

Acerca del Origen de la Conservación de la Anomalía de Weyl en AdS/CFT, Agujeros Negros en Teorías de Espín Superior y Localización Supersimétrica de Teorías de Calibración

Autor principal

Alejandro Cabo Bizet¹.

Otros autores

Kumar S. Narain², Edi Gava³, Victor I. Giraldo Rivera⁴, Nouman Muteeb⁵.

Entidad ejecutora principal

¹Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN).

Entidades participantes

²ICTP.

³INFN.

⁴SISSA-ICTP.

⁵SISSA.

Autor para correspondencia

Dr. Alejandro Cabo Bizet

Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN)

Calle 30, Esq. a 5ta, Miramar, Ciudad de la Habana, Cuba.

E-Mail: acbizet@gmail.com

Resumen

La ley de conservación de Komargodski fija la manera en que el sistema alejado de la transición, interactúa con el Bosón de Goldstone asociado al rompimiento espontáneo en cuestión. La forma de interacción es universal y permite probar que en su evolución hacia la transición del fase el sistema truncado del Bosón de Goldstone (los Bosones de Goldstone son difíciles de detectar experimentalmente, dado que son campos sin masa. Para los sistemas experimentales usados en Materia Condensada por ejemplo, son prácticamente indetectables) siempre pierde grados de libertad. En su estudio los autores lograron identificar el mecanismo de universalidad detrás de la conservación de anomalía conforme (Ley de Komargodski) en el lado de gravedad de la dualidad 5D AdS/ 4D CFT. Además, en un modelo particular de 4D N=2 supergravedad calibrada, dual a un sistema 2D con transición de fase, se logró identificar la presencia del Bosón sin masa dual y computar sus interacciones con el sistema truncado. Las interacciones coincidieron con la predicción universal de Komargodski y por ende son resultados en favor de ambas, la validez de la conservación de anomalía conforme y la validez de la dualidad AdS/CFT.

En un segundo proyecto los autores identifican nuevos Agujeros Negros en teorías 3D de Chern Simons con grupo de calibración $hs(\lambda) \times hs(\lambda)$. En estas teorías no se conoce aún como leer la estructura causal de la geometría del espacio tiempo asociada a una solución dada. Usualmente un hueco negro presenta un horizonte que cubre una singularidad del espacio tiempo. La evolución temporal de partículas de prueba (sin masa o masivas) acopladas al hueco negro queda confinada a regiones desconexas. El horizonte es el dominio de codimension 1 que separa a dichas regiones. Dichas regiones se definen como causalmente desconectadas. Para identificar una solución de Chern Simons con grupo de calibración $hs(\lambda) \times hs(\lambda)$ como Agujero Negro, la identificación de horizonte no es adecuada. Entre los resultados noveles del este proyecto está la generalización de un método de clasificación de Agujeros Negros adecuado a teorías de espín superior. Los autores logran computar analíticamente el espectro de modos quasinormales en la jerarquía de soluciones reportadas. Sorprendentemente, hace unos meses, el grupo del Dr. Gautam Mandal (TATA Institute for Fundamental Research) hizo una importante observación al respecto. En su estudio de tiempos de relajación de sistemas 2D fuera del equilibrio, Mandal et. al., encontraron un sistema con espectro de tiempos de relajación precisamente coincidente con el espectro de modos quasinormales en los Agujeros Negros antes mencionados. En virtud de AdS/CFT ambos sistemas pueden ser conjeturados como duales. Los detalles de la dualidad específica, se encuentran en estudio actualmente. Cabe puntualizar que la teoría de Generalized Gibbs Ensemble (GGE) para la descripción de sistemas fuera del equilibrio (usada por Mandal et al) para el estudio de Quantum Quenches es una de las teorías con más perspectivas de relevancia en la física estadística contemporánea: Ultra Cold Atoms, etc. Resultados como los aquí presentados por los autores se presume tendrán impacto en dichos campos de la física aplicada en el futuro cercano.

