

¿Qué son las supercuerdas? ¿Y qué nos dicen sobre la gravedad cuántica?

Martin Schwelling

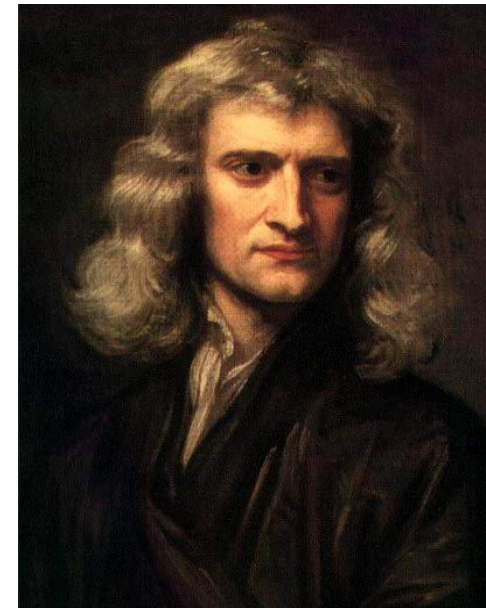
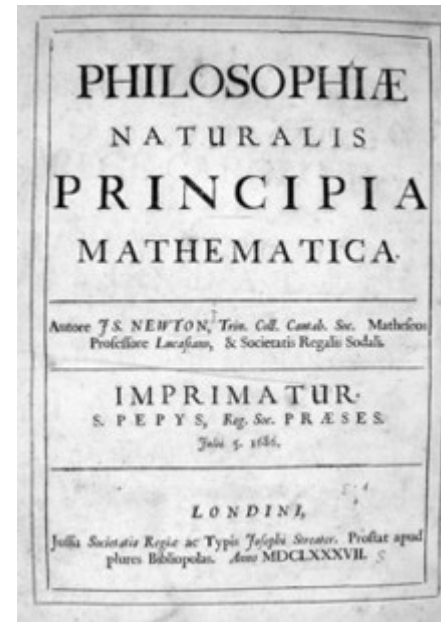
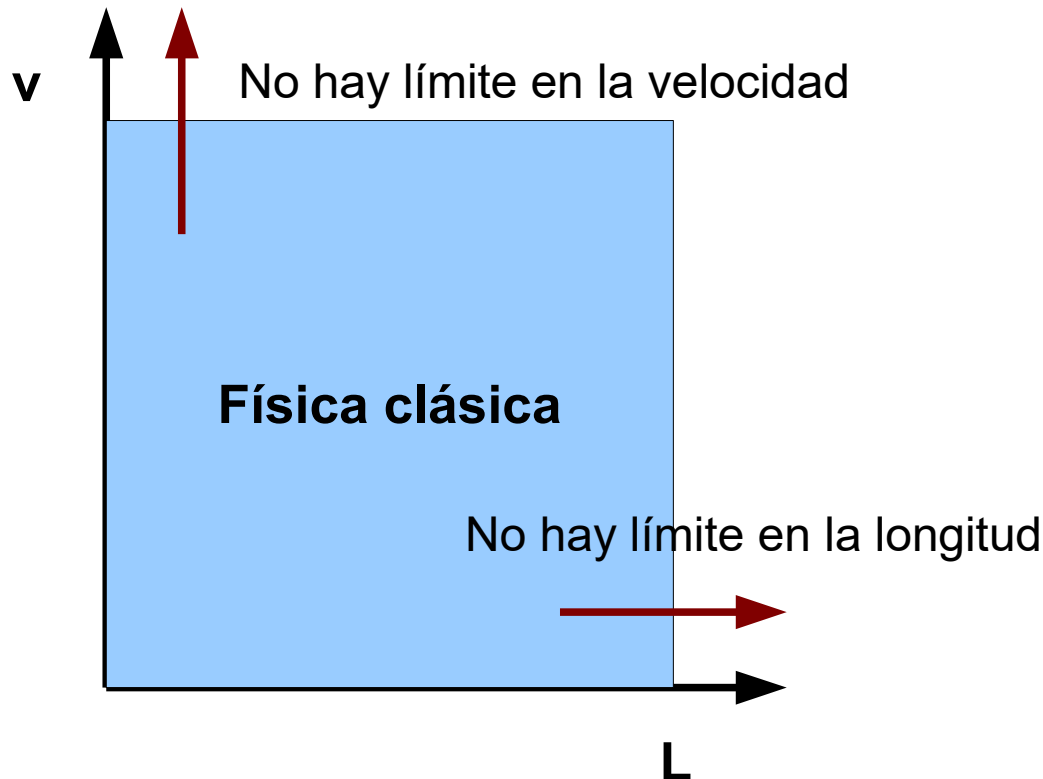
Instituto de Física La Plata
CONICET-UNLP

