

Tema 3.3. Relatividad general de Einstein, agujeros negros y universos abiertos y cerrados.

Laplace

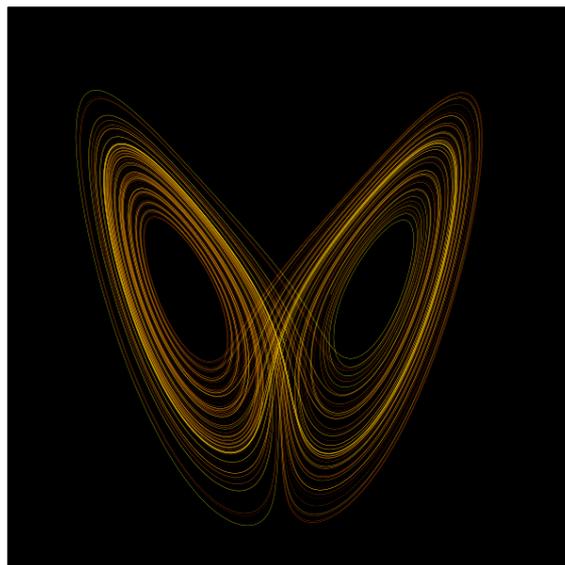
[Pierre Simón de Laplace](#) (1749-1827) desarrolló potentes métodos para calcular las posiciones de los astros y llegó a predicciones muy precisas de estos. Esto le llevó a pensar que toda la mecánica era determinista y que si se conocían con suficiente precisión la posición y velocidad de los astros en un momento podían llegar a calcularse en cualquier otro. Inició así lo que se denomina “determinismo” puesto que las condiciones iniciales determinan toda evolución posterior.



Algunos partidarios del determinismo extrapolaron esto a otros ámbitos llegando a negar la misma libertad humana, puesto que en las condiciones iniciales de cualquier sistema (incluido como tal una persona o la misma sociedad) estarían determinadas inexorablemente cualquier evolución posterior. Esto no deja de ser una reformulación del “destino”. Para los antiguos griegos el destino de una persona estaba escrito antes de nacer y no se podía hacer nada para cambiarlo.

Esta conclusión tiene consecuencias decisivas en la filosofía y la forma misma de afrontar la existencia del ser humano puesto que le niega la libertad real y con ella la responsabilidad.

Esta visión fue radicalmente modificada por dos descubrimientos del siglo XX: el caos y la mecánica cuántica.



Atractor “caótico” de Lorenz

Edward Lorenz en 1953 describió por primera vez un fenómeno caótico estudiando un sistema de tres ecuaciones que describía variables climatológicas, pero el fenómeno es muy extendido en sistemas dinámicos de cualquier tipo, incluyendo la mecánica celeste. Así en un sistema de tres cuerpos atrayéndose gravitatoriamente aparecerá el caos. Este consiste en que por muy cerca que estén dos situaciones iniciales, transcurrido un tiempo estarán completamente alejados uno de otro. Esto hace que en estos sistemas sea imposible determinar con precisión la evolución del mismo. Justo lo contrario de lo que pensaba Laplace.

Por otro lado, el establecimiento a principios del siglo XX, de la mecánica cuántica en la que intrínsecamente hay una incertidumbre en las variables de los sistemas y en los que sólo se puede conocer la probabilidad de obtener valores determinaron había ya minado definitivamente la idea determinista. La libertad humana en la filosofía del siglo XX vuelve a aparecer fuera de un esquema determinista.

Coriolis y Foucault.



El francés [Gaspard Coriolis](#) (1792-1843) estableció cómo trasladar las leyes de Newton a sistemas acelerados de cualquier forma –que ahora llamaríamos sistemas no inerciales-. Esto incluye cualquier sistema que esté girando como puede ser la Tierra y explica fenómenos como el giro de los remolinos o de los ciclones atmosféricos.

Fue entonces [León Foucault](#) (1819-1868) quien demostró el giro de la Tierra mediante el famoso péndulo que lleva su nombre. Este evidencia que la Tierra gira respecto de un sistema “inercial”. En el sistema inercial se cumplen las leyes de Newton.

El problema que se planteaba entonces es cuál es el sistema inercial adecuado. La Tierra era claro que se movía respecto de ese sistema



El éter.

Las leyes de Newton se cumplen en un sistema inercial o dicho de otra manera llamamos sistema inercial a todo aquel en el que se cumplen las leyes de Newton. Esta afirmación es algo más que una definición puesto que implica que efectivamente existen estos sistemas. Además, fácilmente puede demostrarse que si tenemos un sistema

inercial, cualquier otro sistema que se mueva respecto del primero con velocidad constante y sin girar será también un sistema inercial.

Aquí surgió de forma natural una pregunta que al final del siglo XIX ocupó grandes mentes: ¿cómo saber cuál de ellos está quieto y cual se mueve? Y de aquí nació el concepto del “éter” como “substrato” en el que sucedían los fenómenos físicos.

Para determinar si la luz era arrastrada por el éter los físicos Michelson y Morley idearon un experimento de interferencia que compara el tiempo recorrido por dos haces de luz –uno perpendicular y otro paralelo a la dirección en que la Tierra se mueve-. El resultado fue que no había ningún arrastre ni tenía sentido el éter: la velocidad de la luz es la misma en todas direcciones.