En el tercer proyecto los autores computan las función de partición de una teoría de calibración con N=2 supersimetría. La teoría en cuestión vive en un espacio compacto: una superficie topológicamente equivalente a la esfera 4D. Tal cómputo se relaciona con la función de partición en espacio plano euclídeo no compacto. Las dimensiones del espacio compacto en cuestión, funcionan como regulador de divergencias. En el proceso, parte del espectro se presume queda truncado. En el contexto de AdS/CFT tales funciones de partición se conjeturan podrían corresponder a funciones de partición de Agujeros Negros. En un futuro, generalizaciones de las técnicas usadas

por los autores, podrían arrojar resultados físicos significativos para el mejor entendimiento de la QCD o Cromodinámica Cuántica, la teoría fundamental de las interacciones fuertes (Nuclear y Débil derivan de dicha interacción) a bajas energías. A bajas energías aún no se puede sacar mucha información de la QCD. De ahí la importancia técnica de desarrollar métodos como el presentado por los autores.

Comunicación corta

1- Introducción General

El presente resultado es la compilación de trabajo de investigación doctoral elaborado por el autor principal en el período comprendido entre 2013 y 2014. Los resultados barren tres subcampos de la física de partículas elementales, en específico de teoría de cuerdas. En orden cronológico, el primer proyecto aborda el entendimiento de la dualidad entre teorías de gravedad cuántica y teorías de calibración sin gravedad, también conocida como dualidad AdS/CFT. El segundo proyecto estudia soluciones de Agujeros Negros en teorías de espín superior y sus propiedades absortivas. A diferencia de los otros dos, este proyecto consta de 2 publicaciones científicas. En el tercer proyecto se implementa un método para computar la función de partición en teorías de calibración similares a la QCD pero con la presencia de Supersimetría.

La sección 2 hace referencia al trabajo de tesis doctoral del autor principal. Las secciones 3, 4 y 5 contienen el resumen de la motivación física, resultados e impacto científico, detrás de cada una de las respectivas publicaciones, así como el resumen técnico detallado que corresponde.

2- Holographic Weyl Anomaly Matching Black Holes in 3D Higher Spin Theories[1]

Autor: Alejandro Cabo Bizet

En este trabajo de tesis el autor elaboró resumen de las publicaciones que se detallan a continuación.

3- Holography and Conformal Anomaly Matching [2]

Autores: Alejandro Cabo Bizet, Edi Gava, Kumar S. Narain

3.1 Motivación

En 2011 el Dr. Zohar Komargodski (Weizmann Institute) identificó una propiedad fundamental en teorías de campo cuánticas sin gravedad: "La anomalía conforme se conserva en todas las fases de un sistema cuántico relativista". Las consecuencias prácticas de este descubrimiento pudieran ser revolucionarias. La anomalía conforme es una propiedad física que mide cuán lejano está el sistema de estudio de una transición de fase. En puntos de transición de fase la anomalía conforme se anula, en puntos alejados de una transición, genéricamente, no. En virtud de lógica, se puede concluir que si tal magnitud fuese conservada, entonces debería ser nula en un sistema con transiciones de fase espontánea, como el caso de superconductores, antiferromagnetos, etc, aún fuera de los puntos de transición. La ley de conservación de Komargodski fija la manera en que el sistema alejado de la transición, interactúa con el Bosón de Goldstone asociado al rompimiento espontáneo en cuestión. La forma de interacción es universal y permite probar que en su evolución hacia la transición del

fase el sistema truncado del Bosón de Goldstone (los Bosones de Goldstone son difíciles de detectar experimentalmente, dado que son campos sin masa. Para los sistemas experimentales usados en Materia Condensada por ejemplo, son prácticamente indetectables) siempre pierde grados de libertad. En 2D, tal propiedad se conocía como teorema C. El descubrimiento de Komargodski permitió extender tal observación a sistemas 4D.

3.2 Resultados e Impacto

En [2] se logró identificar el mecanismo de universalidad detrás de la conservación de anomalía conforme, en el lado de gravedad de la dualidad 5D AdS/ 4D CFT. Además, en un modelo particular de 4D $N=2$ supergravedad calibrada dual a un sistema 2D con transición de fase, se logró identificar la presencia del Bosón sin masa dual y computar sus interacciones con el sistema truncado. La forma de las interacciones coincidió con la predicción universal de Komargodski y por ende son resultados en favor de ambas, la validez de la conservación de anomalía conforme y la validez de la dualidad AdS/CFT.

