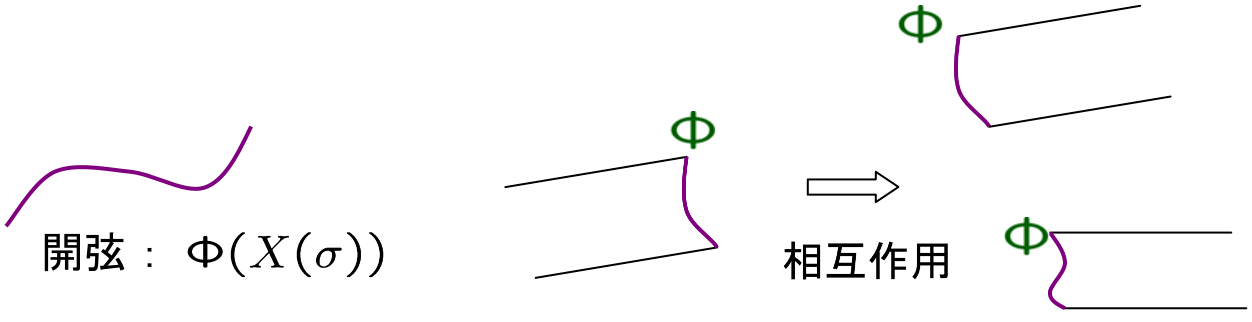
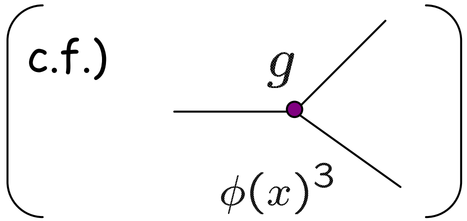
弦の場の理論における
一般化された共変ゲージについて

浅野雅子（大阪府大）

ref.)
M. Asano and M. Kato,
`New covariant gauges in string field theory,’
PTP 117 (2007) 569 (hep-th/0611189)
`Level Truncated Tachyon Potential in Various Gauges,'
JHEP01(2007)028 (hep-th/0611190)
＋α

弦の場の理論（SFT） ･･･ 弦の第二量子化





ボソン的開弦の場の理論

- 運動項

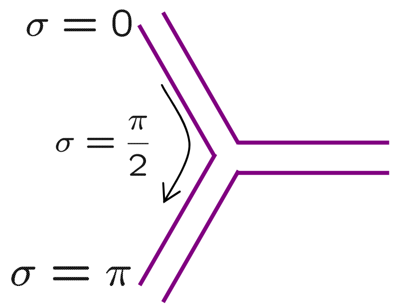
$$S = -\frac{1}{2}\langle\Phi, Q\Phi\rangle \quad \text{with} \quad \delta\Phi = Q\Lambda$$ （ゲージ対称性）

- 相互作用項

e.g., for Witten's OSFT（Witten, 1986),

$$S = -\frac{1}{2}\langle\Phi, Q\Phi\rangle - \frac{g}{3}\langle\Phi, \Phi * \Phi\rangle$$

with $\delta\Phi = Q\Lambda + g(\Phi * \Lambda - \Lambda * \Phi)$



・弦の場 $\Phi(X^\mu(\sigma), c(\sigma), b(\sigma))$ $(\mu = 0, \cdots, 25)$

$$\begin{array}{ccc} \cup & \cup & \cup \\ \alpha_n^\mu & c_n & b_n \end{array}$$

gauge 変換

$$\Phi \sim \int d^{26}p \left(\underset{\substack{\uparrow \\ \text{tachyon} \\ m^2=-1}}{\phi(p)} |p,\downarrow\rangle + [\underset{\substack{\uparrow \\ \text{gauge 場} \\ m^2=0}}{A_\mu(p)} \alpha_{-1}^\mu + \underset{\substack{\uparrow \\ m^2=0}}{\chi(p)} c_0 b_{-1}] |p,\downarrow\rangle + \underbrace{\quad \cdots \quad}_{m^2=1,2,3\cdots} \right)$$

$(\alpha' = 1)$

※ ∞個の場（ $m^2 = 1, 2, 3 \cdots$ ）
with ゲージ自由度: ∞ → gauge 固定： 要

通常，Siegel ゲージ を用いる.

