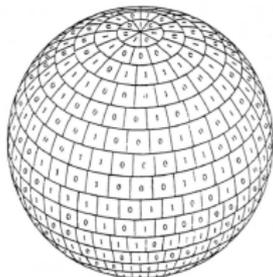


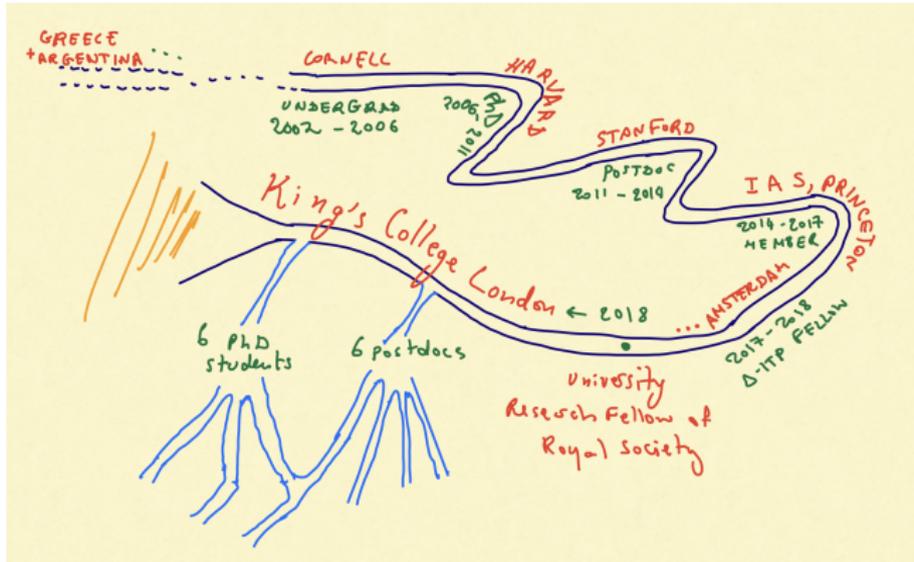
# UN PASEO POR EL ESPACIO Y TIEMPO



Dionysios Anninos



THE  
ROYAL  
SOCIETY

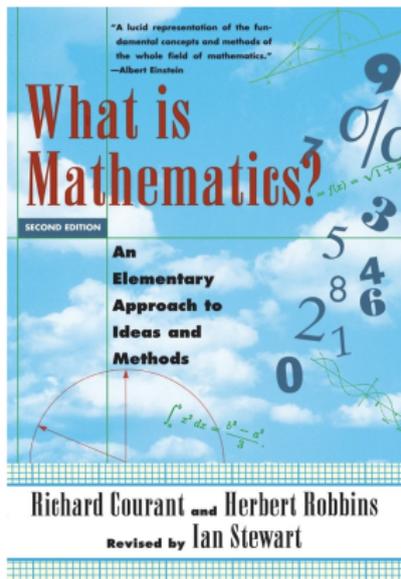


Uno de los objetivos de un físico teórico es descubrir expresiones matemáticas para describir los fenómenos de la naturaleza.

La idea de que las matemáticas son un lenguaje que puede usarse para describir la naturaleza es una hipótesis poderosa que ha impulsado la ciencia.



Ha persistido durante más de cuatro siglos (Galileo, 1623).



“Que son las matemáticas?” de Richard Courant & Herbert Robbins

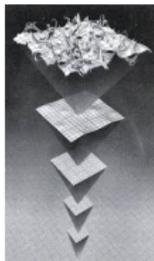
Una de las primeras expresiones de las matemáticas como lenguaje de la ciencia es la ecuación de Newton (1687).

$$\mathbf{a} = \frac{1}{m} \mathbf{F}$$

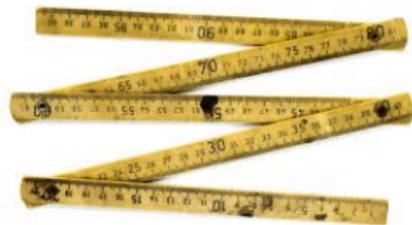
En palabras: la aceleración de un cuerpo va como la fuerza ejercitada sobre el cuerpo.

