תרגיל 9 – להגשה עד ה 18/6

1.

א. השתמשו ביחסי החילוף בזמנים שווים עבור המיתר הסגור:

$$\left[(\dot{X}^I \pm X^{I}{}'),(\dot{X}^J \pm X^{J}{}')\right] = \pm 4\pi\alpha' i\eta \frac{d}{d\sigma}\delta(\sigma-\sigma')$$

על מנת למצוא את יחסי החילוף בין האופרטורים $\alpha_n^I, \overline{\alpha}_n^I, x_0^I, p^I$.

ב. הראו כי $\delta(\sigma-\sigma') = \frac{1}{2\pi}\sum_{n\in Z} e^{in(\sigma-\sigma')}$.

ג. חשבו במפורש את $\left[X^I(\tau,\sigma), P^{\tau J}(\tau,\sigma')\right]$ ע"י פיתוח של X^I ו P^I באופני תנודה, ושימוש בתוצאות הסעיפים הקודמים.

2. לפני שימוש באילוץ $N^\perp = \overline{N}^\perp$ הספקטרום שמתקבל עבור המיתר הסגור נתון ע"י

$$\left|\lambda,\overline{\lambda}\right\rangle = \prod_n\prod_I (a_n^{I+})^{\lambda_{n,I}} \prod_m\prod_J (a_m^{J+})^{\lambda_{m,J}} \left|p^+, \vec{p}_T\right\rangle \qquad (*)$$

א. הראו כי המצבים (*) הם מצבים עצמיים של $P = L_0^\perp - \overline{L}_0^\perp$ בעלי ע"ע שלמים.

ב. הראו כי האופרטור $P_0 = \int_0^{2\pi} e^{-i(L_0^\perp - \overline{L}_0^\perp)\vartheta}\frac{d\vartheta}{2\pi}$ הוא אופרטור היטל על מרחב המצבים המקיימים P=0.

נגדיר יריעה מקופלת מכוונת (Orientifold plane) ממימד p, Op, כיריעה p מימדית המשקפת את המיתר דרכה והופכת את כיוונו. נסמן ב $x^i = x^2,\dots,x^p$ את הכיוונים המקבילים ליריעה, וב $x^a = x^{p+1},\dots,x^d$ את הכיוונים המאונכים ליריעה.

א. עבור יריעה 23 מימדית. שרטטו מיתר סגור ברביע הראשון של המישור (x^{24},x^{25}) בזמן נתון. בחרו כיוון על המיתר לאורכו הפרמטר σ גדל. בנוסף, שרטטו את המיתר המתקבל תחת שיקוף של היריעה O23 הנמצאת בראשית.

נגדיר אופרטור Ω_p:

$$\Omega_p X^a(\tau,\sigma)\Omega_p^{-1} = -X^a(\tau,2\pi-\sigma)$$
$$\Omega_p X^i(\tau,\sigma)\Omega_p^{-1} = X^i(\tau,2\pi-\sigma)$$
$$\Omega_p x_0^- \Omega_p^{-1} = x_0^-$$
$$\Omega_p p^+ \Omega_p^{-1} = p^+$$

ב. מצאו כיצד Ω_p פועל על $x_0^a, p^a, \alpha_n^a, \overline{\alpha}_n^a, x_0^i, p^i, \alpha_n^i, \overline{\alpha}_n^i$.

ג. הראו כי $\Omega_p X^\pm(\tau,\sigma)\Omega_p^{-1} = X^\pm(\tau,2\pi-\sigma)$

נסמן את מצבי היסוד של המיתר $\left|p^+, p^i, p^a\right\rangle$. הניחו כי המצב $\left|p^+, p^i, 0\right\rangle$ אינוריאנטי תחת שיקוף של יריעת Op.

ד. הראו כי $\Omega_p\left|p^+, p^i, p^a\right\rangle = \left|p^+, p^i, -p^a\right\rangle$

המצבים חסרי המסה של המיתר הסגור מאופינים ע"י פונקציה $\Phi_{IJ}^\pm$ כך ש

$$\left|\Phi\right\rangle = \int \Phi_{IJ}^\pm(\tau, p^+, p^i, p^a)(\alpha_{-1}^I\overline{\alpha}_{-1}^J \pm \overline{\alpha}_{-1}^I\alpha_{-1}^J)\left|p^+, p^i, p^a\right\rangle dp^+ d\vec{p}^i d\vec{p}^a$$

ה. מצאו את התנאים על $\Phi_{ab}^\pm, \Phi_{ia}^\pm, \Phi_{ij}^\pm$ הנובעים מהדרישה שהמערכת תהיה אינוריאנטית תחת פעולת יריעת ה Op.