

Curso de Postgrado: Dualidad AdS/CFT en la Física de Altas Energías

Segundo semestre de 2020

Dr. Martín Schvellinger^{1,2}

*Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata
Instituto de Física La Plata, IFLP-CONICET-UNLP*

Programa del curso:

1- Introducción. Introducción histórica y motivación del curso. Idea general y enunciado de la Conjetura de Maldacena. Repaso de teorías de Yang-Mills. Idea de 't Hooft de la expansión $1/N_c$ de las teorías de Yang-Mills. Comentarios sobre la bibliografía del curso.

2- Teorías de gauge supersimétricas. El álgebra de supersimetría en 3+1 dimensiones. Representaciones de partículas de masa nula. Representaciones de partículas de masa no nula. Supermultipletes de gauge, multipletes quirales e hipermultipletes. Construcción de lagrangianos. Supercampos.

3- Teoría $\mathcal{N} = 4$ super Yang-Mills (SYM). Contenido de campos y lagrangiano de la teoría $\mathcal{N} = 4$ SYM con grupo de gauge $SU(N_c)$. Supersimetría de Poincaré $\mathcal{N} = 4$. Fases dinámicas de $\mathcal{N} = 4$ SYM. La fase conforme. La fase de Coulomb. Teoría de campos conforme en 3+1 dimensiones. Grupo conforme $SO(2,4)$. Extensión al grupo superconforme $SU(2,2|4)$. Multipletes superconformes de operadores locales.

4- Breve introducción a la teoría de supercuerdas y a la dinámica de Dp-branas. La acción de una partícula puntual relativista. La cuerda relativista: acción de Nambu-Goto y acción de Polyakov. Ecuaciones de movimiento. Condiciones de contorno. Cuerdas abiertas. Cuerdas cerradas. Teoría de cuerdas supersimétrica del tipo IIA. Teoría de cuerdas supersimétrica del tipo IIB. Dp-branas. El límites de bajas energías y las teorías de supergravedad en 10 dimensiones. Supergravedad en 11 dimensiones.

5- Dinámica de las teorías de Yang-Mills en la expansión $1/N_c$. El límite de 't Hooft. Representación de doble línea de diagramas de Feynman. Conteo $1/N_c$ de los diagramas de Feynman. Diagramas planares y no planares. Característica de Euler. Relación con la expansión en *genus* de hojas de mundo de cuerdas cerradas y abiertas. *Glueballs*. Mesones en el límite planar. Bariones en el límite planar.

6- Ideas y nociones sobre holografía. Ideas sobre entropía de agujeros negros y holografía. Solución $AdS_5 \times S^5$ de supergravedad del tipo IIB. Dualidad AdS/CFT. Teoría de gauge no abeliana sobre N_c D3-branas. El límite AdS/CFT. Dualidad entre cuerdas cerradas y cuerdas abiertas. Propiedades del espacio-tiempo de anti-de Sitter: AdS_{d+1} Minkowskiano y Euclídeo. Mapeo de simetrías bosónicas. Mapeo de supercargas. Mapeo de parámetros. Dualidad de Olive-Montonen. Breve descripción del mapeo de operadores y campos. *Ansatz* de Witten.

7- Mapeo de operadores y campos. Relaciones entre masas de campos de supergravedad del tipo IIB sobre el fondo $AdS_5 \times S^5$ y dimensiones de escaleo de operadores de la teoría $\mathcal{N} = 4$ super Yang-Mills. Descripción de la correspondencia AdS/CFT entre las representaciones del grupo $SU(2,2|4)$.

8- Funciones de correlación y dualidad AdS/CFT. Funciones de correlación en la correspondencia AdS_{d+1}/CFT_d . Casos de 2, 3 y 4 puntos.

9- Lazos de Wilson y dualidad AdS/CFT. Lazo de Wilson en teorías supersimétricas de Yang-Mills.

¹Profesor del Departamento de Física de la Universidad Nacional de La Plata e Investigador Independiente del CONICET

²martin@fisica.unlp.edu.ar

Estudio desde la teoría cuántica de campos. Prescripciones holográficas duales del lazo de Wilson. Conjetura de Erickson-Semenoff-Zarembo y Drukker-Gross. Lazo de Wilson circular. Suma de diagramas planares. Correcciones a *one-loop*. Cálculo a partir de la recta, transformaciones conformes. Modelos de matrices.

10- Introducción a la localización en teorías de SYM. Idea general. Fórmula de Duistermaat y Heckman. Teorema de Atiyah, Bott, Berline, Vergne.

11- Dispersión de gluones en acoplamiento fuerte. Dispersión de cuatro gluones. Amplitudes de dispersión en AdS_5 . Coordenadas T-duales. Superficies mínimas. Regularización dimensional. El caso de un número muy grande de gluones dispersados.

12- Extensiones de la dualidad AdS/CFT. Caso de teorías de gauge no abelianas en distinto número de dimensiones. Duales holográficos teorías $\mathcal{N} = 2$ SYM en 3+1 dimensiones: el caso $\text{AdS}_5 \times S^5/Z_2$. Duales holográficos de teorías $\mathcal{N} = 1$ SYM en 3+1 dimensiones. Soluciones con cascadas de dualidades. Soluciones con *RG flow*.

13- Dp-branas y simetría de sabor. Límite de prueba. Simetrías globales. Acción de Dirac-Born-Infeld. Extensión no abeliana. Modelos de Dp-branas: D3 D7-branas, D4 D6 anti-D6-branas y el modelo de Sakai y Sugimoto.

