Boundary states for D-branes with traveling waves

東京大学理学部　高柳　博充
E-mail: hiro@hep-th.phys.s.u-tokyo.ac.jp

時間発展する背景場上で弦理論を考えることは初期宇宙の解析等の観点から非常に重要であるが、閉弦に対してのそれは取り扱いが非常に困難であるため、まだあまり良く調べられていない。そこで今回は相対的に取り扱いの簡単な、開弦に対しての時間発展する背景場を考えた。その結果、閉弦のそれの定性的な理解が得られると期待できるためである。開弦にとっての背景場は D-brane(開弦の端がつく膜状のソリトン) なので、時間発展をする D-brane を考えれば良い。

具体的には平坦な時空上で、光速で進む波 (形は任意で良い) を含む D-brane[1] を考えた。これは PP-wave 背景場の開弦版と考える事ができる。波は D-brane の変形か D-brane 上のゲージ場として伝えられるが、これらは全て D1-brane 上で変形が進行波となっている場合と T-双対性の下で等価であるため、以下その場合を考える。今回我々はこの D-brane を boundary state formalism で取り扱った [2]。Boundary state formalism では D-brane を閉弦の始状態 (boundary state) として取り扱う。特に今回の場合は開弦は非自明な境界相互作用のため複雑な時間発展をするのに対して、閉弦は一度 D-brane から放出されれば後は自由に伝播するだけなので、閉弦の方が取り扱いが簡単であるという利点がある。

進行波を含む D-brane の boundary state は以下のように通常の D-brane のそれに Wilson loop を掛ける事で得られる。ただし $\Phi_i(x^+)$ は D1-brane の変形波の形を表していて、$x^+ = t + y$ は D1-brane の world volume (t, y) で組んだ光円錐座標、x^i は D1-brane の transverse 方向である。

$$|P\rangle = \exp\Big(- \frac{i}{2\pi\alpha'} \int_0^\pi d\sigma \Phi_i(X^+) \partial_\tau X^i \Big) |D1\rangle \tag{1}$$

ここで重要な点は、上記の利点のお陰でこの state がローレンツ共変に記述できている (光円錐ゲージを取る必要が無い) という事である。光円錐ゲージは弦の世界面の共形対称性を壊してしまうが、弦理論では散乱振幅の計算の際にこの共形対称性に大きく頼る。そのため、より深い解析をするためには光円錐ゲージを用いず記述できている事が必要である。また $\Phi_i(X^+)$ が null であるお陰で上記の state が well defined(繰り込みが不要) であることも重要である。一般の曲がった D-brane の場合で同様の構成をする [3] と、一般には繰り込み (normal order) が必要でその結果境界の共形対称性が破れるからである。

次に boundary state がローレンツ共変に構成できたので、進行波を含む D-brane 間の vacuum amplitude が計算できた。結果は通常の平坦な D-brane 間のそれと同じになったが、確かに PP-wave 背景場の閉弦のトーラス振幅と同様の性質 (平坦な時空のそれと同じ) を持っている。

さて、開弦の光円錐ゲージであらわに見える D-brane の時間依存性を閉弦側で見るためには y 方向をコンパクト化すれば良い。これは開弦側の光円錐運動量が閉弦側では winding mode に相当しているからである。そこでそのような場合に D-brane 間の vacuum amplitude を計算すると、厳密に計算できて確かに y 方向の winding mode の効果で結果が非自明となることがわかった。

参考文献

[1] C. Bachas, Annals Phys. **305** (2003) 286, hep-th/0212217.

[2] Y. Hikida, H. Takayanagi and T. Takayanagi, JHEP **0304** (2003) 032, hep-th/0303214.

[3] C. G. Callan, C. Lovelace, C. R. Nappi and S. A. Yost, Nucl. Phys. B **308** (1988) 221.