Higher Level Open String States from Vacuum String Field Theory [1]

京都大学素粒子論研究室　古結　尚
E-mail:　kogetsu@gauge.scphys.kyoto-u.ac.jp

Sen の予想のうち、開弦理論のタキオンが凝縮した後の真空では励起モードが存在しないという予想を確かめる一つのアプローチとして、真空の弦の場の理論 (VSFT) が存在する。この予想を確かめるためには、VSFT の古典解が開弦の D-25 ブレーン解をもち、その周りの揺らぎが開弦の励起モードを再現する必要がある。我々は真空の弦の場の理論の古典解の周りで、開弦理論の高次の励起モードを表わす揺らぎを振動子で構成した [1]。

VSFT 作用の運動項は物理的な状態を持たず、タキオン凝縮後の真空を表していると考えられ、次のように与えられる。

$$S = -K\Big(\frac{1}{2}\Psi\cdot\mathcal{Q}\Psi + \frac{1}{3}\Psi\cdot(\Psi*\Psi)\Big)$$

ここで K は定数、Ψ は弦の場である。また $\mathcal{Q}$ は c ゴーストのみで構成されており、物理的な状態が存在しない真空に対応している。この運動方程式 $\mathcal{Q}\Psi+\Psi*\Psi=0$ の古典解 $\Psi_{\rm c}$ と、その周りの揺らぎのタキオン状態 $\Phi_{\rm t}$ は求められている [2]。そこで高次の励起モードとして、このタキオン状態に k 個の matter 生成演算子 $a^\dagger$ を掛けた状態を仮定しその質量を調べたところ、素朴な解析では全て massless になってしまうことがわかった。具体的には、仮定した状態 Φ に対する線型な運動方程式 $\mathcal{Q}_{\rm B}\Phi=0$ は、弦を右半分と左半分のモードに射影する射影演算子 $\rho_\pm$ で構成されており、この演算子の基本性質 $\rho_\pm^2=\rho_\pm$ から massless であることが得られる。しかしながら $\rho_\pm$ が射影演算子にもかかわらず固有値 $1/2$ を持つならば、上の状態は質量の 2 乗 $(k-1)\alpha'$ をもつことになる。もちろん有限次元空間ではこのような固有値 $1/2$ を持つことはできない。ところが、弦のレベルについて無限次元空間にある演算子である $\rho_\pm$ には微妙な点が存在する。事実、固有値解析を行なうと $\rho_\pm$ の固有ベクトルは同時に、Virasoro 代数 $K_1=L_1+L_{-1}$ の行列表現の固有ベクトル $\boldsymbol{f}^{(\kappa)}: K_1\boldsymbol{f}^{(\kappa)}=\kappa\boldsymbol{f}^{(\kappa)}$ であり、対応する固有値は階段関数 $\theta(\pm\kappa)$ であることがわかる。$\theta(0)$ は定義されていないが、必要な値 $1/2$ を持つかもしれない。この期待が正しいことを確かめるためには、何らかの正則化をして $\rho_\pm$ を解析する必要がある。そこで行列サイズを有限次元に区切る正則化をして数値的に 解析したところ、上の期待を支持する結果を得た：つまり行列サイズを大きくすると、$\rho_\pm$ は固有値 $1/2$ を持ち、それに対応する固有ベクトルとして $\boldsymbol{f}^{(0)}$ を持つことを確かめた。

$\rho_\pm$ が期待される固有値 $1/2$ を持つとしても、まだ問題が残っている。$(a^\dagger)^k|\Phi_{\rm t}\rangle$ の形の揺らぎは、上で言ったような massless 状態とともに、質量の 2 乗として $l\alpha'(l\le k-2)$ の無限の縮退を持っている。これらは不必要なので非物理的な状態であることを示す必要がある。この問題は、massless vector の場合と同じ方法で解ける [3]：つまり、無限個の不要な状態はゲージ変換で除去できることがわかった。

[1] H. Hata and H. Kogetsu, "Higher level open string states from vacuum string field theory," [arXiv:hep-th/0208067].

[2] H. Hata and T. Kawano, "Open string states around a classical solution in vacuum string field theory," JHEP **0111** (2001) 038 [arXiv:hep-th/0108150].

[3] Y. Imamura, "Gauge transformations on a d-brane in vacuum string field theory," [arXiv:hep-th/0204031].

[1] この発表は畑浩之氏との共同研究 [1] に基づく。