

שדות וגלים – תרגיל סימולציה 2

בתרגיל זה נשתמש בשפת Python כדי להציג בצורה ויזואלית תופעות גליות הנלמדות בקורס. יש להגיש את העבודה בפורמט PDF, כאשר יופיעו בו ביטויים מתמטיים (לא בכתב יד), הקוד אותו תכתבו והתוצאות. העבודה תיעשה בזוגות או בבודדים ותאריך ההגשה יהיה עד ה-18.6.2021.

חלק א – קיטובים

בחלק זה נתרגל הבנה של קיטוב גלים, ושל המונחים שלמדנו בנושא. שימו לב כי פייתון תומכת במספרים מרוכבים, לדוגמה $z = 2 + 6j$ יתקמפל ויתנהג כפי שמצופה. וגם `math.e**1j` לדוגמה.

א. בתרגול בנושא קיטובים, ראינו את צורת הכתיב הבאה:

$$\vec{E} = \begin{pmatrix} A_p \\ A_s e^{j\delta} \end{pmatrix} e^{j(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})}$$

(תזכורת: האיבר הראשון בווקטור מייצג את הקיטוב בכיוון \hat{p} והאיבר השני בכיוון \hat{s})
הסבירו את משמעות הכיוונים הללו, וכיצד ייצוג זה מאפשר לנו להבין את הקיטוב של גל. התייחסו לגדלים A_p, A_s, δ , והסבירו כיצד הם משפיעים על 3 סוגי הקיטובים שנלמדו.

ב. כאשר A היא הספרה השלישית של תעודת הזהות של השותף הראשון, ו-B היא הספרה הרביעית בתעודת הזהות של השני, תקבלו:

$$\begin{cases} A_p = B, A_s = 0, & \text{if } A \bmod 4 = 0 \\ A_p = A_s = B, \delta = -\frac{\pi}{2}, & \text{if } A \bmod 4 = 1 \\ A_p = B, A_s = A, \delta = \frac{\pi}{2}, & \text{if } A \bmod 4 = 2 \\ A_p = A_s = B, \delta = -\frac{5\pi}{4}, & \text{if } A \bmod 4 = 3 \end{cases}$$

כתבו את השדה שקיבלתם לפי הסימון מסעיף א', השאירו את הסבירו מהו סוג הכיטוב של השדה שקיבלתם (לינארי, מעגלי ימני/שמאלי, אליפטי ימני/שמאלי). השאירו את $\omega, t, \vec{k}, \vec{r}$ בתור פרמטרים.

ג. עבור השדה שקיבלתם בסעיף הקודם, כתבו פונקציה בשפת Python, אשר מקבלת זמן t ותדירות זוויתית ω ומחזירה את כיוון השדה החשמלי בזמן זה במערכת הצירים \hat{p}, \hat{s} (ניתן להחזיר tuple, list או כל טיפוס שיענה על הדרישות, לבחירתכם).

ד. כעת היעזרו בפונקציה מסעיף ג' וכתבו קוד המציג את השדה החשמלי הנ"ל במערכת הצירים \hat{p}, \hat{s} (עבור \vec{r} כלשהו לבחירתכם) בכמה זמנים שונים לבחירתכם. שימו לב כי גודל השדה הוא החלק הממשי של הביטוי בסעיף א'. צרפו את הקוד (כתמונה) ואת הגרפים המתקבלים לקובץ ההגשה. כאשר ערכי הזמן t , התדירות זוויתית ω וערכו של \vec{r} יציבו שם. שימוש ב quiver נדרש.

ה. הסבירו את התוצאות שקיבלתם בסעיף ד' לפי התשובה שעניתם בסעיף ב'.

חלק ב – עקיפת גלים

בחלק זה נבין דוגמה לסימולציה של עקיפת פראונהופר לפי השלבים לפתרון שנלמדו בתרגול.

א. כתבו את הקירובים שיש להניח כדי להשתמש בנוסחה לעקיפת פראונהופר.

ב. כתבו באופן מפורש את הנוסחה לעקיפת פראונהופר (הביטוי לשדה במרחק z מהחלון $E(\vec{x}, z)$). בנוסף, כתבו את הנוסחה ע"י שימוש ב- $E_{sphere}(\vec{x}, z)$, $S(\vec{v})$, וציינו את הביטויים עבורם.

נעבור לסימולציה, שימו לב כי לשם הסימולציה נקפיד על גדלים במיקרומטרים. באתר הקורס ישנו קובץ faunhofer.py הורידו אותו והשלימו את החסר בו (החסרים מסומנים ב ??? #). בכל סעיף בו אתם משלימים קוד הוסיפו צילום מסך של הקוד שהשלמתם.

ג. נקבע: $z = 1m$ (מטר, המירו למיקרונים) ואורך הגל יהיה לפי ת"ז של בני הזוג בצורה הבאה: $\lambda = 6BA \text{ nm}$ (מספר תלת ספרתי כאשר ספרת האחדות היא A, ספרת העשרות היא B וספרת המאות היא 6, ולא כמכפלה!). השלימו גם את מספר הגל k.

ד. כעת תצרו את פונקציית ההעברה בחלון. הסעיפים יתחלקו לפי B (הספרה הרביעית בתעודת הזהות של השותף השני) וצורת החור שתדרשו לייצר תהיה (ראו תמונה בהמשך להמחשה):

1. אם $B \bmod 3 = 0$, אזי החלון שלכם יהיה ריבוע שקוף (פוני' ההעברה T היא 1 בתוכו), ארוך צלעו 1000 מיקרון, ומרכזו בראשית u,v.

