# مدل استاندارد ذرات روی پیکربندی از D4 غشاهای متقاطع در فضای فشرده $T^2 \times \mathbb{C}^2/\mathbb{Z}_N$

**فرزانه نجفی**

*گروه فیزیک، دانشگاه فردوسی مشهد؛ مشهد*

**چکیده**

*می دانیم روی جهان حجم N تا Dp -غشا منطبق، میدان ها یا بوزن های پیمانه ای U(N) حضور دارند که دینامیک آنها در انرژی پایین با تئوری U(N) یانگ- میلز پوشش داده می‌شود.***[1]** *همچنین حالت ریسمان بازی که در تقاطع D غشاها قرار گرفته، فرمیون های کایرال را نشان می دهد که تحت شرایط خاص این ریسمان ها میدان هایی با ویژگی های فرمیون های مدل استاندارد فیزیک ذرات را تولید می کنند. از این رو پیکربندی ازDp غشاها در نوع II نظریه ابرریسمان کاندیدای خوبی برای ساخت مدل ریسمانی فیزیک ذرات است.*

*به طور خاص در این کار پیکربندی از D4 غشاها را در نوع IIA تئوری روی فضای فشرده $T^2 \times \mathbb{C}^2/\mathbb{Z}_3$ ، مطالعه می کنیم. در مدلسازی خصوصیات اساسی مدل استاندارد از جمله: گروه پیمانه‌ای مدل استاندارد و طیف کایرالی از سه نسل فرمیون ها را در نظر می گیریم و شرایط سازگاری برای پایداری مدل از جمله شرایط حذف RR Tadpoles و نابهنجاری ها و تاکیون های مدل را لحاظ خواهیم کرد.*

## مدل استاندارد روی پیکربندی ازD4 غشاهای متقاطع:

برای مدلسازی فرمیون‌های SM ، می‌توان حضور فرمیون‌های کایرال را روی تقاطع D4 غشاها تحقیق کرد.[1] در مورد پیکربندی از D4 غشاها در نوع IIA تئوری، فضای فشرده $T^2 \times \mathbb{C}^2$ است. یعنی دو D4 غشا، فضای $M^4$ را کاملا پر کرده اند و روی اولین $T^2$ پیچیده شده‌اند و به صورت یک نقطه در فضای $\mathbb{C}^2$ قرار گرفته‌اند. پارامتر مهم $\Pi_a$ را به شکل $\left(n_a^{(r)}, m_a^{(r)}\right)$ اعداد پیچش یک–حلقه روی r امین چنبره $T^2$ است. در واقع این اعداد، مختصات یک D غشا را روی $T^2$ نشان می دهد و پارامتر مهم عدد تقاطع($I_{ab}$) را به صورت ضرب دو n–حلقه تعریف می کنیم که نشان دهنده تعداد دفعاتی است که دو غشا تقاطع پیدا می کنند.[2] $\Pi_{\boldsymbol{a}} = \otimes_{\boldsymbol{r=1}}^{\boldsymbol{n}} \left(n_a^{(r)}, m_a^{(r)}\right)$ تعریف می کنیم.

$$I_{ab} = [\Pi_a].[\Pi_b] = \prod_{i=1}^{n} \left(n_a^{(i)} m_b^{(i)} - m_a^{(i)} n_b^{(i)}\right)$$

این پیکربندی طیف کایرال ایجاد نمی‌کند.[1] برای رفع این مشکل فضای فشرده را به صورت $T^{2n} \times \mathbb{C}^{3-n}/Z_N$ (فضای فشرده چنبره تحت تاثیر اوربیفلد) در نظر می‌گیریم. کنش اوربیفلد شامل دو قسمت است، قسمت اول مربوط به اثر هندسی آن روی مد های نوسانی ریسمان است که یک ضریب فاز محدود ایجاد می کند و قسمت دوم تاثیر اوربیفلد روی درجات آزادی داخلی D غشاها یا همان فاکتورهای چن–پتن $(ij)$ است که به وسیله مولدهای گروه $Z_N$ در قالب زیر نمایش داده می‌شود. [3]

$$\gamma_{\omega^k,a} = diag\left(I_{N_a^0}, e^{\frac{2\pi i}{N}} I_{N_a^1}, \dots, e^{\frac{2\pi i(N-1)}{N}} I_{N_a^{N-1}}\right)$$