Albert Einstein y la relatividad especial y general



Esta constancia de la velocidad de la luz es la que lleva a Albert Einstein a formular su teoría de la relatividad especial que tiene como hipótesis que las leyes de la física son las mismas en cualquier sistema inercial y no tiene sentido decir que un sistema sea especial por estar quieto. Albert Einstein (1879-1955) en 1915 presentó en la academia prusiana de ciencias una generalización de esta teoría: la relatividad general. En ella la gravedad se plantea como una curvatura del espacio-tiempo generada por las masas. En un libro que escribió con L. Infeld titulado “El significado de la relatividad” expone de forma divulgativa estos principios. Para ello, por ejemplo, expone el caso de un ascensor en caída libre en el que se dejan dos pequeñas masas. La diferencia entre ese ascensor cayendo en un campo gravitatorio y ese mismo ascensor si fuera un sistema inercial fuera

de cualquier campo es que en el primer caso las masas se irían aproximando poco a poco según se dirigen hacia el centro de atracción gravitatoria mientras que en el segundo caso permanecerían en sus posiciones. A. Einstein lo interpreta de forma que la gravedad está “curvando” el espacio.

Como sus ecuaciones llevaban a un universo en expansión, Einstein introdujo ad hoc un término diagonal multiplicado por una “constante cosmológica” para conseguir que el universo fuera estacionario como se pensaba en ese momento.

Después de los descubrimientos de Hubble y la demostración de que el universo está en expansión, se ha podido determinar que el valor de la constante cosmológica es muy pequeño. Sin embargo, diversas teorías habían predicho valores enormes para dicha constante. Dependiendo de los modelos podríamos tener un universo en constante expansión (universo abierto) o en expansión y posterior contracción (universo cerrado) que acabaría colapsando de nuevo sobre sí mismo.

Agujeros negros



Las ecuaciones de la relatividad general de Einstein admiten una solución de forma que si se concentra una masa suficientemente grande se produce una zona a su alrededor de la que no puede escapar nada, ni siquiera la luz. Puesto que la misma luz queda atrapada su aspecto es negro y puesto que se trata de un atractor gravitatorio que atrapa todo, se denominó “agujero negro”. Esto fue propuesto teóricamente por Karl Schwarzschild (1873-1916). Este falleció durante la primera guerra mundial y no pudo saber hasta qué punto había acertado.

Otros tipos de agujeros negros pueden predecirse si además tienen un momento angular o carga eléctrica. Además surgen otras propiedades curiosas si se tiene en cuenta la mecánica cuántica y puede definirse una temperatura del agujero negro.

Actualmente hay evidencias experimentales de que existen agujeros negros y que posiblemente en el centro de muchas galaxias –incluida la vía láctea- hay agujeros negros. De hecho la ESA está realizando un censo de agujeros negros: http://www.esa.int/esaSC/SEMKV66LARE_index_0.html

La materia oscura

La dinámica de las estrellas, galaxias y cúmulos de galaxias lleva a pensar que hay una gran cantidad de masa en el espacio que no somos capaces de observar de ninguna forma. Es masa que no absorbe ni emite radiación.

Aunque hay otras teorías para explicar estas dinámicas la de la materia oscura es la más aceptada actualmente y para la que parece comienzan a confirmarse experimentalmente algunos datos: http://www.esa.int/esaCP/SEM5SHV681F_index_0.html. De hecho la materia oscura debería ser la mayor parte de la existente en el universo.

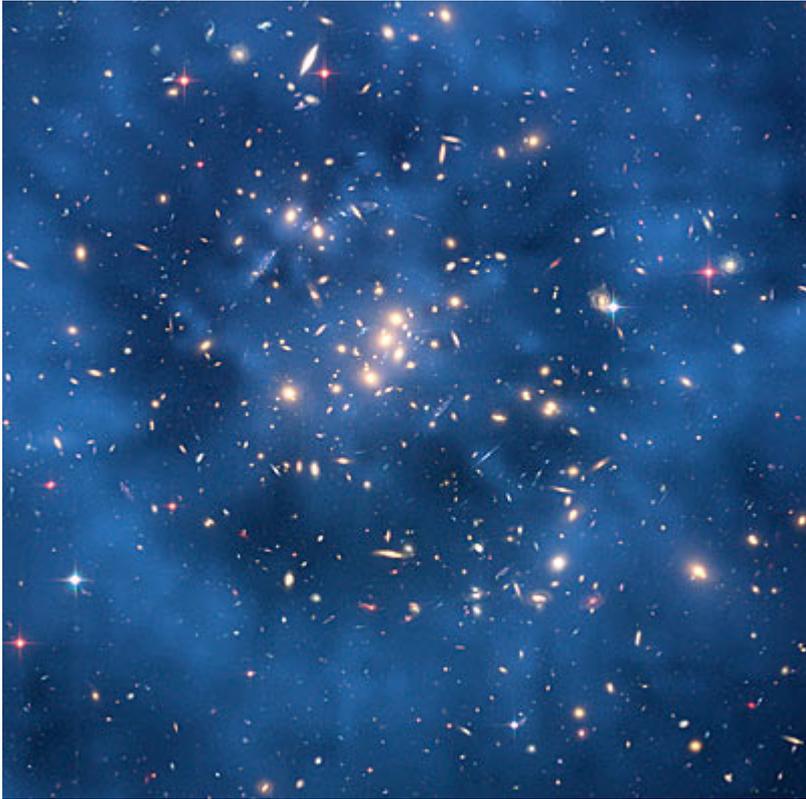


Imagen ESA.2007.