2. אם $B \bmod 3 = 1$, אזי החלון שלכם יהיה עיגול שקוף (פוני' ההעברה T היא 1 בתוכו), בעל רדיו 500 מיקרון, ומרכזו בראשית u,v.

3. אם $B \bmod 3 = 2$, אזי החלון שלכם יהיה שני חריצים מלבניים שקופים (בהם $T = 1$), רוחב כל חריץ צלעו 1000 מיקרון, אורכו יהיה 12 מילימטר ומרכזו בראשית u,v.

ה. עבור החלון שקיבלתם, הוציאו מהערה את הפונקציה המתאימה (לדוגמה עבור B מתחלק ב3 תשתמשו בפונקציית rect(u), מי שקיבל פונקציה זו מומלץ להיעזר בתרגול על עקיפה כדי לבנות את החלון המתאים). השלימו את הפונקציה כך שתחזיר 1 או 0 לפי הערכים שיגרמו למטריצה T בהמשך לתאר את פונקציית ההעברה (ראו סעיף הבא).

ו. כעת השלימו את בניית מטריצה T בשורה 44. היעזרו בפונקציה שכתבתם בסעיף הקודם.

ז. הוגדר $E_{inc} = 1$, השלימו את E_0 בקוד (שורה 61) כדי ליצור את $E(u, v, 0)$ שאנו מצפים.

ח. (סעיף הסבר) חישוב $S(\vec{v})$ נעשה עבורכם, ע"י טרנספורמצית פורייה דו ממדית. כאשר אנו יודעים כי הקשר בין $\vec{x} = (x, y)$ לבין \vec{v} (זהו לא v אלא האות היוונית "ני") הוא $\vec{v} = \frac{\vec{x}}{\lambda z}$. בקוד החלפת המשתנים הזו נעשתה ע"י zoom in על המטריצה המייצגת את S. דבר זה נעשה לשם פישוט הקוד ולכן נלקח ערך כלשהו בתור פקטור הזום אין כך שגודל הצורה המוקרנת על המסך שתקבלו בסוף התרגיל לא בהכרח מייצגת את הגודל בעולם האמיתי, אך הצורה עצמה, או התבנית, תהיה נכונה.

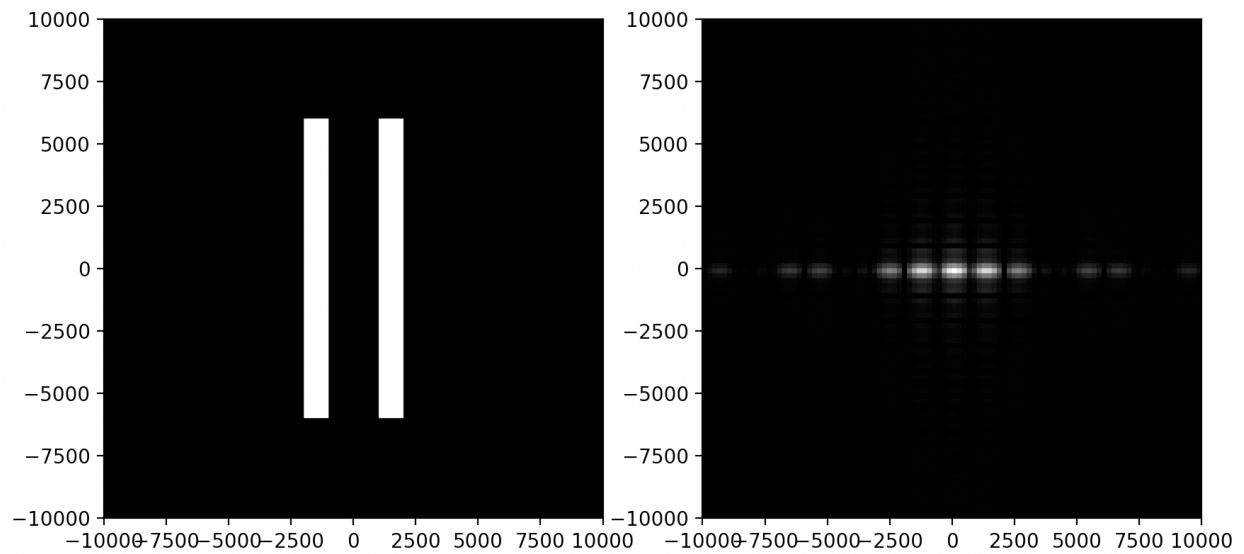
ט. בסעיף זה עליכם להשלים את חישוב E_{sphere} (שורה 98).

י. לבסוף השלימו את $E(x, y, z)$ (שורה 104).

יא. (סעיף הסבר) עוצמת האור המוקרן על המסך תהיה $I = |E(x, y, z)|^2$. אך בקוד הסתפקנו בערך המוחלט בלבד של השדה החשמלי, ללא ההעלאה בריבוע. כך תראו יותר טוב את התבנית הנוצרת.

יב. צרפו את התוצאה שקיבלתם לקובץ ההגשה.

דוגמה לגרפים שיתקבלו עבור ניסוי שני חריצים:



בהצלחה!