در مواردی که به پیکربندی O4 صفحه (اورینتیفلد) اضافه کنیم، غشا آینه ای در موقعیت زیر قرار خواهد گرفت.

$$a \text{ غشا } D4 \quad (n_a, m_a), \qquad a^* \text{ غشا } D4 \quad (n_a, -m_a)$$

$$\gamma_{\omega,a} = diag\left(I_{N_a^0}, \alpha I_{N_a^1}, \dots, \alpha^{N-1} I_{N_a^{N-1}}\right), \gamma_{\omega,a^*} = diag\left(I_{N_a^0}, \dots, \alpha^{N-1} I_{N_a^1}, \alpha I_{N_a^{N-1}}\right)$$

به منظور یافتن توصیف نظریه ریسمانی مدل استاندارد با استفاده از پیکربندی D4 غشاها، نیاز به تعریف 4 نوع D غشا داریم که گروه پیمانه ای و فرمیون های SM را تولید کنند.

**جدول 1. 4 نوع D غشا مورد نیاز برای ساخت مدل استاندارد ذرات.[4]**

| دسته | برچسب | تعداد | گروه پیمانه ای |
|---|---|---|---|
| Dغشاباریونی | $a$ | $N_a = 3$ | $SU(3) \times U(1)_a$ |
| D غشا چپ | $b$ | $N_b = 2$ | $SU(2) \times U(1)_b$ |
| D غشا راست | $c$ | $N_c = 1$ | $U(1)_c$ |
| D غشا لپتونی | $d$ | $N_d = 1$ | $U(1)_d$ |

هر دسته $N_i$ از $D4$ غشاها گروه پیمانه‌ای $U(N_i)$ را می سازند. در نتیجه 8 گلوئون نیروی قوی را از سه D غشا منطبق رنگی با عنوان D غشا باریونی و 4 بوزون الکتروضعیف را از دو D غشا منطبق دیگر با نام D غشاهای چپ بدست می آوریم.[2] گام بعدی پیدا کردن یک حل پارامتری برای اعداد پیچش (n,m) و $\gamma_{\omega,i}$ (فاز CP) است که $D4$ غشا در آن موقعیت قرار گرفته است. این حل باید به گونه ای باشد که اعداد تقاطع یا به عبارت صریح تر سه نسل از کوارک‌ها و لپتون‌ها را مدلسازی کنند.در ادامه گام مهم بعدی این است که نشان دهیم این مدل شرایط پایداری را کاملا براورده می کند. این شرایط پایداری عبارتند از حذف RR Tadpoles و نابهنجاری‌های کایرال.

برای محاسبه شرط حذف RR Tadpoles برای پیکربندی از D4 غشاها که روی اولین $T^2$ پیچیده شده و در تکینگی اوربیفلد $\mathbb{Z}_N$ نشسته‌است، کنش را برای میدان $A_5$ که D4 غشا چشمه آن است، به صورت زیر می‌نویسیم.[1]

$$S_{A_5} = \int_{M_4\times M_6} H_6 \wedge * H_6 + \sum_a N_a \int_{M_4\times \Pi_a} A_5 = \int_{M_4\times M_6} A_5 \wedge dH_4 + \sum_a N_a \int_{M_4\times M_6} A_5 \wedge \left(\delta_{\Pi_a} \wedge \delta_{\Sigma_k}\right)$$

