לירון כהן 207481268 יובל מור 209011543

# פרוייקט 2 - שדות וגלים אלקטרומגנטיים

## חלק א'

### סעיף א'

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

כפי שראינו בתרגול, כיוון $\hat{s}$ הוא הכיוון בו השדה החשמלי מאונך למישור הפגיעה $(TE)$ וכיוון $\hat{p}$ הוא הכיוון בו השדה החשמלי מקביל למישור הפגיעה $(TM)$.

הקיטוב של הגל הוא סופרפוזיציה של שני הכיוונים האלו, כלומר נפרק את הגל לרכיב בכיוון $\hat{p}$ ולרכיב בכיוון $\hat{s}$ וכך נקבל את השדה בצורה הנתונה, כאשר $A_p$ ו-$A_s$ אמפליטודות הגל בכיוונים המתאימים.

האות $\delta$ מציינת את ההפרש הפאזות בין שני הגלים בכיוונים שצוינו לעיל.

קיטוב לינארי יתקבל עבור $\delta = 0, \pi$.

קיטוב מעגלי ימני יתקבל עבור $A_p = A_s$ ו-$\delta = -\frac{\pi}{2}$, קיטוב מעגלי שמאלי יתקבל עבור $A_p = A_s$ ו-$\delta = \frac{\pi}{2}$.

קיטוב אליפטי יתקבל במקרה הכללי עבור ערכים אחרים.

### סעיף ב'

עבור $A = 9$ ו-$B = 4$ נקבל:

$$A_p = A_s = 4, \delta = -\frac{\pi}{2}$$

והשדה יהיה:

$$\vec{\mathrm{E}} = \begin{pmatrix} 4 \\ 4e^{-\frac{j\pi}{2}} \end{pmatrix} e^{j(\omega t - \vec{k}\cdot\vec{r})}$$

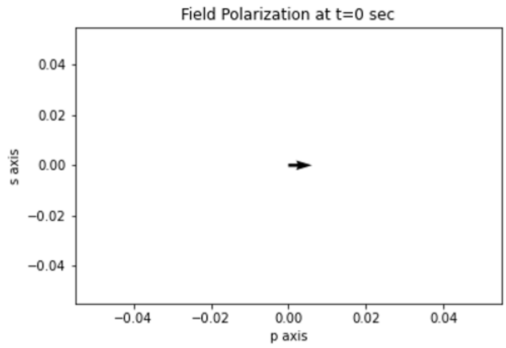
כפי שראינו לעיל, קיבלנו קיטוב מעגלי ימני.

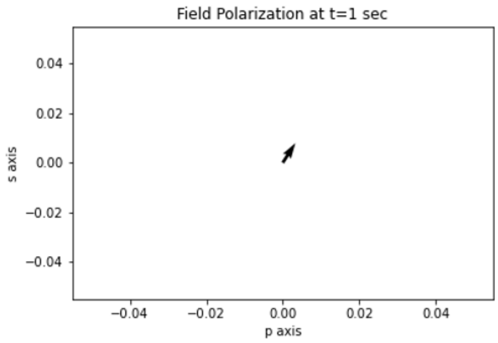
### סעיף ג'

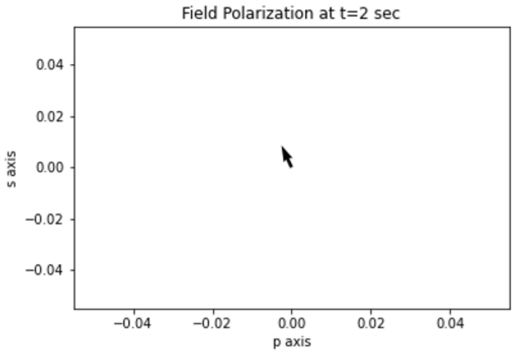
```
def fieldDirection(t, w):
    Ep = 4*cos(w*t)
    Es = 4*cos(w*t-math.pi/2)
    return (Ep,Es)
```

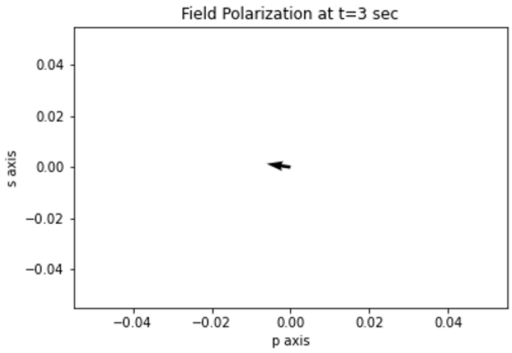
## סעיף ד'

