנקודה שנמצאת בזווית θ לאנך מהמרכז בין שני הסדקים לאנך הינו:

$$l_{\pm} = L \sqrt{1 + \left(\tan \theta \mp \frac{d}{2L} \right)^2} \approx L \frac{1}{\cos \theta} \mp \frac{d}{2} \sin \theta$$

כאשר השתמשנו בפיתוח לסדר ראשון של טור טיילור עבור $\frac{L}{d}$ סביב 0 ובכך ש $1 + \tan^2 \theta = \frac{1}{\cos^2 \theta}$. הפרש המרחקים הינו:

$$\Delta l = l_- - l_+ = d \sin \theta$$

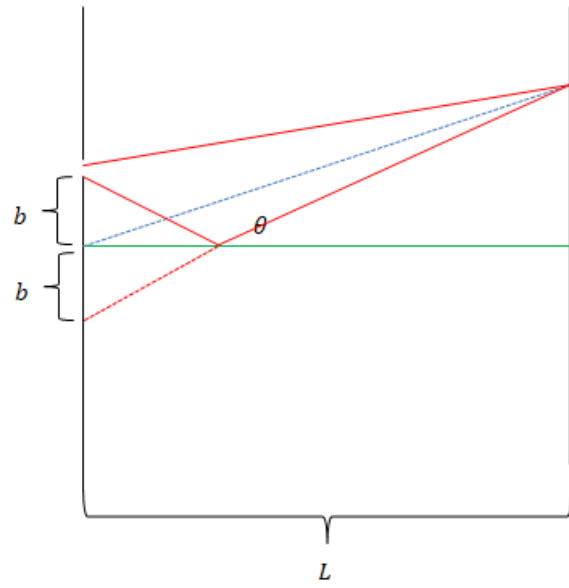
התאבכות בונה תתרחש כאשר שני הגלים יגיעו באותה פאזה, כלומר כאשר ההפרש יהיה מספר שלם של אורכי גל:

$$\Delta l = n\lambda$$

כאשר n מספר שלם. נקודות אלו הן נקודות האור. נקודת האור ה- n ית תקבל בזוית $\theta = \arcsin \frac{n\lambda}{d}$ כלומר במרחק $L \tan \theta$ מהאנך המרכזי. בקירוב של זוויות קטנות נקבל כי מרחק זה הינו $\frac{n\lambda L}{d}$.
 ב. המרחק בין נקודות האור $\frac{\lambda L}{d}$ (זה המרחק בין נקודת האור ה- n וה- $n-1$).
 נקודות החושך יתקבלו כאשר הפרש המרחקים יהיה שווה למספר שלם של אורכי גל ועוד חצי אורך גל:

$$\Delta l = \left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

כלומר כאשר $\theta = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d}$ או $\sin \theta \approx \theta = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d}$ במרחק $L \tan \theta \approx \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda L}{d}$ מהאנך המרכזי.
 המרחק בין נקודות החושך אם כן זהה למרחק בין נקודות האור (באמצע בין כל שתי נקודות אור יש נקודת חושך).
 ג. כעת יש לנו גל אחד שמגיע מהסדק ישירות למסך וגל אחד שמוחזר מהמראה ומגיע למסך. הפרש הדרכים שהגלים עוברים זהה למצב שבו יש שני סדקים במרחק $2b$ זה מזה (ראה איור 3). בנוסף הגל שמוחזר מהמראה צובר פאזה של π שזו אותה פאזה שהייתה נצברת אילו היה עובר חצי אורך גל יותר.
 לכן נקודות האור יהיו במרחק $\left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda L}{2b}$ מהמראה והמרחק ביניהן יהיה $\frac{\lambda L}{2b}$.



איור 3: סדק ומראה - השוואה לשני סדקים

e_78_2_001

האנרגיה של הפוטון
היא שווה ל
האנרגיה של
האלקטרון
המתזרזז

$$h\nu = W$$

$$\Rightarrow \frac{hc}{\lambda} = W$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{hc}{W} = 2333 \text{ \AA}$$