در این رابطه $H_6$ قدرت میدان $A_5$ و $\delta_{\Pi_a}$ هم دوگان پوآنکاره $\Pi_a$ روی $M_6$ و $\delta_{\Sigma_k}$ دوگان پوآنکاره مربوط به فضای اوربیفلد روی $M_6$ است. با نوشتن معادله حرکت میدان RR و صفر کردن کل بار روی فضای فشرده داریم:

$$c_k^2 \Sigma_a [\Pi_a]\, Tr\, \gamma_{\omega^k,a} = 0$$

دراین رابطه ضریب $c_k^2 = \prod_{r=1,2} sin(\frac{\pi k b_r}{N})$ بیانگر کنش هندسی اوربیفلد و $\boldsymbol{Tr\, \gamma_{\omega^k,a}}$ نشان دهنده کنش اوربیفلد روی درجات آزادی چن–پتن است و یک–حلقه $[\boldsymbol{\Pi_a}]$ بار RR غشاها را کدبندی می کند. با استفاده از تعریف یک–حلقه خواهیم داشت:

$$\boldsymbol{c_k^2 \Sigma_a n_a\, Tr\, \gamma_{\omega^k,a} = 0} \;\;,\; \boldsymbol{c_k^2 \Sigma_a m_a\, Tr\, \gamma_{\omega^k,a} = 0}$$

با استفاده از یک بیان عمومی تحت عنوان فرمالیزم پایه–q ، شرط های حذف RR Tadpoles را بازنویسی می کنیم.

$$\vec{q}_{a,i}(D4) = \binom{n_a}{m_a} \alpha^i \;\;, \sum_{i,a} N_a^i \vec{q}_{a,i} = 0$$

حال اگر به این پیکربندی O4 صفحه هم اضافه کنیم باید سهم بار RR مربوط به غشاهای آینه ای و O4 صفحه را هم در نظر بگیریم. در نتیجه داریم:

$$\sum_{a,i} N_a^i (\vec{q}_{a,i} + \vec{q}_{a^*,-i}) = Q_{Op} N_{Op} \sum_i \overrightarrow{q}_{Op,i}$$

در این رابطه $\vec{q}_{a^*,-i}$ مربوط به D غشا آینه ای است و $\overrightarrow{q}_{Op,i}$ **بار** RR اورینتیفلد را نشان می دهد. $N_{Op}$ تعداد Op صفحه‌های مورد نیاز برای حذف RR Tadpoles سیستم است و $Q_{Op} = 4$ بار اورینتیفلد را نسبت به Dp غشا نشان می دهد. پارامتر $\beta = 0, \frac{1}{2}$ نشان دهنده چنبره قائم یا مایل است. از آنجایی که $\vec{q}_{a^*,-i} = \Omega\mathcal{R}\, \vec{q}_{a,i}$ ، رابطه بالا را به صورت زیر بازنویسی می‌کنیم.

$$\sum_{a,i} N_a^i (1 + \Omega) \vec{q}_{a,i} = Q_{Op} N_{Op} \sum_i \vec{q}_{Op,i}$$

این رابطه را نیز می توان براساس اعداد پیچش و کنش هندسی و چن– پتن اوربیفلد به صورت زیر نوشت:

$$c_k^2 \sum_a n_a \, (Tr\gamma_{k,a} + Tr\gamma_{k,a^*}) = 8 \prod_{r=1}^{2} \sin(\frac{\pi k b_r}{2N})$$

$$c_k^2 \sum_a m_a \ (Tr\gamma_{k,a} - Tr\gamma_{k,a^*}) = 0$$

در ادامه تنها به این نکته اشاره می کنیم که شرط حذف نابهنجاری‌های کایرال غیرآبلی متناظر با شرط حذف RR Tadpoles سیستم است و برای حذف نابهنجاری‌های کایرال، نوع مخلوط و $\mathrm{U}(1)$ از تعمیم مکانیزم گرین–شوارتز استفاده می کنیم. برای توضیحات بیشتر مراجع[3]و [5] را ببینید. با در نظر گرفتن تمام این قیدها یک حل پارامتری برای پیکربندی از D4 غشاهای متقاطع ارائه می کنیم که علاوه بر ایجاد سه نسل از کوارک ها و لپتون های چپ و راست دست و پاد ذره های آنها، پایداری آن نیز لحاظ شده باشد.

