

## תופעות קיטוב

### ספרות מומלצת:

1. E.Hecht and A.Zajac, Optics; 2.3, 2.5, 8.1 – 8.1.4 , 8.2 – 8.7
2. F.A.Jenkins and H.E.White, Fundamentals of Optics, 3rd or 4th ed.; chapters 24, 25.1-25.2
3. Laboratory Physics, Berkeley, Part B., B10, B11.
4. F.S. Crawford, Jr, Waves. Berkeley Physics Course, Vol. 3 Ch. 8
5. G. Bekeffi and A.H. Barrett, Electromagnetic Vibrations, Waves and Radiation.
6. The Feynman Lectures on Physics, Vol. I, Ch. 33

ספרות נוספת

### מושגים ונושאים שיש ללמוד כהכנה לניסוי:

#### ההפניה למקום המדויק בספרות היא המלצה בלבד

1. כיצד מגדירים פאזה של גל (Hecht 2.3 page 17)
2. גלים מישוריים (Hecht 2.7 page 32)
3. קיטוב ליניארי, מעגלי (שמאלי וימני) ואליפטי:
  - מהם יחסי הפאזה והאמפליטודות בין רכיבי השדה החשמלי בכל אחד מהקיטובים האלו
  - מהן המשוואות המתארות את רכיבי השדה החשמלי בכל אחד מהם
  - כיצד קיטוב ליניארי מתקבל כסכימה של קיטובים מעגליים, וההפך
4. מהי תופעת ה DICHROISM?
  - כיצד מערך של חוטים מוליכים מקבילים יוצר קיטוב
  - כיצד מגדירים ציר אופטי בחומרים כאלו (Hecht 8.3.2 page 348)
  - כיצד עובד מקטב ליניארי מסוג פולרואיד (Hecht 8.3.3 page 349)
5. מהו חוק מאלוס למעבר אור דרך שניים ושלושה מקטבים ליניאריים? מה יקרה אם נוסיף בין שני מקטבים בעלי צירים אופטיים ניצבים, מקטב שלישי?
  - 6. מהי תופעת ה BIREFRINGENCE?
    - במה מתבטאת האנאיזטרופיה של גבישים כאלו
    - כיצד האנאיזטרופיה הזו משפיעה על התקדמות הגל בחומר כזה מבחינת אינדקס השבירה לרכיבים השונים ומהירות התקדמות הרכיבים השונים של הגל? מדוע?
    - כיצד מגדירים בחומרים כאלו: ציר אופטי, o-ray, e-ray
    - תנו דוגמא לחומרים כאלו
    - מהוא המדד לחוזק התופעה (Hecht 8.4.2 page 375)
    - Double refraction (Hecht page 353)
7. לוחיות רבע וחצי גל (retardors, Hecht 8.7 page 366)
  - הסבירו את עיקרון הפעולה של לוחיות רבע וחצי גל
  - מהי המשוואה לפיה אפשר למצוא את העובי של לוחית רבע גל וחצי גל עבור אורך גל מסוים
  - מה יהיה כוון הציר האופטי בתוך דסקה של חומר אנאיזטרופי כזה כדי שהדיסקה תתפקד כלוחית רבע או חצי גל ומדוע?
  - מה קורה כאשר קיטוב ליניארי נכנס בזווית כלשהי יחסית לציר האופטי של לוחית חצי גל?
  - מה קורה כאשר קיטוב ליניארי נכנס בזווית כלשהי יחסית לציר האופטי של לוחית רבע גל?
  - מה קורה כאשר קיטוב ליניארי נכנס בזווית 45 מעלות יחסית לציר האופטי של לוחית רבע גל?

8. קיטוב ע"י החזרה מתווך דיאלקטרי (Hecht 8.6 page 363)

- הגדירו מהו מישור הפגיעה
- מדוע יש החזרה מתווך דיאלקטרי?
- מהי זווית ברוסטר ומדוע בזווית זו הרכיב המוחזר המקביל למישור הפגיעה נעלם לחלוטין
- מהן משוואות פרנל, כיצד מתנהגת אמפליטודת הרכיב הניצב והמקביל למישור הפגיעה כפונקציה של זווית הפגיעה?

**רשות: 9.** לוחיות רבע וחצי גל בגלי מיקרו

(Laboratory Physics, Berkeley B10-91 last paragraph up to B10-96, B11)

- התקדמות גלי מיקרו דרך תווך שבין שני לוחות מתכתיים מקבילים (תנאי שפה, המשוואות המתארות את השדה החשמלי בכוון Y, הקשר בין אורך הגל בתוך התעלה ומחוץ לה)
- כיצד משנים קיטוב של גלי מיקרו מקוטבים ליניאריים ע"י מעבר בתווך שבין שני לוחות מתכתיים מקבילים, המשוואה לפאזה הנצברת במעבר כתלות באורך הלוחות והמרחק ביניהם.