$$b_0 \Phi = 0$$

通常，Siegel ゲージ を用いる.

$$b_0 \Phi = 0$$

共変ゲージ（ゲージ理論のFeynman gauge に対応）

$\Downarrow$

他のゲージ固定条件？

ヒント

ゲージ理論の共変ゲージ:　　ゲージパラメーター α

ゲージ理論（＊）			SFT
$\alpha = 1$	Feynman gauge	$\longleftarrow$	Siegel gauge
$\alpha = 0$	Landau gauge	$\longleftarrow$	？
$\vdots$			

（＊） $$S^{\text{gauge}}_{a(\alpha)} = \int d^{26}x \left[-\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + B \partial_\mu A^\mu + \frac{\alpha}{2} B^2 + i \bar{c} \partial_\mu \partial^\mu c \right]$$

結果

1．弦の場の理論の新しい共変ゲージ(⊃ Siegelゲージ)を与えた.

$a = 0$

・1- パラメーター a　　$(|a| \leq \infty, \quad a \neq 1)$

2．ゲージ固定作用の構成

・BRST 不変
・ゲージ理論のαゲージでのゲージ固定作用に対応　（$\alpha = \dfrac{1}{(a-1)^2}$）

⇒ プロパゲーター、振幅

・振幅のゲージ不変性、対称性、…

3．応用: タキオンポテンシャル V(φ) の解析

・ゲージ（⇔ パラメーター a ）を選ぶ.

→ V(φ)：（ゲージ依存しない）期待される振る舞いを得る

1．弦の場の理論の新しい共変ゲージ

〇 準備

・弦の場

$$\Phi_1 = \phi^{(0)} + c_0\,\omega^{(-1)} \qquad (b_0\phi^{(0)} = 0)$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{ex.} \quad \phi^{(0)} = \int \frac{d^{26}p}{(2\pi)^{26}} \Big[\sum_{|f\rangle} |f^{(0)}\rangle\, \psi_{|f\rangle}(p)\Big] \\ \qquad \Big[\sum_{|f\rangle} |f^{(0)}\rangle\, \psi_{|f\rangle}(p)\Big] = \phi(p)\,|p,\downarrow\rangle + A_\mu(p)\,\alpha^\mu_{-1}|p,\downarrow\rangle + \quad \cdots \end{array}\right)$$

・BRST operator $\quad Q^2 = 0$

$$Q = \tilde{Q} + c_0 L_0 + b_0 M$$

：(ghost #) → (ghost #) +1

$$L_0 = p^2 + \underbrace{N - 1}_{m^2}, \qquad M = -2\sum_{n>0} n c_{-n} c_n, \qquad \tilde{Q}^2 = -L_0 M$$

○ ゲージ固定条件

※ 作用（2次の項） $S=-\frac{1}{2}\langle\Phi_1,Q\Phi_1\rangle$ with $\delta\Phi_1=Q\Lambda_0$

新しいゲージ条件: $-\infty\leq a\leq\infty \quad (a\neq 1)$

$$M\omega^{(-1)}+a\,\tilde{Q}\phi^{(0)}=0$$

$$(\Phi_1=\phi^{(0)}+c_0\,\omega^{(-1)})$$

$*\ a=0$:

$$M\omega^{(-1)}=0 \quad (\Leftrightarrow \quad \omega^{(-1)}=0)$$

$$\Leftrightarrow b_0\Phi_1=0$$ ・・・「Siegel ゲージ」

$*\ a=\infty$:

$$b_0c_0\tilde{Q}\Phi_1=0 \quad (\Leftrightarrow \ \tilde{Q}\phi^{(0)}=0)$$

2．ゲージ固定作用

$$
\begin{aligned}
S^a_{\mathrm{gauge}} &= -\frac{1}{2}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\left\langle \Phi_n, Q\Phi_{-n+2}\right\rangle - \frac{g}{3}\sum_{l+m+n=3}\langle \Phi_l, \Phi_m * \Phi_n\rangle \\
&\quad + \sum_{n=2}^{\infty}\left(\left\langle(\mathcal{O}_a\mathcal{B})_{-n+3}, \Phi_n\right\rangle + \left\langle(\mathcal{O}_a\mathcal{B})_n, \Phi_{-n+3}\right\rangle\right)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{cases}
\Phi_n \quad (n \leq 0) & \cdots \ \text{ghost, ghost for ghost, …} \\
\Phi_n \quad (n \geq 2) & \cdots \ \text{anti-ghost, …}
\end{cases}
$$