3.3 Resumen Técnico

En [2] los autores discuten varios asuntos relacionados con la conservación de anomalía conforme desde el punto de vista gravitatorio de la AdS/CFT. Por orden de presentación, en la primera parte, los autores actúan con un difeomorfismo PBH en la geometría de RG flow en 5D y muestran que la correspondiente acción efectiva cuántica reproduce el término de Wess Zumino asociado al dilatón del rompimiento de simetría conforme, con el coeficiente esperado $a_{UV} - a_{IR}$.

Luego, consideran un ejemplo particular en 3D. En este caso, la geometría es un RG flow 3D con propiedades asintóticas normalizables en la región UV. Dicha geometría admite un levantamiento a 6D. Los autores promueven el módulo ρ que aparece en dicha geometría a ser función de las coordenadas en la frontera. En 6D, ρ es la escala de un Instantón $SU(2)$. Los autores determinan el background deformado (y diferenciable) hasta segundo orden en derivadas de ρ y encuentran que acción 3D onshell reproduce el término cinético para un campo escalar sin masa $\tau = \log(\rho)$ con el coeficiente correcto $\delta c = c_{UV} - c_{IR}$. Además, los autores analizan las fluctuaciones lineales alrededor de la geometría y background deformados y computan la funciones de un punto del tensor de energía-momentum T . Muestran que estas últimas, son reproducidas por una acción tipo Liouville para el campo escalar τ , con carga de background debida al acoplamiento con la curvatura 2D R_2 . La carga central coincide con δc . Los autores dan una interpretación para esta acción en términos de la (4,0) Teoría de Campo Superconforme (SCT) del sistema D1-D5 en Teoría de Cuerdas Tipo I.

4- Black holes in the 3D higher spin theory and their quasi normal modes [3, 4]

Autores: Alejandro Cabo Bizet, Edi Gava, Victor I. Giraldo, Kumar S. Narain

4.1 Motivación

El segundo proyecto consta de las publicaciones [3, 4] y aborda el tema de Agujeros Negros en teorías de calibración con gravedad y campos con espín superior en AdS. En 2011 Prof. Dr. Per Kraus y Dr. Michael Gutperle (CALTECH) encontraron soluciones de Agujeros Negros con carga de espín superior en una teoría autoconsistente de interacción entre gravedad (campo de calibración de espín 2) y un campo de espín 3 en 3D. Las consecuencias prácticas de la existencia de estas configuraciones no son claras aún. La teoría en cuestión tiene relación con sistemas físicos de naturaleza efectiva 2D. En específico con la descripción del Efecto Hall cuántico. En sistemas donde tal fenómeno se presenta, en virtud de AdS/CFT, la presencia de Agujeros Negros en el lado de gravedad de la 3D AdS/2D CFT en cuestión, pudiera representar la presencia de nuevas fases de estado aún por detectar.