שימו לב:

- במהלך כל הניסוי שימו לב לסטיות של התוצאות שקיבלתם ממה שצפוי תיאורטית. בכל מקרה שבו יש כאלו עליכם קודם כל לזהות אותן ולאחר מכן לנסות לשער מה הגורמים האפשריים לסטיות אלו. בדקו ניסיונית את ההשערות האלו כדי להוכיח/ להפריך אותן.
- 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: קיטוב באור נראה (לייזר)

#### המערכת הניסיונית:

לרשותכם:

1. לייזר He-Ne או solid state (שימו לב לאורך הגל של הלייזר, לוחיות הרבע וחצי גל מתאימות רק לאורך גל מסוים)
2. גלאי פוטו וולטאי הממיר את עוצמת האור לזרם חשמלי
3. מד זרם
4. מחשב (ניתן בחלק מהמחשבים לחבר את מד הזרם למחשב)
5. מקטבים ליניאריים שניתן לקרוא בהם זווית
6. מעקבים (retarders): לוחיות רבע וחצי גל (לא יודעים איזה לוחית היא רבע/ חצי גל- את זה תבדקו לבד)
7. לוחות דיאלקטרים (PMMA או בקיצור פרספקס), ניתן לברר את מקדם השבירה שלהם בחוברות שנמצאות במעבדה
8. ספסל אופטי קבוע
9. ספסל אופטי עם גוניומטר (לחלק של החזרה מתווך דיאלקטרי) אליו מחובר ספסל אופטי נוסף שמסלולו נמצא בקו רדיאלי וניתן לסובבו סביב ציר הגוניומטר.
10. גבישי Calcite

## שימו לב:

- אין להסתכל על הלייזר ישירות או לכוונו לעיניו מחשש לנזק קבוע לראייה
- יש להשתמש בשקפי מגן מתאימות במהלך הניסוי
- בפתח הלייזר נמצא צמצם – כאשר לא מודדים הקפידו שיהיה סגור
- יש להדליק את הלייזר ולהשאירו דלוק כל הניסוי, כיבוי והדלקה תדירים גורמים נזק ללייזר
- יש לתת ללייזר לפחות רבע שעה לעבוד לפני תחילת המדידות על מנת שיגיע למצב יציב

### 1. הכרת המערכת

- כיצד ניתן באופן גס לקבוע את כוון הקיטוב של מקטב ליניארי בעזרת הסתכלות על אור מוחזר ממשטח לא מתכתי? ניתן להיעזר במקטב שבו כיוון הקיטוב נתון.
- לפני השימוש בלייזר עליכם להכיר את אופיו של האור הנפלט ממנו: האם האור של הלייזר מקוטב או לא? כיצד תבדקו זאת? אם כן איזה קיטוב יש לו? זכרו זאת בהמשך הניסוי – קחו זאת בחשבון וחישבו כיצד זה יכול להשפיע על הניסוי.
- ישנם במעבדה גם לייזרים שהקיטוב שלהם משתנה בזמן (אלו שכתוב עליהם random R) פתח התא הפוטו-וולטאי הוא בעל עומק מסוים הקפידו שקרן הלייזר תיכנס בדיוק במרכז כך שכל הקרן תגיע לגלאי ולא תחזיר מדפנות הפתח
- בדקו מהו האפס / OFFSET של הגלאי ומד הזרם
- הקפידו לבדוק מה הטעות במדידת העוצמה בכל אחד מהניסויים

### 2. חוק מאלוס עבור שני מקטבים

- מדדו את השתנות עוצמת האור העובר דרך שני מקטבים ליניאריים כפונקציה של הזווית ביניהם
- איזה מקטב כדאי לסובב (הקרוב או הרחוק מהלייזר) ומדוע?
  - באיזה זווית כדאי לשים את המקטב שנשאר קבוע ומדוע (יחס אות רעש)?
  - באיזה אינטרוול של זווית תסובבו את המקטב, ומה זווית הסיבוב הכוללת – מה השיקולים לכך?
  - שרטטו גרף של עוצמה כפונקציה של זווית והשוו לתיאוריה