La ecuación relaciona las propiedades dinámicas de un cuerpo (aceleración) con las influencias externas que experimenta el cuerpo (fuerza).

# EL ESPACIO Y EL TIEMPO

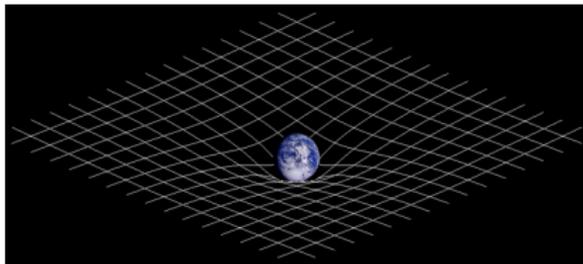


Ordinariamente, medimos el espacio con una regla, y el tiempo con un reloj.



Son conceptos que solemos pensar como separados.

En 1915, Einstein combinó el espacio y el tiempo en una perspectiva unificada – el **espacio-tiempo**. Explicó cómo los cuerpos astronómicos influyen en el espacio-tiempo.



Por ejemplo: ¡cerca de cuerpos muy pesados el tiempo fluye mas despacio!

(ver experimentos de Pound-Rebka 1959 y Hafele-Keating 1971)

Existe un conjunto de ecuaciones que describe la teoría del espacio-tiempo

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Escribo la ecuación para enfatizar que existe y es elegante (¡no espero que la entiendan!).

Ha sido estudiada por matemáticos y físicos desde su inicio.

En 1965 Roger Penrose logró demostrar que las ecuaciones de Einstein predicen la existencia de **agujeros negros**.

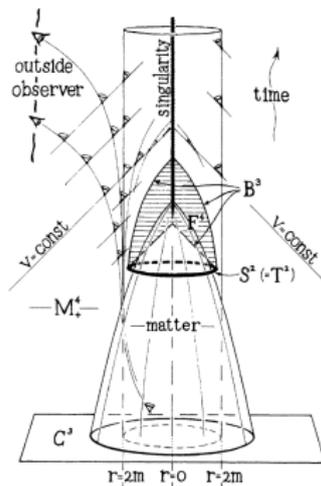
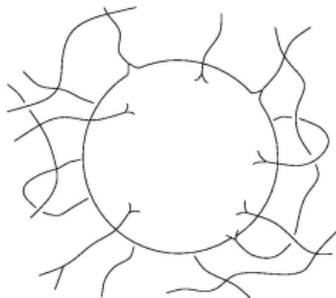
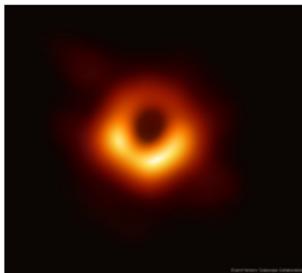


FIG. 1. Spherically symmetrical collapse (one space dimension suppressed). The diagram essentially also serves for the discussion of the asymmetrical case.

## AGUJEROS NEGROS



A primera vista, los agujeros negros son casi como regiones del espacio-tiempo sin características particulares, de cuyo horizonte ni siquiera la luz puede escapar.



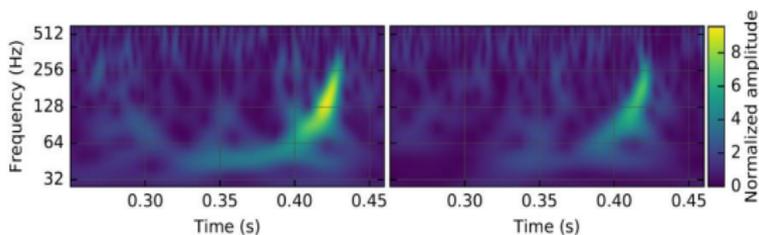
Event horizon telescope (2019)

Son un tipo de región final del espacio-tiempo. El tamaño de un agujero negro tan pesado como el sol es de nada mas 3 km. (El tamaño del sol es de un millón de km.)

Aunque las ecuaciones predijeron los agujeros negros, muchos físicos dudaron de su existencia durante mucho tiempo...