14- Hadrones y la dualidad AdS/CFT. Construcciones de Dp-branas y hadrones. Derivación del Lagrangiano quirral. Mesones. Interacciones. Skyrmiones. Vértice bariónico.

15- Estructura de hadrones holográficos. Dispersión elástica. Dispersión inelástica profunda de leptones con carga eléctrica desde hadrones holográficos duales. Construcción de Polchinski-Strassler. Caso de *glueballs*. Parámetro de Bjorken y regímenes de supergravedad y de supercuerdas. Mesones. Relaciones del tipo Callan-Gross. Comparación con *Lattice QCD*. El Pomerón. La aproximación Eikonal.

16- Aplicaciones de la dualidad AdS/CFT a plasmas de quarks y gluones en acoplamiento fuerte. Motivación. Comparación de los plasmas de QCD y de SYM. Caso de plasma de $\mathcal{N} = 4$ SYM. Cálculo holográfico dual del cociente entre la viscosidad de corte y la densidad de entropía (η/s). Cálculo holográfico dual de la conductividad eléctrica (σ), la densidad espectral y la tasa de fotoemisión. Comparación con *Lattice QCD* y con resultados del *Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC)* y del *Large Hadron Collider (ALICE)*.

17- Correcciones desde la teoría de supercuerdas del tipo IIB. Plasma de $\mathcal{N} = 4$ SYM. Correcciones $\mathcal{O}(\alpha'^3)$ a la solución del agujero negro de Schwarzschild asintóticamente AdS_5 . Correcciones $\mathcal{O}(\alpha'^3)$ a coeficientes de transporte de masa, η/s , y de carga eléctrica, σ . Correcciones $\mathcal{O}(\alpha'^3)$ a la densidad espectral y a las tasas de fotoemisión. Comparación con *Lattice QCD* y con resultados del *Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC)* y del *Large Hadron Collider (ALICE)*.

Bibliografía

- Superstring Theory, Vol. 1 y 2, Michael B. Green, John H. Schwarz, Edward Witten, Cambridge University Press.
- String Theory, Vol. 1 y 2, Joseph Polchinski, Cambridge University Press.
- Lectures on String Theory, University of Cambridge Part III Mathematical Tripos, David Tong, 2009.
- A first course in String Theory, Barton Zwiebach, Cambridge University Press.
- Conformal Field Theory, Philippe Di Francesco, Pierre Mathieu, David Senechal, Springer Verlag.
- String Theory and M-theory, Katrin Becker, Melanie Becker and John H. Schwarz, Cambridge University Press.
- Extended Supersymmetry and Gauge Theories. R. Grimm, M. Sohnius, J. Wess. Nucl.Phys. B133 (1978) 275-284.

- A Planar Diagram Theory for Strong Interactions. G. 't Hooft. Nucl.Phys. B72 (1974) 461.
- Baryons in the $1/N$ Expansion. E. Witten. Nucl.Phys. B160 (1979) 57-115.
- The Large N limit of superconformal field theories and supergravity. J. Maldacena. Adv.Theor.Math.Phys. 2 (1998) 231-252.
- Supersymmetric gauge theories and the AdS / CFT correspondence. E. D'Hoker, D. Z. Freedman. 2002. 145 pp.
- Wilson loops in large N field theories. J. Maldacena. Phys.Rev.Lett. 80 (1998) 4859-4862.
- Wilson loops in $N=4$ supersymmetric Yang-Mills theory. J.K. Erickson, G.W. Semenoff, K. Zarembo. Nucl.Phys. B582 (2000) 155-175.
- An Exact prediction of $N=4$ SUSYM theory for string theory. N. Drukker, D. J. Gross. J.Math.Phys. 42 (2001) 2896-2914.
- Meson spectroscopy in AdS / CFT with flavor. M. Kruczenski, D. Mateos, R. C. Myers, D. J. Winters. JHEP 0307 (2003) 049.
- Low energy hadron physics in holographic QCD. T. Sakai, S. Sugimoto. Prog.Theor.Phys. 113 (2005) 843-882.
- Deep inelastic scattering and gauge / string duality. J. Polchinski, M. J. Strassler. JHEP 0305 (2003) 012.
- Deep inelastic scattering cross sections from the gauge/string duality. E. Koile, N. Kovensky, M. Schvellinger. JHEP 1512 (2015) 009.
- Hadron structure functions at small x from string theory. E. Koile, N. Kovensky, M. Schvellinger. JHEP 1505 (2015) 001.
- Gauge/String Duality, Hot QCD and Heavy Ion Collisions. J. Casalderrey-Solana, H. Liu, D. Mateos, K. Rajagopal, U. Wiedemann. Jan 2011. 293 pp.
- Viscosity in strongly interacting quantum field theories from black hole physics. P. Kovtun, D. T. Son, A. O. Starinets. Phys.Rev.Lett. 94 (2005) 111601.
- Quantum corrections to η/s . R. C. Myers M. F. Paulos, A. Sinha. Phys.Rev. D79 (2009) 041901.
- Photon and dilepton production in supersymmetric Yang-Mills plasma. S. Caron-Huot, P. Kovtun, G. D. Moore, A. Starinets. JHEP 0612 (2006) 015.
- Plasma photoemission from string theory. B. Hassanain, M. Schvellinger. JHEP 1212 (2012) 095.