בבחירת $\omega = 1\frac{rad}{sec}$ ו-$t \in \{0,1,2,3\}\ sec$ נקבל:




```
t = 3
w = 1
p = 0
s = 0

Ep, Es = fieldDirection(t,w)

u,v = np.meshgrid(Ep, Es)

fig, ax = plt.subplots()

ax.quiver(p,s,u,v)

plt.title("Field Polarization at t=3 sec")
plt.xlabel("p axis")
plt.ylabel("s axis")

plt.savefig('polar3.png')
plt.show()
```

## סעיף ה'

כפי שהראינו בסעיף ב', ציפינו לקבל קיטוב מעגלי ימני. במערכת הצירים שהצגנו בתרגול (עבור הציר האופקי $\hat{p}$ והציר האנכי $\hat{s}$) נקבל שקיטוב ימני משמעו סיבוב נגד כיוון השעון. עבור $\omega = 1\frac{rad}{sec}$ נצפה שבכל שנייה הקיטוב יתקדם $radian$ אחד נגד כיוון השעון, כפי שניתן לראות בגרפים שהתקבלו.

## **חלק ב'**

### סעיף א'

נסמן, כמו בתרגול:

$\boldsymbol{u} = \binom{u}{v}$ - קורדינטות מיקום החלון.

$\boldsymbol{x} = \binom{x}{y}$ - קורדינטות מיקום במישור $z$ אחרי מיקום החלון.

בנוסף, מתקיים:

$$|\boldsymbol{u}| = \sqrt{u^2 + v^2} \qquad |\boldsymbol{x}| = \sqrt{x^2 + y^2}$$

קיימים שני קירובים לשימוש בנוסחה לעקיפת פראונהופר:

1. הקירוב הפראקסיאלי (קירוב זוויות קטנות) - $\frac{|\boldsymbol{x}|}{\boldsymbol{z}} \ll 1$, $\frac{|\boldsymbol{u}|}{z} \ll 1$.
2. קירוב נוסף של $|\boldsymbol{u}|_{max} \ll \sqrt{2\lambda z}$.

### סעיף ב'

כפי שראינו בתרגול, הנוסחה לעקיפת פראונהופר היא:

$$E(\boldsymbol{x}, z) = \frac{j}{\lambda z} e^{-jk_0 z} e^{-\frac{jk_0}{2z}\boldsymbol{x}^2} \int E(\boldsymbol{u}, 0)\, e^{j2\pi\frac{\boldsymbol{x}\cdot\boldsymbol{u}}{2\lambda}} d^2\boldsymbol{u}$$

כמו כן, בשימוש בביטויים המבוקשים:

$$E(\boldsymbol{x}, z) = \frac{j}{\lambda} E_{sphere}(\boldsymbol{x}, z) S\left(\frac{\boldsymbol{x}}{\lambda z}\right)$$

כאשר:

$$E_{sphere}(\boldsymbol{x}, z) = \frac{1}{z} e^{-jk_0 z} e^{-\frac{jk_0}{2z}\boldsymbol{x}^2}$$

$$S(\boldsymbol{v}) = \int E(\boldsymbol{u}, 0)\, e^{j2\pi\boldsymbol{v}\cdot\boldsymbol{u}} d^2\boldsymbol{u}$$

### סעיף ג'

```
wave_length = 0.649
k = 2*math.pi/wave_length

z_meters = 0.1
z = z_meters * 1e6
```

### סעיף ה'

```
def circle(u,v):
    R = 500
    phi = math.arctan(v/u)
    r = math.sqrt(u**2 + v**2)
    if (r <= R):
        return 1
    else:
        return 0
```

## סעיף ו'

```python
for i in range(len(U)):
    for j in range(len(U[i])):
        u = U[i][j]
        v = V[i][j]

        T[i][j] = circle(u,v)
```

## סעיף ז'

```python
########################
# E(u,v,0)
########################
E_0 = 1 * T
```

## סעיף ט'

```python
for i in range(len(X)):
    for m in range(len(X[i])):
        x = X[i][m]
        y = Y[i][m]
        E_sphere[i][m] = (1/z) * (cmath.exp(-1j*k*z)) * \
                         (cmath.exp(-1j*k*(x**2+y**2))/(2*z))
```

## סעיף י'

```python
########################
# E(x,y,z)
########################
E = (j/wave_length) * E_sphere * S
```

## סעיף י"ב