Departamento de Física
UBA

16 de junio de 2026

Física clásica: en la naturaleza existen dos escalas básicas: velocidad y longitud

Publicación: 5 de julio de 1687



Isaac Newton

Mecánica Newtoniana

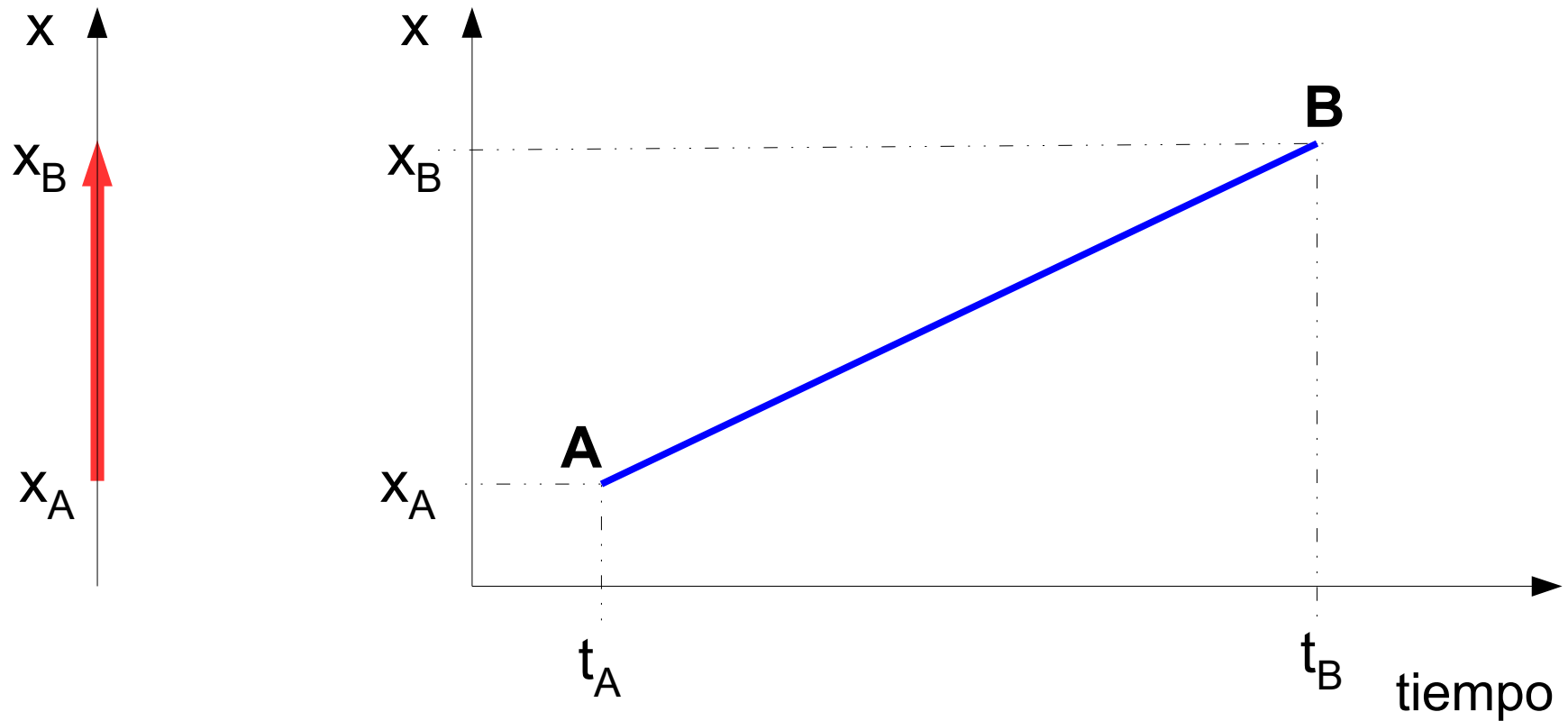
Sistema de referencia inercial:

NO hay fuerzas externas $\rightarrow$ movimiento rectilíneo y uniforme.