$\mathcal{B}_n = c_0\beta^{(n-2)}$ $\cdots$ 補助場

- S_{gauge}　:　BRST 不変

$$\delta_B S_{\mathrm{gauge}} = 0$$

$$
\left(
\begin{aligned}
\delta_B\Phi_n &= \eta(\mathcal{O}\mathcal{B})_n \qquad (n>1), \\
\delta_B\Phi_n &= \eta(Q\Phi_{n-1} + g\sum_{k=-\infty}^{\infty}(\Phi_{n-k} * \Phi_k)) \qquad (n \leq 1), \\
\delta_B\mathcal{B}_n &= 0
\end{aligned}
\right)
$$

例:　レベル N = 1

$$\Phi^{N=1} = \phi^{N=1} + c_0\, \omega^{N=1}$$

$$\begin{cases} \phi^{N=1} & = \displaystyle\int \frac{d^{26}p}{(2\pi)^{26}} \frac{1}{\sqrt{\alpha'}} \Big(\gamma(p) b_{-1} + A_\mu(p) \alpha^\mu_{-1} + i\bar{\gamma}(p) c_{-1} \Big) |0, p; \downarrow\rangle \\ \omega^{N=1} & = \displaystyle\int \frac{d^{26}p}{(2\pi)^{26}} \frac{1}{\sqrt{2}} \Big(i\chi(p) b_{-1} + u_\mu(p) \alpha^\mu_{-1} + v(p) c_{-1} \Big) |0, p; \downarrow\rangle \end{cases}$$

ゲージ固定作用（場の再定義後）

$$\alpha = \frac{1}{(a-1)^2}$$

$$\boxed{\begin{aligned} S^{\text{quad}}_{a(\alpha),\, N=1} \; = \; \int d^{26}x \Big[& -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + B \partial_\mu A^\mu + \frac{\alpha}{2} B^2 + i\bar{c}\, \partial_\mu \partial^\mu c \\ & -\frac{1}{2}\tilde{\chi}^2 + \frac{1}{2}\tilde{\beta}_{u_\mu} \tilde{u}^\mu + \frac{1}{4}\beta_v v \Big] \end{aligned}}$$

$$\begin{cases} B & \text{Nakanishi-Lautrup 場} \\ c,\ \bar{c} & \text{FP ghost (anti-ghost) 場} \end{cases}$$

$\alpha = 1\ (a = 0)$　Feynman ゲージ
　　（← Siegel ゲージ）

$\alpha = 0\ (a = \infty)$　Landau ゲージ

○ プロパゲーター　（※　Φ_1 に対して）

$$S^a_{\mathrm{gauge}} \sim \langle \Phi_1, (c_0 L_0 + \cdots)\Phi_1 \rangle + \cdots$$

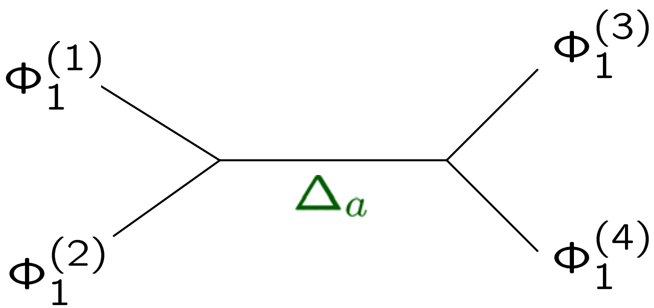
⇨ プロパゲーター　Δ_a

$$\begin{cases} \text{Siegel ゲージ（} a = 0 \text{）:} & \Delta_0 = \dfrac{b_0}{L_0} \\ \text{Landauゲージ（} a = \infty \text{）:} & \Delta_\infty = \dfrac{b_0}{L_0}(1 - P_0) + c_0 W_1 \end{cases}$$

$$\left(\begin{array}{l} W_1 M \omega^{(-1)} = \omega^{(-1)} \\ P_0 = -\dfrac{1}{L_0}\tilde{Q} W_1 \tilde{Q} \end{array} \right)$$

