

Curso del Posgrado en Ciencias Físicas, Semestre 2024-1
(Actividad Académica 76560, Grupo 1086)
INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE CUERDAS

Alberto Güijosa, alberto@nucleares.unam.mx
Lunes y miércoles 16:00-18:00
(empezaremos 16:10 en punto, con receso ~17:05-17:10)
Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM

Índice Final de los Apuntes (pp. 1-719)

0. **¿Por qué Cuerdas?** [p. 1] Repaso de teoría cuántica de campos. [23] El Modelo Estándar. [34] Problemas estéticos y prácticos del Modelo Estándar. [45] Problemas fundamentales. [60] Propuesta básica de la teoría de cuerdas, ventajas y desventajas.
1. **Cuerdas Bosónicas I:** [80] Repaso de (segunda) cuantización de partículas (campos) por integral funcional. [85] Primera cuantización de partículas. [113] Primera vs. segunda cuantización de cuerdas. [118] Cuantización covariante de cuerdas. [121] Acción de Nambu-Goto y Acción de Polyakov. [136] Norma plana e invariancia conforme. [142] Breve mención de norma del cono de luz. [144] Cuantización covariante antigua, descomposición en modos. [158] Cuerdas abiertas y D-branas. [170] Transformaciones conformes y coordenadas complejas. [189] Propagador, orden normal conforme, y expansión del producto de operadores (EPO). [201] Conmutadores a partir de integral funcional. [205] Estados con norma negativa, constricciones y modos de Virasoro. [214] Pesos conformes, operadores primarios y carga central. [223] Álgebra de Virasoro. [226] Condiciones de estado físico para la cuerda. [229] Espectro de la cuerda abierta. [246] Espectro de la cuerda cerrada. [255] D-branas múltiples y teorías no abelianas. [262] Anomalía de Weyl. [265] Método de Faddeev-Popov y fantasmas. [285] Cálculo de la anomalía de Weyl y dimensión crítica. [293] Breve mención de cuantización BRST.
2. **Cuerdas Bosónicas II:** [300] Ausencia de vértices de interacción, suma sobre topologías. [314] Operadores de vértice, mapeo estado-operador y constante de acoplamiento. [325] Expansión perturbativa de amplitudes de dispersión. [327] El gravitón como deformación de la métrica. [330] Lista de superficies para distintas teorías de cuerdas bosónicas. [347] Relación entre la constante de acoplamiento y la característica de Euler. [352] Estructura global de la hoja de mundo: vectores de Killing conformes, módulos y modos cero de fantasmas. [365] Faddeev-Popov con módulos y vectores de Killing conformes. [368] Amplitudes de cuerda cerrada a nivel árbol. [386] Acción efectiva en el espaciotiempo (marco de cuerdas y marco de Einstein). [390] Amplitudes a un lazo e invariancia modular. [408] Ausencia de divergencias ultravioleta. [423] Cuerdas en fondos no triviales (modelo σ no lineal): anomalía de Weyl, funcionales beta y ecuaciones de movimiento para los campos en el espaciotiempo. Relación entre la constante de cuerdas y el valor de fondo del dilatón. [445] Correcciones cuánticas a la acción efectiva: mecanismo de Fischler-Susskind.

3. **Supercuerdas:** [pp. 449-529] Motivación y formalismo RNS. Supersimetría en la hoja de mundo. Cuantización covariante. Supersimetría en el espaciotiempo. Teorías tipo II. Teorías tipo 0. Teoría tipo I. Teorías Heteróticas.
4. **Dualidad T y D-branas:** [pp. 530-698] Breve repaso de supercuerdas. Compactificación toroidal. Orbivarietades. Dualidad T para cuerdas cerradas. Dualidad T para cuerdas abiertas. D-branas. Estados BPS. Tensión y carga. Espectro de excitaciones. Acción efectiva. Branas negras. Cuerdas Born-Infeld. D-branas y no conmutatividad. Diagrama de cilindro para interacción entre D-branas (=anillo para lazo de cuerda abierta). Dualidad AdS/CFT. Entropía de hoyos negros.
5. **Dualidad y Teoría M:** [pp. 699-719] Acciones efectivas de supergravedad. Autodualidad S en la teoría IIB. Dualidad S entre la teoría I y Heterótica SO(32). Onceava dimensión en la teoría IIA. Teoría M. Teoría Heterótica $E_8 \times E_8$ a partir de la teoría M. Unificación.

