

התאבכות ועקיפה

ספרות מומלצת:

1. E. Hecht and A. Zajac, Optics; 2.5, 4.2, 7.1-7.2, 9.1-9.2, 10.1-10.3, 14.2.
2. F. A. Jenkins and H. E. White, Fundamentals of Optics, 3rd or 4th ed.; 1, 11.1-11.3, 15.1-15.3, 16.1-16.5, 17.1-17.7, 18

ספרות נוספת:

3. The Feynman Lectures on Physics, Vol. 1; Ch. 29-30
4. F. S. Crawford, Jr., Waves, Berkeley Physics Course, Vol. 3; 9.2, 9.5, 9.6

על לייזור:

F. A. Jenkins and H. E. White, Fundamentals of Optics, **4th ed.**; 30.1, 30.2, 30.4

על מכפיל-אור:

1. M. Born, Atomic Physics; pg. 32-33.
2. H. Frauenfelder and E. Henley, Subatomic Physics; second edition p. 50

מושגים ונושאים שיש ללמוד כהכנה לניסוי:

ההפניה למקום המדויק בספרות היא המלצה בלבד

1. דרך אופטית optical path, הפרש דרכים אופטיות, הבדלי פאזה, סופרפוזיציה של גלים והתאבכות בונה והורסת (Hecht chap 7.1-7.2, Jenkins and White chap 11.1-11.3)
2. חזית גל wave-front (Hecht chap. 2.5)
3. עקרון פרמה (Hecht chap. 4.2)
4. עקרון הויגנס (Hecht chap. 4.2)
5. מהו שדה קרוב, שדה רחוק ומה ההבדל המהותי ביניהם, מהם קרובי פראונהופר ופרנל ומי מהם כללי יותר? מהו התנאי לשימוש בקרוב פראונהופר (אי שוויון הכולל את אורך הגל, רוחב סדק ומרחק אופייני) ומה משמעותו? (Hecht 10.1.1-10.1.3)
6. התאבכות של מספר מקורות אור נקודתיים (Hecht 10.1.3)
7. התאבכות מסדק יחיד:
 - פיתוח המשוואה לעוצמה כתלות בזווית (עבור קרוב פראונהופר בלבד), מה ההנחות שמניחים בפיתוח
 - כיצד נראית תמונת ההתאבכות במקרה זה?
 - חקר המשוואה – באילו זוויות יש מינימום ובאילו מקסימום
 - מהי השפעת אורך הגל ורוחב הסדק על תמונת ההתאבכות?
8. התאבכות משני סדקים:
 - מהו הביטוי המתאר את עוצמת האור כתלות בזווית (עבור קרוב פראונהופר), מה המשמעות של כל אבר?
 - כיצד נראית תמונת ההתאבכות במקרה זה?
 - חקר המשוואה (מינימום ומקסימום לוקליות וגלובליות)
 - מהי השפעת רוחב הסדק והמרחק בין הסדקים על תמונת ההתאבכות?
9. התאבכות מ N סדקים:
 - מהו הביטוי המתאר את עוצמת האור כתלות בזווית (עבור קרוב פראונהופר), מה המשמעות של כל אבר?
 - כיצד נראית תמונת ההתאבכות במקרה זה?
 - חקר המשוואה (מינימום ומקסימום לוקליות וגלובליות)

- מהי השפעת רוחב הסדק והמרחק בין הסדקים על תמונת ההתאבכות?

10. הסתכלו בספרות (Jenkins and White 18.13, Hecht 10.3.8) ונסו לאפיין את ההבדלים האיכותיים בין תמונות התאבכות המתקבלות עבור סדק יחיד בגבול של שדה קרוב (בקרום פרנל) ואלו המתקבלות עבור סדק יחיד בשדה רחוק (בשני הקרובים)

11. **(רשות)** קרוב פרנל:

- התאבכות ועקיפה בשדה קרוב
- אינטגרלי פרנל
- ספירת קרנו
- התאבכות מסדק מעגלי ומלבני

שימו לב:

ניתן להרחיב ואו לשנות חלקים מהניסוי המתואר בהמשך. אתם מוזמנים להציע מדידות נוספות/שונות שלדעתכם ניתן לערוך באמצעות המערכת העומדת לרשותכם. יש לאשר עם המדריך שינויים כאלו.