⇒ 振幅（tree）

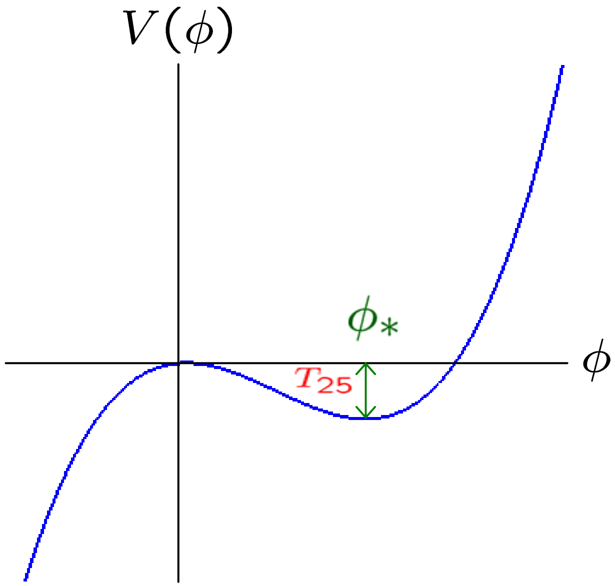
例：



: $Q\Phi_1^{(i)} = 0$　のとき、a 不変.