**جدول2. اعداد پیچش و فاز CP برای مدل D4 غشا که در تکینگی اوربیفلد $\mathbb{Z}_3$ نشسته است.**

| $N_i$ | $(n_i, m_i)$ | $\gamma_{\omega,i}$ |
|---|---|---|
| $N_a = 3$ | $(3\epsilon\beta, 0)$ | $\alpha \mathrm{I}_3$ |
| $N_b = 2$ | $(n_b, \epsilon/\beta)$ | $\mathrm{I}_2$ |
| $N_c = 1$ | $(-n_c, -\epsilon/\beta)$ | I |
| $N_d = 1$ | $(-3\epsilon\beta, 0)$ | $\alpha$I |
| $N_h$ | $(n_h, 0)$ | $\mathrm{I}_{N_h}$ |

حل عمومی بالا توسط $\epsilon = \pm 1$ ، $\beta = 0, \frac{1}{2}$ و اعداد $n_b$ , $n_c$ (مقادیر دلخواه) پارامتربندی شده است. در این مدل D غشا باریونی و لپتونی در فاز $\alpha$ و D غشا چپ و راست در فاز I قرارگرفته اند، کل این پیکربندی در تکینگی اوربیفلد $\mathbb{C}^2/\mathbb{Z}_3$ نشسته است. غشا $N_h$، D غشا پنهان است که این غشا هیچ تقاطعی با D4 غشاهای مدل ندارد و در نتیجه فرمیونی تولید نمی کند ولی سهمی از بار RR حمل می کند که برای حذف RR Tadpoles به آن نیاز داریم. اعداد تقاطع یا تعداد نسل‌های فرمیونی(سه نسل از فرمیون های چپ دست و راست دست) این مدل عبارتند از:

$$\boldsymbol{I_{12} = 3, I_{12^*} = -3, I_{13} = -3, I_{13^*} = 3}$$
$$\boldsymbol{I_{24} = 3, I_{24^*} = 3, I_{34} = -3, I_{34^*} = -3}$$

می توان پایداری مدل که به معنای حذف RR Tadpoles و نابهنجاری های کایرال غیرآبلی و مخلوط و $\mathrm{U}(1)$ است، را برای این مدل بررسی کرد. همچنین می‌توان با انتخاب شعاع فضای فشرده و زوایایی که D غشاها تحت آنها متقاطعند حضور تاکیون ها را در مدل محدود کرد.

## نتیجه‌گیری

در این کار به معرفی پیکربندی از D4 غشاها پرداختیم که روی فضای چنبره $T^2$ پیچیده شده و درتکینگی فضای اوربیفلد $\mathbb{C}^2/\mathbb{Z}_3$ قرار گرفته است. این مدل قادر است طیف کایرالی از سه نسل فرمیون های SM و گروه پیمانه ای مدل استاندارد را مدلسازی کند. اعداد پیچش این مدل طوری انتخاب شده اند که پایداری مدل لحاظ شده باشد.

از آقای دکتر احمد قدسی برای پیشنهاد موضوع این کار متشکرم.

## مراجع

[1]F.Marchesano,"Intersecting D-brane Models",arXiv:hep-th/0307252.

[2] فرزانه نجفی،" مدل استاندارد روی پیکربندی از D5 غشاهای متقاطع، فشرده شده روی چنبره وقرار گرفته در تکینگی اوربیفلد $\mathbb{C}/\mathbb{Z}_N$ "، دومین کنفرانس سالیانه ی فیزیک ذرات بنیادی، دانشگاه سمنان،1390.

[3]G.Aldazabal, S.Franco, L.E.Ibanez, R.Rabadan, A.M.Uranga,"D=4 chiral string compactification from intersecting Branes",*J.Math. Phys*. **42,**3103(2001),arXiv:hep-th/0011073.

[4]L.E.Ibanez , F.Marchesano ,R.Rabadan,"Getting just the SM at intersecting Branes ", *JHEP* **0111,** 002 (2001), hep-th/0105155.

[5]G.Aldazabal,S.Franco,L.E.Ibanez,R.Rabadan,A.M.Uranga,"IntersectingBraneWorlds",*JHEP***0102**,047(2001), arXiv:hep-ph/0011132