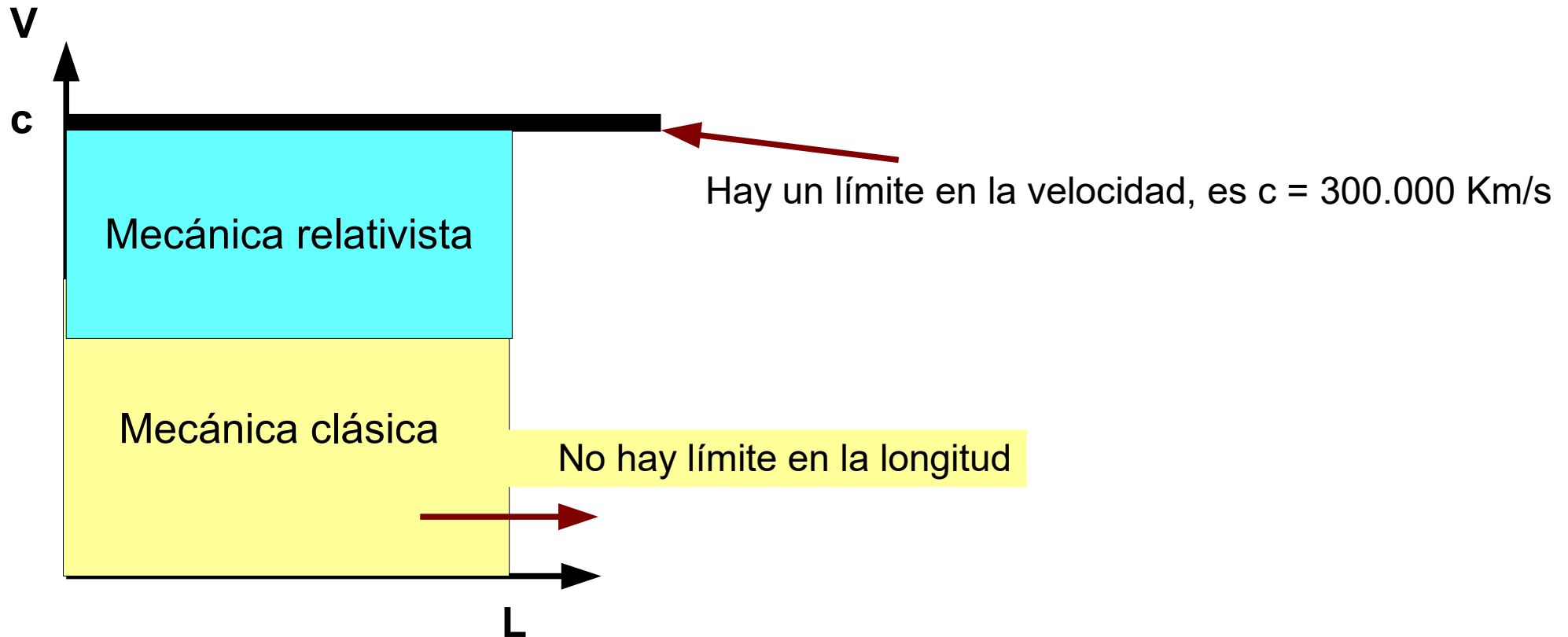
Mecánica Newtoniana

Idea de **trayectoria** de un cuerpo, con **velocidad y posición exactamente** definidas en cada instante de tiempo!