Información Importante

Las notas se pueden encontrar en la página

<http://www.nucleares.unam.mx/~alberto/apuntes/indice.html>

El curso lo daré proyectando en Zoom estas notas (con pequeños ajustes). Este formato tiene sus ventajas (principalmente, que podemos enfatizar la discusión de la física en lugar de gastar tiempo en escribir fórmulas, y podemos avanzar más rápido), pero también desventajas (principalmente, que corremos el riesgo de irnos *demasiado* rápido). Puede ser muy engañoso: si no hacen un esfuerzo por seguirle la pista en detalle a lo que voy explicando, tendrán la placentera ilusión de que todo es muy claro, pero no les va a registrar gran cosa. Por favor convézanse entonces de que el que aprendan depende principalmente no de mí sino de ustedes: *es indispensable que estudien el material (incluso consultando otras fuentes) por fuera de la clase, y también que me vayan frenando/retroalimentando con preguntas y comentarios. De ustedes depende que explique las ideas a la velocidad apropiada para que las entiendan.*

Tareas/Evaluación: *Una tarea permanente es repasar las notas y hacer todos los pasos faltantes en los cálculos.* También hay tareas en la página, que seguro conviene que hagan en ese orden conforme avancemos en los distintos temas. Pero si no alcanzamos 5 inscritos, no podremos tener ayudante, así que las tareas no serán para entregar. Ciertamente es recomendable que se organicen para discutir entre ustedes las tareas, la clase misma, y lo que vayan leyendo de otras fuentes.

Pre-requisitos para el curso:

Todos los oyentes son por supuesto bienvenidos. En la medida de lo posible, trataré de que el curso sea auto-contenido; pero para aprovecharlo al máximo, es altamente deseable que conozcan las ideas básicas de teoría de campos y relatividad general. Si requieren ayuda en esos temas, pueden consultar por ejemplo

M. E. Peskin y D. V. Schroeder, *An Introduction to Quantum Field Theory*, Addison-Wesley (1995).

B. F. Schutz, *A First Course in General Relativity*, Cambridge University Press (1994).

Textos base (disponibles en la página del curso):

- J. Polchinski, *String Theory*, Cambridge University Press (1998), vols. I y II.
M. B. Green, J. H. Schwarz, E. Witten, *Superstring Theory*, Cambridge University Press (1987), vols. 1 y 2.
K. Becker, M. Becker y J. H. Schwarz, *String Theory and M Theory*, Cambridge University Press (2007).

Textos de consulta adicionales:

- E. Kiritsis, *String Theory in a Nutshell*, Princeton University Press (2007).
D. Lüst y S. Theisen, *Lectures on String Theory*, Springer-Verlag (1989).
B. Zwiebach, *A First Course in String Theory*, Cambridge University Press (2004).
P. Di Francesco et al., *Conformal Field Theory*, Springer-Verlag (1997).
B. Hatfield, *Quantum Field Theory of Point Particles and Strings*, Addison-Wesley (1992).
C. V. Johnson, *D-branes*, Cambridge University Press (2003).
L. Brink y M. Henneaux, *Principles of String Theory*, Plenum Press (1988).
D. Bailin y A. Love, *Supersymmetric Gauge Field Theory and String Theory*, IOP Publishing (1994).
A. M. Polyakov, *Gauge Fields and Strings*, Harwood (1987).
M. Dine, *Supersymmetry and String Theory*, Cambridge University Press (2007).
M. Nakahara, *Geometry, Topology and Physics*, IOP Publishing (1990).
M. Kaku, *Introduction to Superstrings*, Springer-Verlag (1988).
M. Kaku, *Strings, Conformal Fields, and Topology*, Springer-Verlag (1991).

Otros compendios en la red:

- D. Tong, "Lectures on String Theory," arXiv:0908.0333.
H. Ooguri y Z. Yin, "Lectures on Perturbative String Theories," hep-th/9612254.
E. Kiritsis, "Introduction to Superstring Theory," hep-th/9709062.
J. Bedford (M. B. Green), "An Introduction to String Theory," arXiv:1107.3967.
J. Polchinski, "What is String Theory?," hep-th/9411028.
J. Polchinski, "TASI Lectures on D-branes," hep-th/9911050.
Stefan Förste, "Strings, Branes and Extra Dimensions," hep-th/0110055.
J. H. Schwarz, "Introduction to Superstring Theory," hep-ex/0008017.
A. Sen, "An Introduction to Non-perturbative String Theory," hep-th/9802051.
J. H. Schwarz, "Lectures on Superstring and M Theory Dualities," Nucl. Phys. Proc. Suppl. **55B** (1997) 1, hep-th/9607201.
O. Aharony, S. S. Gubser, J. Maldacena, H. Ooguri, y Y. Oz, "Large N Field Theories, String Theory and Gravity," Phys. Rept. **323**, 183 (2000), hep-th/9905111.
W. Taylor IV, "M(atrrix) Theory: Matrix Quantum Mechanics as a Fundamental Theory," Rev. Mod. Phys. **73**, 419 (2001), hep-th/0101126.
A. W. Peet, "The Bekenstein Formula and String Theory (N-brane Theory)," Class. Quant. Grav. **15**, 3291 (1998), hep-th/9712253.
Para una lista mucho más extensa de compendios sobre distintos temas de cuerdas, ir a <http://www.nucleares.unam.mx/~alberto/physics/stringrev.html>