Tema para Seminario de investigación

Orientación: Física

Título del tema: Objetos compactos autobalanceados con dos fluidos en Relatividad General

Investigadores/docentes a cargo: Andrés Aceña, Iván Gentile de Austria

Contacto: acena.andres@gmail.com

Descripción: En física, y en particular en Relatividad General, ha sido difícil obtener conclusiones con valor predictivo para sistemas generales. Así, se utilizan modelos particulares como forma de obtener resultados que sean generalizables. En el estudio de sistemas aislados, un modelo de materia útil es el polvo cargado autobalanceado (PCA). Se trata de un fluido perfecto sin presión donde la repulsión eléctrica está exactamente balanceada con la atracción gravitatoria. Con este modelo de materia se han podido estudiar fenómenos como el redshift posible para objetos compactos o la densidad de carga permitida. Comenzando una larga historia, los primeros modelos de espacio-tiempos fueron presentados por Majumdar [10] y Papapetrou [12] para sistemas de partículas discretas. Si la solución es de vacío, entonces a cada partícula le corresponde un horizonte de eventos que se interpreta como un espacio-tiempo de Reissner-Nordstöm extremo [8]. Para obtener interiores regulares y representar objetos astronómicos se puede utilizar PCA, como muestra [7], y recientemente analizado en [13]. La propiedad distintiva de PCA es que cualquier distribución estática da lugar a una solución de las ecuaciones de Einstein-Maxwell y ha permitido construir espacio-tiempos con características deseables. Así, se utiliza en el estudio de la relación entre carga y masa en el espacio-tiempo de Reissner-Nordström y la construcción de un modelo de carga puntual [3]. También, en [5], se utilizó PCA para construir objetos estáticos con densidad divergente, y en [6] se muestra que redshifts no acotados se pueden obtener de objetos regulares. Modelos analíticos más complicados también se pueden construir, en particular esferoides de PCA, que permiten discutir la conjetura de anillo para la formación de agujeros negros [4]. Una característica especial de las soluciones construidas es que se las puede hacer tan cercanas como se quiera a un agujero negro de Reissner-Nordström extremo, lo que se ha estudiado en [9] y en [11]. Si bien es extremadamente interesante analizar estas preguntas complicadas con modelos específicos, una suposición subyacente cuando

se generalizan resultados particulares a situaciones generales es que dichos modelos son estables. Si la solución es estable se espera que puedan aparecer situaciones físicamente realistas cercanas al modelo, aunque la solución exacta no aparezca, dado que siempre existen perturbaciones. Como contraparte, si la solución es inestable, entonces no hay esperanza de encontrarla en la naturaleza, y las conclusiones generales pierden fuerza. La discusión de PCA con respecto a estabilidad es difícil y complicada, como en general sucede con preguntas de estabilidad. Dejando de lado que polvo es siempre una aproximación donde se ha despreciado la energía térmica, el hecho de tener que ajustar la relación entre carga y masa en forma específica hace que el modelo sea difícil de justificar en términos de modelos de materia más fundamentales. Relacionada con la pregunta de estabilidad de espacio-tiempos con PCA está la pregunta sobre la estabilidad de esferas cargadas con presión. Este problema fue analizado en [2], donde se resuelven las ecuaciones estáticas numéricamente para varias ecuaciones de estado y se realiza un análisis energético y de modos normales. Se encontró que en general hay un límite para la estabilidad, a partir del cual las soluciones son inestables y por lo tanto colapsan formando un agujero negro. Más cerca de la estabilidad de ECD es el trabajo [1], donde se analiza la perturbación lineal de las soluciones, encontrando que la llamada estabilidad indiferente de las mismas se traduce en que los elementos del fluido perturbado no experimentan fuerzas, y por lo tanto se mueven como una partícula libre de fuerzas. Esto lleva a concluir que, si la solución estática se encuentra cerca de formar un agujero negro, entonces la perturbación lleva a la formación del mismo, lo que indicaría que la solución es inestable. Sin embargo, para llegar a esa conclusión se utiliza la versión lineal de las ecuaciones, y por lo tanto es un resultado que requiere ser explorado en mayor profundidad, aunque a la vez el tratamiento analítico general es extremadamente complicado. Como se dijo, una de las características de PCA es que la relación entre carga eléctrica y masa tiene que estar perfectamente ajustada. En las partículas fundamentales que encontramos en la naturaleza dicha relación no se satisface. O bien las partículas son neutras, o la fuerza debido a la carga eléctrica supera por mucho a la fuerza gravitatoria. Como ejemplo, si se quisiera hacer un fluido que en promedio tuviera la relación carga-masa correcta con hidrógeno, habría que ionizar sólo 1 en 10^18 átomos [3]. Si este argumento se quiere aplicar estrictamente a PCA, la suposición es que el fluido en promedio se va a comportar como si estuviera formado por un sólo componente, en lugar de tener dos componentes, lo cual a priori no está justificado, y es una pregunta que no se ha explorado. El problema a investigar en el presente proyecto es qué sucede cuando en lugar de un sólo fluido de PCA se utilizan dos fluidos perfectos, cuya relación carga-masa no corresponde a PCA pero que en promedio sí la satisfacen, y se intenta obtener un objeto compacto en Relatividad General. Debido a la dificultad que presentan las ecuaciones de Einstein-Maxwell, primero se intentará resolver el problema en simetría esférica, y luego sin