3．応用：タキオンポテンシャル V(φ) の解析

Senの予想



$\phi = 0$　摂動的真空：　不安定

D25-brane

⇓

$\phi = \phi_*$　非摂動的真空：　より安定

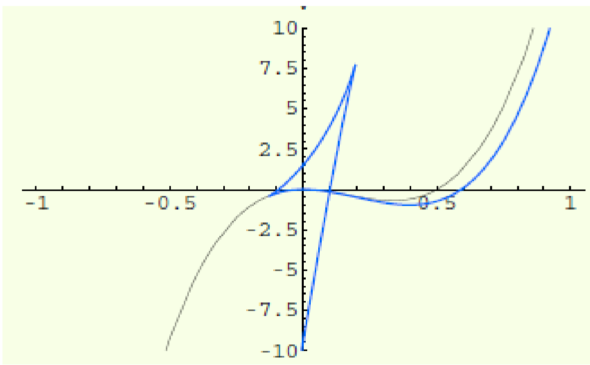
~~D25-brane~~

（⇔　閉弦の真空）

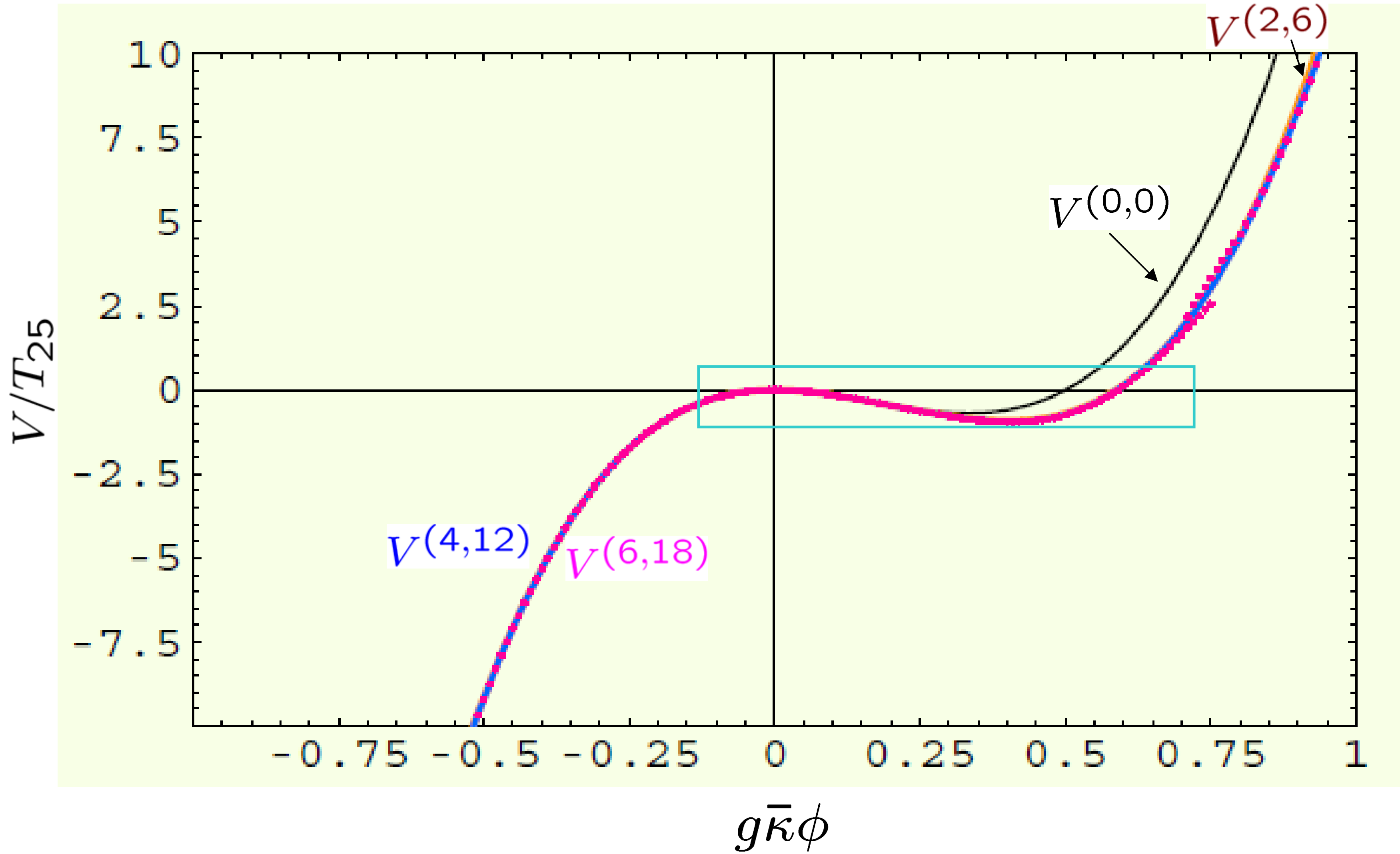
新しいゲージによるレベル切断近似による解析を行った.