4.2 Resultados e Impacto

En [3, 4] los autores identifican y estudian nuevos Agujeros Negros en teoría 3D de Chern Simons con grupo de calibración $hs(\lambda) \times hs(\lambda)$. En estas teorías no se conoce aún como leer la estructura causal de la geometría del espacio tiempo asociada a una solución dada. Usualmente un hueco negro presenta un horizonte que cubre una singularidad del espacio tiempo. La evolución temporal de partículas de prueba (sin masa o masivas) acopladas al hueco negro queda confinada a regiones disconexas. El horizonte es el dominio de codimensión 1 que separa a dichas regiones. Dichas regiones se definen como causalmente desconectadas. Para identificar una solución de Chern Simons con grupo de calibración $hs(\lambda) \times hs(\lambda)$ como Agujero Negro, la identificación de horizonte no es adecuada. Entre los resultados noveles del este proyecto está la generalización de un método de clasificación de Agujeros Negros adecuado a teorías de espín superior. Los autores logran computar analíticamente el espectro de modos quasinormales en la jerarquía de soluciones reportadas. Sorprendentemente, hace unos meses, el grupo del Dr. Gautam Mandal (TATA Institute for Fundamental Research) hizo una importante observación al respecto. En su estudio de tiempos de relajación de sistemas 2D fuera del equilibrio, Mandal et al, encontraron un sistema con espectro de tiempos de relajación precisamente coincidente con el espectro de modos quasinormales en los Agujeros Negros antes mencionados. En virtud de AdS/CFT, ambos sistemas pueden ser conjeturados como duales. Los detalles de la dualidad específica se encuentran en estudio actualmente. Cabe puntualizar que la teoría de Generalized Gibbs Ensemble (GGE) para la descripción de sistemas fuera del equilibrio (usada por Mandal et al) para el estudio de Quantum Quenches es una de las teorías con más perspectivas de relevancia en la física estadística contemporánea: Ultra Cold Atoms, etc. Resultados como los aquí presentados por los autores se presume tendrán impacto en dichos campos de la física aplicada en el futuro cercano.

4.3 Resumen Técnico de [3]

Una característica distintiva de Agujeros Negros, en espacio-tiempos asintóticamente planos y asintóticamente AdS, es la existencia de modos quasinormales (QNM): Si se perturba un Agujero Negro se encuentran modos atenuados, i. e. modos cuyas frecuencias son complejas. La presencia de estas frecuencias señala el hecho de que

el correspondiente campo, es absorbido por el Agujero Negro. Las AdS/CFT interpreta estos modos, desde el lado de la CFT, como una descripción del ritmo de acercamiento al equilibrio de un estado térmico perturbado. Este fenómeno ha sido estudiado extensamente, especialmente luego de la propuesta de la correspondencia AdS/CFT. En particular para gravedad acoplada a campos de materia en $D=3$, el caso del Agujero Negro BTZ ha sido estudiado en detalle.

En esta publicación los autores introducen una jerarquía de soluciones y muestran que estas, definen horizontes suaves por medio del uso de la relación conexión-métrica previamente propuesta en la literatura, por otros autores.

Luego, identifican los parámetros μ ; $\bar{\mu}$ presentes en sus soluciones, con los potenciales químicos introducidos en las soluciones previamente reportadas en la literatura para Agujeros Negros $SL(3)$ con carga de espín superior y álgebra de simetría asintótica $W_3 \times W_3$. Los autores logran tal identificación mediante el cómputo de las transformaciones de calibración que relacionan sus soluciones con las de los Agujeros $SL(3)$. Luego, los autores discuten las ecuaciones de movimiento para un campo escalar efectivo que se propaga en sus soluciones y describen la estrategia para resolverlas en el caso de escoger un elemento genérico en la jerarquía de Agujeros. Se dan además, las soluciones explícitas para un par de casos particulares. Finalmente, los autores obtienen el espectro de QNM y la funciones de dos punto frontera-bulk y transforman sus resultados a otros gauges antes reportados en la literatura.

4.4 Resumen Técnico: About the Phase Space of $SL(3,R)$ Black Holes [4]

Autores: Alejandro Cabo Bizet y Victor I. Giraldo Rivera

En esta publicación se estudia el álgebra de simetría asintótica de las soluciones de Agujeros negros encontrados en [3]. Los autores empiezan por una revisión del formalismo de Regge-Teitelboim en el marco de teorías de Chern Simons en espacio tiempo 3D con fronteras. Los autores computan el álgebra de brackets de Dirac asociada al espacio de fase de Agujeros Negros $SL(3)$ previamente reportados y denotado como espacio de fase-P para evitar confusión. Ellos chequean que esta álgebra no es isomorfa a W_3 , como incorrectamente se había concluido en la literatura del tema. En conclusión, los autores desarrollan las herramientas para interpretar correctamente estos resultados previos y resuelven de esta manera una aparente contradicción, que previamente existía en la comunidad. Los autores prosiguen a computar el álgebra de brackets de Dirac a tiempo fijo. Este espacio de fase contiene Agujeros Negros y los autores prueban que su álgebra de simetría asintótica es isomorfa a $W_3^{(2)}$, en primer orden de perturbaciones del inverso del potencial químico μ_3 .