חלק א: התאבכות ועקיפה עם לייזר

המערכת הניסיונית:

לרשותכם:

1. לייזר He-Ne ($\lambda=632.8 \text{ nm}$) המורכב במערכת. לרשותכם גם לייזרים נוספים באורכי גל שונים שניתן להשתמש בהם
2. מכפילאור (גלאי עוצמת אור) היושב על זרוע הניתנת להזזה כך שניתן למדוד את עוצמת האור ברדיוס קבוע מהסדק אך בזוויות שונות.
3. מערכת ההזזה של הזרוע מחוברת לנגד משתנה, המתח על הנגד פרופורציונאלי לזווית
4. אוסף צמצמים ומסננים הניתנים להרכבה בפתח המכפילאור ובעזרתם ניתן לשלוט על עוצמת האור הנכנסת למכפילאור ובמפתח שלו.
5. מתקן למיקום הסדקים אותם נבדוק
6. אוסף שקופיות המכילות סדקים וסריגים עם פרמטרים שונים אותם אפשר לבדוק במהלך הניסוי. על חלק מהשקופיות רשומים הפרמטרים, ניתן גם למדוד אותם במיקרוסקופ אופטי.
7. סדק יחיד מתכוונן (רוחב משתנה)
8. ספק מתח למכפיל אור
9. מגבר לאות היוצא מהמכפילאור
10. ספק מתח לנגד המשתנה ולמגבר האות של המכפילאור
11. מחשב מדידה עם תוכנת D-scope בעזרתה ניתן למדוד את המתחים המייצגים את הזווית ועוצמת האור

שימו לב:

- אין להסתכל על הלייזר ישירות או לכוונו לעיין מחשש לנזק קבוע לראייה
- יש להשתמש בשקפי מגן מתאימות במהלך הניסוי
- אין לגעת בחיבור כבל המתח למכפילאור כאשר ספק המתח שלו מופעל (מתח גבוהה)
- בפתח הלייזר נמצא צמצם – כאשר לא מודדים הקפידו שיהיה סגור
- יש להדליק את הלייזר ולהשאירו דלוק כל הניסוי, כיבוי והדלקה תדירים גורמים נזק ללייזר
- אין לעבוד במתחים של מעל 800 וולט בספק המתח של המכפילאור מחשש לנזק למכפילאור

הכרת המערכת וכיול:

1. כיול המערכת

- כיילו את קריאת הזווית (אפס במד הזווית הוא אפס מתח על הנגד המשתנה) בעזרת כפתור ה-OFFSET של הנגד המשתנה. מצאו את יחס ההמרה בין הזווית והמתח על הנגד המשתנה. מהי הטעות בקריאת הזווית ומה מקורות הטעות?
- לרשותכם מוט מתכת מחודד. הניחו אותו במקום המתקן למיקום שקופיות הסדקים. קצה החוד מדמה את מרכז הסדק אותו תבדקו. הזיזו את הלייזר (בעזרת הברגים השולטים על ההטיה בציר X ו-Y), את החוד ואו את המכפיל אור כך שמקום יציאת קרן הלייזר, מרכז הסדק ומרכז המכפיל אור יהיו על אותו קו. מה חשיבותו של כיול זה?
- על מישור הסדק להיות מאונך לקו המחבר את מקום יציאת קרן הלייזר, מרכז הסדק ומרכז המכפיל אור. מדוע? השתמשו בהחזר הלייזר משקופיות הסדקים (החלק הכסוף) כדי לוודא זאת.

2. תוכנת המדידה

- הפעילו את תוכנת ה-D-SCOPE. התוכנה מאפשרת למדוד ולרשום גרף של גודל נמדד אחד יחסית לשני אך גם של כל אחד מהם מול זמן (חישבו מה יכולה לתרום לנו מדידת תלות העוצמה או הזווית בזמן).
- בתפריטים או בעזרת הכפתורים במסך הראשי ניתן לשלוט על קצב הדגימה, מספר הנקודות הכולל למדידה, וטווח הצירים. חישבו מה השיקולים לבחירת הערך של כל אחד מפרמטרים אלו.
- ודאו שאתם יודעים כיצד לשמור את המדידות.
- שני האותות (מתח על הנגד והאות המוגבר מהמכפילאור שפרופורציוני לעצמת האור) נכנסים מהמערכת לקופסא נוספת וכרטיס מחשב שתפקידם לתרגם אות דיגיטלי לאנלוגי וההפך. ודאו שגם הקופסא וגם התוכנה נמצאים באותו מצב מדידה - differential / single-ended. מה המשמעות של שני מצבי מדידה אלו?
- לחיצה על RUN מתחילה את המדידה וכעת יש לסובב את הידית על מנת לבצע סריקה של עוצמת האור בזוויות שונות.