El tiempo es único, es el mismo para todos los observadores inerciales



Teoría de la Relatividad Especial de Einstein-1905

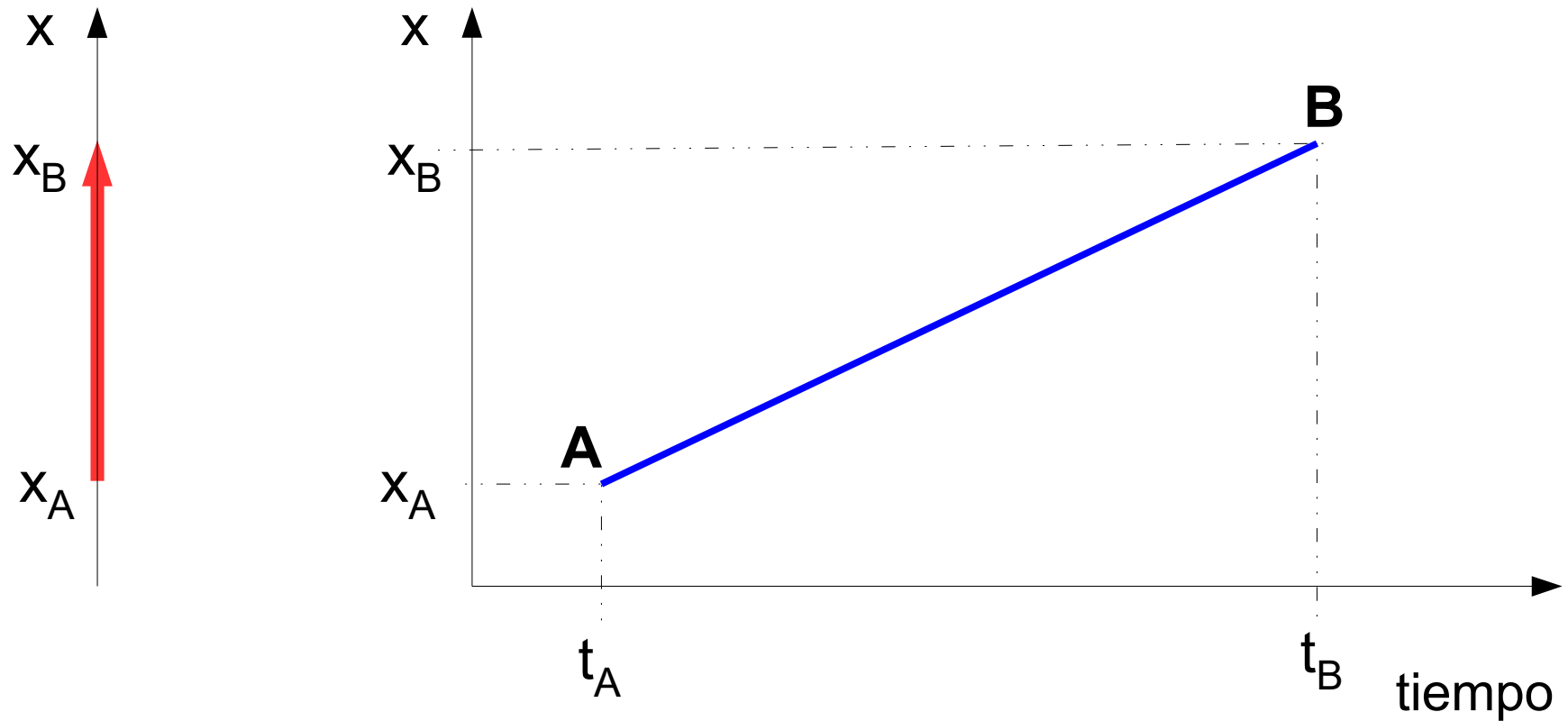


Idea de **trayectoria** de un cuerpo, con **velocidad y posición exactamente** definidas en cada instante de tiempo!

El tiempo NO es único, NO es el mismo para todos los observadores!!!

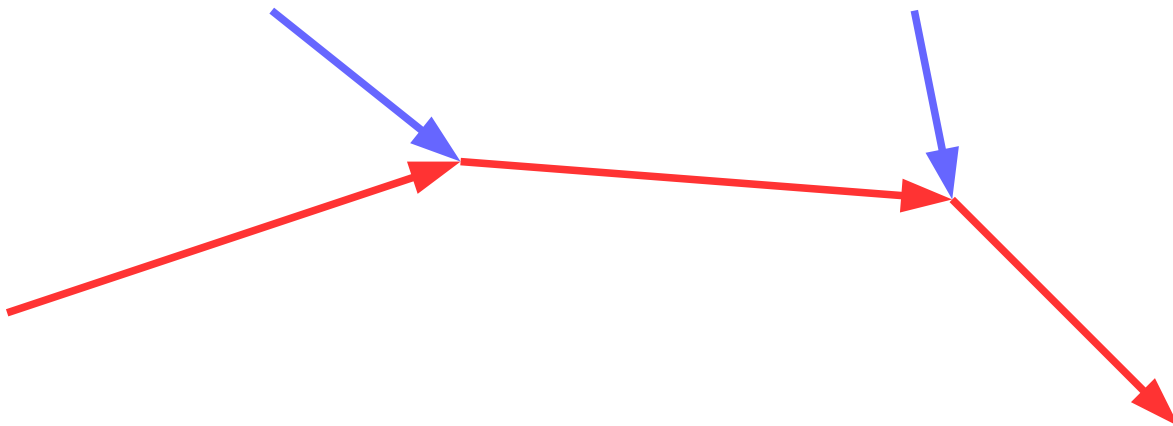
Mecánica relativista

La **trayectoria** de un cuerpo, con **velocidad y posición exactamente** definidas en cada instante de tiempo es la línea de mundo.