simetría. La importancia de dilucidar el punto planteado está en que ninguna partícula fundamental conocida satisface la relación carga-masa necesaria, y por lo tanto si existiera en el universo objetos formados de PCA tendrían que serlo en promedio y no exactamente. Así, si el resultado es que es imposible formar objetos compactos con dos fluidos en Relatividad General, entonces se debe ejercer cautela al extraer conclusiones físicas del modelo. Por el otro lado, en el caso de que no haya trabas teóricas a la formación de dichos objetos, el siguiente paso sería estudiar la estabilidad de los mismos. En el caso de PCA, en [1] se obtuvo que, a nivel lineal, las perturbaciones esféricamente simétricas de soluciones con dicha simetría siguen trayectorias libres de fuerza. El mismo estudio se tendría que generalizar para el caso presente de dos fluidos.

La metodología es un estudio teórico-matemático deductivo, basado en modelado matemático en física dentro del paradigma de la Relatividad General. Este proyecto consiste del estudio analítico de las ecuaciones de Einstein- Maxwell para el caso particular de dos fluidos perfectos sin presión cargados, primero con simetría esférica y luego sin simetría. Para esto se toman las ecuaciones de Einstein-Maxwell y de continuidad para los fluidos, y se utiliza la simetría esférica en la métrica y corriente de materia para derivar las ecuaciones correspondientes. Estas ecuaciones incluyen relaciones entre la densidad de carga eléctrica y la densidad de materia, que deben satisfacerse para los fluidos. En el caso de que la relación carga-masa de PCA deba satisfacerse en promedio, entonces es posible formar objetos compactos y el siguiente paso es generalizar el estudio de estabilidad lineal realizado en [1].

Bibliografía citada

[1] A. Aceña e I. Gentile de Austria, Spherically symmetric linear perturbations of electrically counterpoised dust. Class. Quantum Grav. 38(6):065007, doi: 10.1088/1361-6382/abda63. ArXiv e-prints, arXiv:2010.01744 [gr-qc] (2021)

[2] P. Anninos and T. Rothman, Instability of extremal relativistic charged spheres, Phys. Rev. D 65:024003 (2001)

[3] W. B. Bonnor, The mass of a static charged sphere. Z. Physik 160, 59–65 (1960)

[4] W. B. Bonnor, A model of a spheroidal body, Class. Quantum Grav. 15(2), 351–356 (1998)

[5] W. B. Bonnor and S. B. P. Wickramasuriya, A static body of arbitrarily large density, Int J Theor Phys 5, 371375 (1972)

[6] W. B. Bonnor and S. B. P. Wickramasuriya, Are Very Large Gravitational Redshifts Possible?, Mon. Not. R. Astr. Soc. 170(3), 643–649 (1975)

[7] A. Das, A Class of Exact Solutions of Certain Classical Field Equations in General Relativity, Proc. R. Soc. Lond. A 267, 1–10 (1962)

[8] J. Hartle and S. Hawking, Solutions of the Einstein-Maxwell Equations with Many Black Holes, Commun. math. Phys. 26, 87–101 (1972)

[9] D. Horvat, S. Ilijić and Z. Narančić, Regular and quasi black hole solutions for spherically symmetric charged dust distributions in the EinsteinMaxwell theory, Class. Quantum Grav. 22(19), 3817–3831 (2005)

[10] S.D. Majumdar, A class of exact solutions of Einsteins field equations, Phys. Rev. 72, 390 (1947)

[11] R. Meinel and M. Htten, On the black hole limit of electrically counterpoised dust configurations, Class. Quantum Grav. 28(22), 225010 (2011)

[12] A. Papapetrou, A static solution of the equations of the gravitational field for an arbitrary charge-distribution, Proc. R. Irish Acad. A 51, 191–204 (1945)

[13] V. Varela, Construction of Sources for Majumdar-Papapetrou Spacetimes, General Relativity and Gravitation 35(10), 1815–1831 (2003)