ביצוע הניסוי:

1. מדידה ראשונית

- הניחו צמצם (מהצרים יותר) בפתח המכפיל אור.
- השתמשו באחת מהשקופיות של סדק יחד
- החשיכו את החדר ככל שניתן
- בצעו סריקה ונסו לקבל את תמונת ההתאבכות הטובה ביותר שניתן לקבל.
- כדי לקבל את התמונה הטובה ביותר עליכם לוודא שהמערכת מכוילת היטב ולהגיע למצב שבו יחס האות-רעש הוא מקסימאלי.
- דונו ביניכם ועם המדריך אלו פרמטרים ניתן לשנות כדי להגיע לכך ומה המשמעות של שינוי הפרמטרים האלו. ניתן לשנות הכול במערכת (הגברים, צמצמים, מסננים, פרמטרים בתוכנה, סדקים וכו').
- שימו לב – היו ערים במהלך כל הניסוי להבדלים איכותיים בין תמונת ההתאבכות שקבלתם ותמונת ההתאבכות התיאורטית. אם קיימים כאלו הבדלים ודאו שהם לא אפקטים של המערכת (קיימים הרבה כאלו) ונסו להסביר מה הגורמים להם.
- העריכו את השגיאה בציר X ובציר Y.

2. סדק יחד

- בדקו את הגדלים האופייניים במערכת והשתמשו בתנאי לקרוב פראונהופר על מנת לקבוע באיזה גבול נמצאת המערכת. זכרו כי את רוחב הסדק ואורך הגל ניתן לשנות (במגבלות הציוד). האם יש השפעה לשינוי המרחק בין מקור האור והסדק כאשר מקור האור הוא לייזר?
- רשות: מה בכל זאת ניתן לעשות כדי להביא את המערכת לגבול של שדה קרוב?

- בדקו את השפעת רוחב הסדק ואו את השפעת אורך הגל על תמונת ההתאבכות. כיצד אלו אמורים להשפיע לפי התיאוריה?
- חלצו מהמידות ומהידוע לכם על התיאוריה את אחד מהפרמטרים המאפיינים את המערכת (אורך גל, רוחב סדק) והשוו לנתונים הידועים לכם.
- בצעו בבית התאמה לתיאוריה, וחלצו שוב את אותו הפרמטר מההתאמה.

3. שני סדקים

- עברו כעת לשקופיות של שני סדקים
- בדקו את השפעת רוחב הסדקים על תמונת ההתאבכות
- בדקו את השפעת המרחק בין הסדקים על תמונת ההתאבכות
- האם יש הבדלים איכותיים בין תמונת ההתאבכות שקבלתם ותמונת ההתאבכות התיאורטית עבור שני סדקים. אם כן ממה נגרמים הבדלים אלו – הוכיחו את טענתכם.
- רשות: גם כאן ניתן לבדוק את השפעת אורך הגל על תמונת ההתאבכות.
- חלצו מהמידות ומהידוע לכם על התיאוריה את אחד מהפרמטרים המאפיינים את המערכת (אורך גל, רוחב סדק, מרחק בין סדקים) והשוו לנתונים הידועים לכם.
- בצעו בבית התאמה לתיאוריה, וחלצו שוב את אותם הפרמטרים מההתאמה.

4. N סדקים

- לרשותכם שקופיות שבהן מספר הסדקים גדול מ 2. בדקו כמה שקופיות כאלו ונסו לזהות את המבנה שבין שתי מקסימות ראשיות (מקסימות משניות).
- לרשותכם גם שקופית נפרדת עם מספר סריגים ($1 < N$). השתמשו במקרא כדי לזהות את הסריג שבו נתונה רק צפיפות הסדקים (25 למ"מ, מספר הסדקים בו משתמשים אינו ידוע ותלוי ברוחב האפקטיבי של הקרן). מדדו את תמונת ההתאבכות בסריג זה. האם היא תואמת למה שאמור להתקבל עבור סריג כזה לפי התיאוריה?
- חלצו את רוחב הסדקים מהמידות והידוע לכם על התיאוריה.
- נסו לבצע בבית התאמה לתיאוריה, חלצו את הפרמטרים של הסריגים.