### 3. חוק מאלוס עבור שלושה מקטבים

- מדדו את השתנות העוצמה של האור העובר דרך שלושה מקטבים ליניאריים כפונקציה של הזווית ביניהם כאשר שניים מהמקטבים ניצבים זה לזה
- איזה מקטב כדאי לסובב ומדוע?
  - באיזה זווית כדאי לשים את המקטב שנשאר קבוע ומדוע (יחס אות רעש)?
  - כיצד תוודאו ששניים מהמקטבים באמת ניצבים זה לזה?
  - גם כאן חישבו באיזה אינטרוול זווית תסובבו את המקטב ומה זווית הסיבוב הכוללת
  - שרטטו גרף של עוצמה כפונקציה של זווית והשוו לתיאוריה

### 4. לוחיות רבע וחצי גל

- בחלק זה נבדוק מה קורה לאור מקוטב ליניארי העובר דרך לוחית רבע וחצי גל.
- את השינויים בקיטוב של האור הנכנס ללוחית בודקים בעזרת מקטב נוסף המוצב בין הלוחית והגלאי. לאיזה התנהגות של העוצמה כפונקציה של זווית המקטב הזה תצפו במקרה שהלוחית היא לוחית רבע גל או חצי גל? כיצד קיטוב ליניארי, אליפטי ומעגלי יראו בגרף פולארי?
  - על מנת להשתמש בלוחיות הרבע וחצי גל ואו לדעת כיצד השתנה הקיטוב של האור הנכנס ללוחית יש לדעת את כוון הציר האופטי יחסית לקיטוב הנכנס ללוחית. חישבו כיצד תדעו את כוון יחסית למקטב שמציבים לפני הלוחית בעזרת מקטב נוסף.
  - באיזה זווית כדאי לשים את המקטב שנשאר קבוע ומדוע?
  - כיצד תגלו איזה לוחית היא רבע גל ואיזה חצי גל?
  - נסו ליצור קיטוב מעגלי מושלם. שנו במעט את זווית הקיטוב יחסית לציר האופטי ובדקו את השינויים בקיטוב.

- בדקו מה קורה לקיטוב ליניארי במעבר דרך לוחית חצי גל במספר זוויות יחסית לציר האופטי והסבירו את התוצאות.
- 5. החזרה מתווך דיאלקטרי בחלק זה נבדק מה קורה לאור מקוטב ליניארי הפוגע בתווך דיאלקטרי בניצב ובמקביל למישור הפגיעה כפונקציה של זווית הפגיעה.
- בחלק זה משתמשים בספסל האופטי עם הגנוימטר. על הגנוימטר מרכיבים תווך דיאלקטרי כך שניתן לשנות בעזרת סיבוב הגנוימטר (והגלאי בהתאם) את זווית הפגיעה בתווך הדיאלקטרי.
- עבור כל זווית פגיעה יש למדוד את הרכיב הניצב והמקביל למישור הפגיעה המוחזרים מהתווך הדיאלקטרי. כיוון ששני הרכיבים מוחזרים מהתווך יש לברור אחד מהם בעזרת מקטב נוסף שכוונו ידוע ומוצב בין הגלאי והתווך הדיאלקטרי.
- שימו לב ששני המשטחים של הלוח הדיאלקטרי שלרשותכם אינם מקבילים – מדוע?
- הגדירו את מישור הפגיעה במערכת לפני תחילת המדידה.
- האם יש צורך במקטב נוסף המוצב בין הלייזר והתווך הדיאלקטרי? במה יכול לעזור מקטב כזה ובאיזו זווית נציב אותו?
- בצעו מדידה של עוצמת הרכיב המקביל והניצב המוחזרים מהתווך כפונקציה של זווית הפגיעה
- התאימו את התוצאות לתיאוריה
- מצאו את זווית ברוסטר ואת מקדם השבירה של התווך הדיאלקטרי בו השתמשתם.

### **הרחבות - רשות: דרכים נוספות ליצור/ לשנות קיטוב:**

- אפקט פאראדיי (Hecht 8.11.2 page 381, גלים ואופטיקה כרך ד' (הפתוחה) עמוד ~260)  
Verdet constant  $MR3-2 @ 632.8 = 96 \text{rad/Tm}$ ,  $@ 532 = 138 \text{rad/Tm}$
- מעבר אור דרך תמיסה כיראלית  
Specific rotation D-glucose (mixed enantiomers in equilibrium)  $+52.7^\circ$  (conc.=10%,  $20^\circ\text{C}$ )
- מדידת עובי וסדר לוחית גל  
Thorlab 632.8 HWP – thickness 1.01359mm, order number  $m=14 (+2\pi m)$   
Thorlab 632.8 QWP – thickness 0.96611mm, order number  $m=14 (+2\pi m)$
- קיטוב דרך מספר לוחיות גל עוקבות - לפי מטריצות ג'ונס
- Liquid Crystal
- פוטואלסטיות
- פעולת לוחית גל על אורכי גל שונים
- איך פיזור יוצר קיטוב Hecht 8.5 page 361
- קיטוב בגלי מיקרו