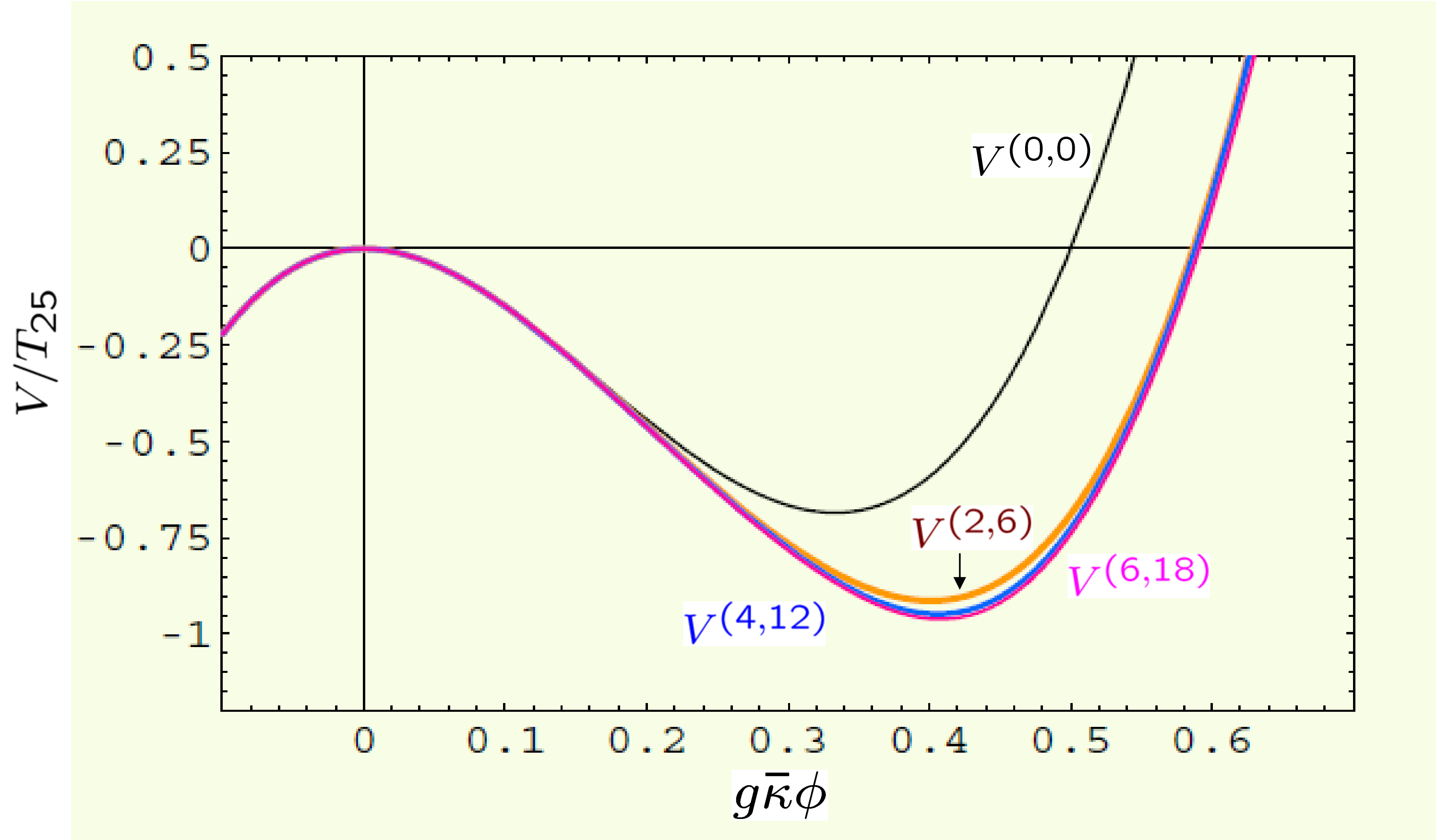
- V(φ) のゲージ依存性を調べた.
- Siegel ゲージの振る舞い：　‘gauge artifact’

＜Siegel ゲージでのV(φ)＞



例:　レベル (2,6), (4,12), (6,18) ($a = \infty$)




0.5
0.25
0
-0.25
-0.5
-0.75
-1
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
V/T_{25}
$g\bar{\kappa}\phi$
$V^{(0,0)}$
$V^{(2,6)}$
$V^{(4,12)}$
$V^{(6,18)}$

○ まとめと展望

◆ まとめ

・ 弦の場の理論の新しい共変ゲージを提案し、ゲージ固定作用を求めた.

パラメーター a :

$$\begin{cases} a = 0 & \text{Feynman-Siegel ゲージ} \quad b_0\Phi_1 = 0 \quad (\Leftrightarrow\ \omega^{(-1)} = 0) \\ a = \infty & \text{Landau ゲージに対応} \quad b_0 c_0 \tilde{Q}\Phi_1 = 0 \quad (\Leftrightarrow\ \tilde{Q}\phi^{(0)} = 0) \end{cases}$$

＊ Landau ゲージの特徴:
補助場として残る場が多く、Siegel ゲージよりも作用が簡単

・ プロパゲーターを求めた。 ⇒ 振幅の計算

・ Tachyon potential の解析へ応用

- ・ V(ϕ) のゲージ(非)依存性
- ・ Siegel ゲージの振る舞い: ‘gauge artifact’

◆ 展望

- 振幅（tree, loop）の計算
  → ゲージ不変性、対称性、・・・

- 相互作用項を含めた作用の特徴（特に、Landau ゲージ）

- Schnabl の frame での応用の可能性

Schnabl gauge: $\mathcal{B}_0\Phi_1 = 0$ ⇒ 拡張？

↕

Siegel ゲージ

⇒ 応用