5 Partition function of $N = 2$ gauge theories on a squashed S_4 with $SU(2) \times U(1)$ isometry [5]

Autores: Alejandro Cabo Bizet, Edi Gava, Victor I. Giraldo, Nouman Muteeb, Kumar S. Narain

5.1 Motivación e Impacto

En el tercer proyecto los autores computan la función de partición de una teoría de calibración con $N=2$ supersimetría. La teoría en cuestión vive en un espacio compacto: una superficie topológicamente equivalente a la esfera 4D. Tal cómputo se relaciona con la función de partición en espacio plano euclídeo no compacto. Las dimensiones del espacio compacto en cuestión, funcionan como regulador de divergencias. En el proceso parte del espectro se presume queda truncado. En el contexto de AdS/CFT tales funciones de partición se conjetura podrían corresponder a funciones de partición de Agujeros Negros. En un futuro, generalizaciones de las técnicas usadas por los autores, podrían arrojar resultados físicos significativos para el mejor entendimiento de la QCD o Cromodinámica Cuántica, la teoría fundamental de las interacciones fuertes (Nuclear y Débil derivan de dicha interacción) a bajas energías. A bajas energías aún no se puede sacar mucha información de la QCD. De ahí la importancia técnica de desarrollar métodos como el presentado por los autores.

5.2 Resumen Técnico

En [5], los autores computan la función de partición supersimétrica $N = 2$ en una squashed S_4 con isometría $SU(2) \times U(1)$ y muestran que el resultado es independiente parámetros de deformación de la geometría y de los backgrounds provenientes de supergravedad. En el caso de teorías $N = 2$ en elipsoides, previamente consideradas en la literatura, la isometría es genéricamente $U(1) \times U(1)$. En el límite $l = r$, previamente considerado en la comunidad, esta simetría se acentúa al subgrupo $SO(3) \times SO(2)$ de $SO(5)$. Por otra parte, la isometría $SU(2) \times U(1)$ de nuestro caso, es un subgrupo de $SO(4) = SU(2)_L \times SU(2)_R$. En la primera parte de la publicación los autores dan las ecuaciones de Killing spinors para $N = 2$ supersimetría rígida en la squashed- S_4 . Luego, se presentan la métrica y conexión de espín de la squashed- S_4 y se resuelven las ecuaciones de Killing spinors. Se calculan además los otros campos de background y se dan las condiciones para su diferenciabilidad. Se computa además la acción de Q^2 sobre los campos del multiplete vectorial e hypermultiplete. Se encuentran las configuraciones de ensilladura y el determinante funcional a nivel de 1-lazo cuántico para el multiplete vectorial e hypermultiplete, respectivamente. Finalmente, los autores comentan acerca de la contribución de Instantones y Anti-Instantones puntuales a la función de partición supersimétrica en cuestión.

Referencias Bibliográficas

- [1] A. Cabo-Bizet, Holographic Weyl Anomaly Matching & Black Holes in 3D Higher Spin Theories. PhD thesis, SISSA, Trieste, 2014.
- [2] A. Cabo-Bizet, E. Gava, and K. S. Narain, Holography and Conformal Anomaly Matching, JHEP 11 (2013) 044, [arXiv:1307.3784].
- [3] A. Cabo-Bizet, E. Gava, V. I. Giraldo-Rivera, and K. S. Narain, Black Holes in the 3D Higher Spin Theory and Their Quasi Normal Modes, JHEP 11 (2014) 013, [arXiv:1407.5203].
- [4] A. Cabo-Bizet and V. I. Giraldo-Rivera, About the phase space of $SL(3)$ Black Holes, JHEP 03 (2015) 081, [arXiv:1407.8241].
- [5] A. Cabo-Bizet, E. Gava, V. I. Giraldo-Rivera, M. N. Muteeb, and K. S. Narain, Partition function of $N=2$ gauge theories on a squashed S_4 with $SU(2) \times U(1)$ isometry, Nucl. Phys. B899 (2015) 149–164.