# 2016: ¡LOS AGUJEROS NEGROS SE OBSERVAN!

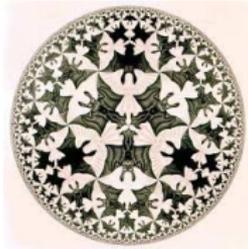
A partir de 2016 estamos midiendo las propiedades detalladas de los agujeros negros.



Evento en el experimento LIGO (2016)

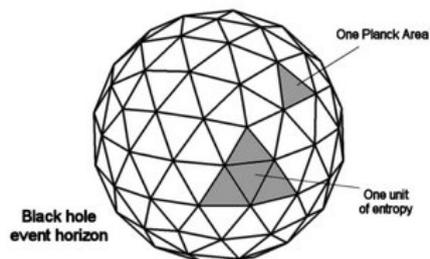
El universo está repleto de agujeros negros (quizás incluso 100 millones por galaxia).

## IDEAS MODERNAS



M.C. Escher's Angels and Devils (1960)

Hawking (1973) demostró que el horizonte de un agujero negro emiten radiación térmica.



Utilizando las ideas de Bekenstein (1972), se argumentó además que los agujeros negros transportan información cuántica en forma de **entropía**...

La entropía es una medida de disposiciones macroscópicamente indistinguibles.

Ejemplo: Un vaso de agua a temperatura ambiente tiene una entropía de  $10^{23}$ .

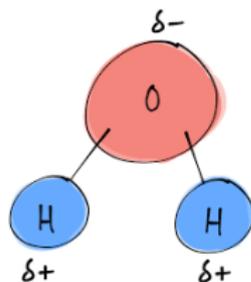


Un agujero negro de masa solar tiene una entropía de entropía  $10^{80}$ .



# NUMEROS ENORMES Y ENORMES PREGUNTAS

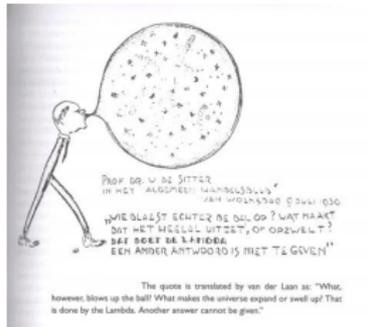
De hecho,  $10^{80}$  es tan grande, que no lo podemos explicar en términos de la física que conocemos en nuestro Universo.



Indica que el espacio-tiempo mismo esta hecho de 'moléculas' cuyas propiedades aun no conocemos.

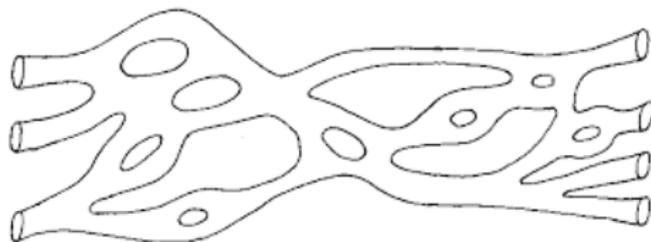
Como guía, pueden pensar en la relación del agua y las moléculas de H<sub>2</sub>O.

# TEMAS DE INVESTIGACIÓN



# MODELO SIMPLE DE UN AGUJERO NEGRO

Basado en mucho trabajo sobre la teoría de las cuerdas, Juan Maldacena (1998) creó un modelo matemático de agujeros negros idealizados.



Este modelo nos dio evidencia matemática que la hipótesis de Hawking y Bekenstein es cierta, y que los agujeros negros están hechos de enormes cantidades de 'moléculas'.

Todavía no sabemos cómo se aplican estas ideas a nuestro propio Universo...



G299 Type Ia supernova, NASA

La gran diferencia es que nuestro Universo expande a un ritmo extraordinario.

Debido a la expansión, nos rodea un horizonte. Quizás este horizonte también contenga entropía. ¡De ser así, sería  $10^{122}$ , superando todas las demás formas incluso los agujeros negros!



Comprender este horizonte es una parte importante de mi investigación.

¡MUCHAS GRACIAS POR SU TIEMPO!