### **הרחבת רשות: קיטוב בגלי מיקרו**

#### **המערכת הניסיונית:**

לרשותכם:

- משדר וגלאי גלי מיקרו היושבים על מסילה עם סרגל
- ניתן לסובב את הגלאי והמשדר מסביב לציר לאורכו נכנסת/ יוצאת הקרינה ולקרוא את הזווית. מתקן עם שני לוחות מתכת שניתן לשנות את המרחק ביניהם המתפקד כלוחית רבע או חצי גל בהתאם למרחק הזה.
- סריג מתכתי המתפקד כמקטב ליניארי.
- מד מתח
- תוכנת מחשב למדידת מד המתח (לא בכל המערכות)
- ניתן לקרוא את חוברת היצרן המצורפת על מנת להכיר את המערכת טוב יותר

## הכרת המערכת:

- על המשדר רשום התדר של גלי המיקרו, חשבו את אורך הגל.
- הסתכלו פנימה למשדר ולגלאי (בלי לפרק) ונסו להבין כיצד הם עובדים
- מה אופייה של הקרינה היוצאת מהמשדר (מבחינת הקיטוב שלה) – אמתו את השערתכם על ידי סיבוב המשדר או הגלאי אחד יחסית לשני
- על הגלאי יש בורר הגבר, בדקו בניסוי באיזה תחום משתנה העוצמה ובחרו בהתאם את הסקאלה. חשוב שבמשך כל המדידה הסקאלה תהיה זהה.
- בגלאי יש גם כפתור OFFSET בעזרתו ניתן לכייל את העוצמה, בדקו מהוא האפס של המכשיר (איזה ערך הוא נותן כאשר המשדר כבוי?)
- הגלאי מופעל על סוללה. בזמן שאינכם מודדים **כבו אותו**.
- על הגלאי והמשדר מורכבים שופרות (horns) העשויים חומר מוליך. לפי הידוע לכם מהתיאוריה (אם ביצעתם את ניסוי התאבכות), כיצד זה משפיע על הגלים שמשדר המשדר ועל המדידה שמבצע הגלאי?
- האם החלקים במערכת, בסביבתה הקרובה ואתם עצמכם מחזירים/בולעים/מעבירים גלי מיקרו אלו? כיצד זה ישפיע על המדידות.
- היזכרו שוב מדוע הסריג המתכתי מתפקד כמקטב ליניארי
- הקפידו לבדוק מה הטעות במדידת העוצמה בכל אחד מהניסויים

### 1. חוק מאלוס בשני מקטבים

מדדו את השתנות עוצמת גלי המיקרו העוברים דרך שני מקטבים ליניאריים כפונקציה של הזווית ביניהם

- האם יש צורך בסריג המתכתי כדי לבצע את הניסוי? מדוע?
- בצעו התאמה של התוצאות לתיאוריה

### 2. חוק מאלוס בשלושה מקטבים

מדדו את השתנות העוצמה של גלי המיקרו העוברים דרך שלושה מקטבים ליניאריים כפונקציה של הזווית ביניהם כאשר שניים מהמקטבים ניצבים זה לזה

- חישבו את מה לסוכב יחסית למה כך שתקבלו התנהגות של מאלוס שלושה מקטבים (כאשר שניים מהמקטבים ניצבים)
- בצעו התאמה של התוצאות לתיאוריה

### 3. לוחיות רבע וחצי גל

בחלק זה ניצור לוחיות רבע וחצי גל בעזרת שני לוחות מתכתיים מקבילים לפי מה שלמדתם בסעיף 9 ברקע התיאורטי

- חשבו את המרחק שצריך להיות בין הלוחות על מנת שהם יתפקדו כלוחית רבע גל
- באיזו זווית צריך להיות המשדר על מנת שנקבל קיטוב מעגלי?
- שנו את המרחק בין הלוחות עד שתקבלו את הקיטוב המעגלי הטוב ביותר, האים יש התאמה בין המרחק שחישבתם והמרחק עבורו קיבלתם את התוצאות הטובות ביותר?
- חשבו את המרחק שצריך להיות בין הלוחות על מנת שהם יתפקדו כלוחית חצי גל
- בדקו מה קורה לקיטוב ליניארי במעבר דרך לוחית חצי גל במספר זוויות יחסית למישור הלוחות והסבירו את התוצאות.