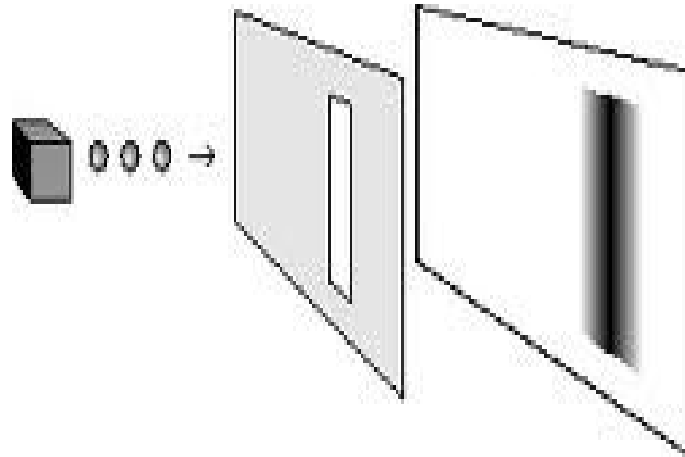


El límite microscópico:

La Mecánica Cuántica

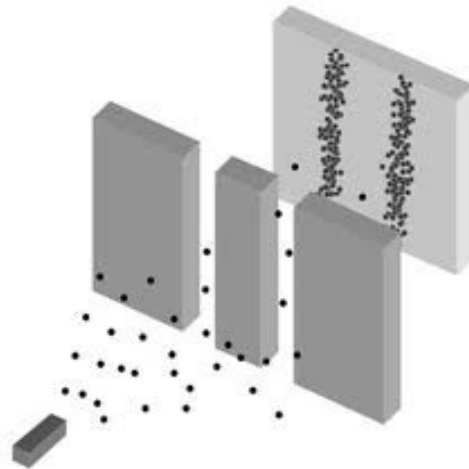


Experimento de una rendija con electrones



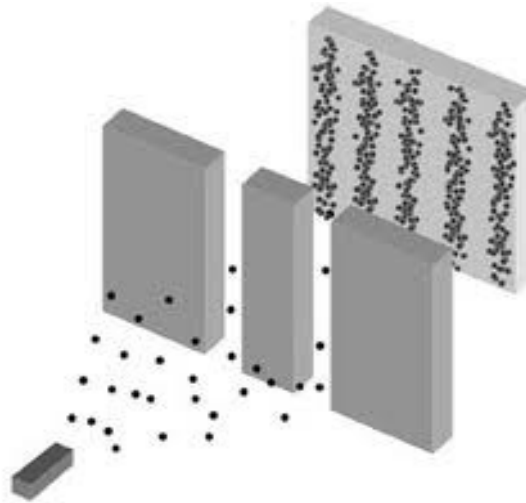
Experimento de la doble rendija con electrones

Respuesta de la mecánica clásica



Experimento de la doble rendija con electrones

Observación experimental



Experimento de la doble rendija con electrones

Observación experimental: se obtiene un patrón ondulatorio, similar al que se obtendría si en lugar de electrones se usaran ondas electromagnéticas.

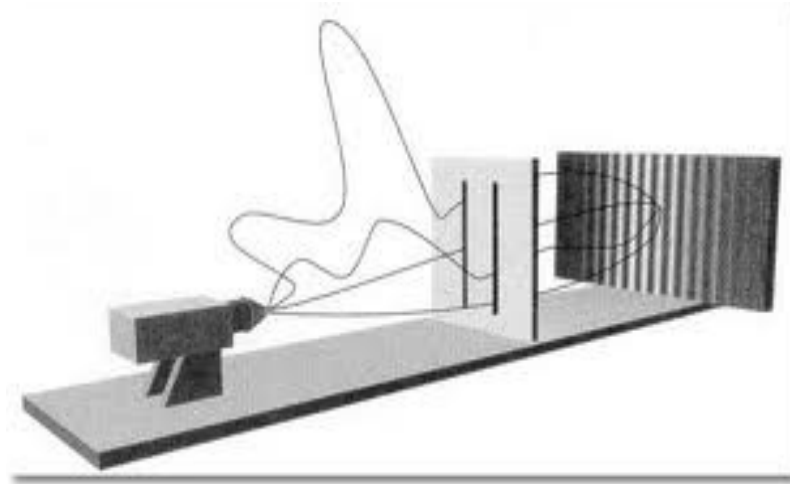
Así se evidencia el carácter ondulatorio de la materia.

¿De qué son estas ondas cuando tenemos electrones?

Son las ondas que describen la probabilidad de encontrar un electrón en un punto dado del espacio y en un instante de tiempo: MECÁNICA CUÁNTICA.

Experimento de la doble rendija con electrones

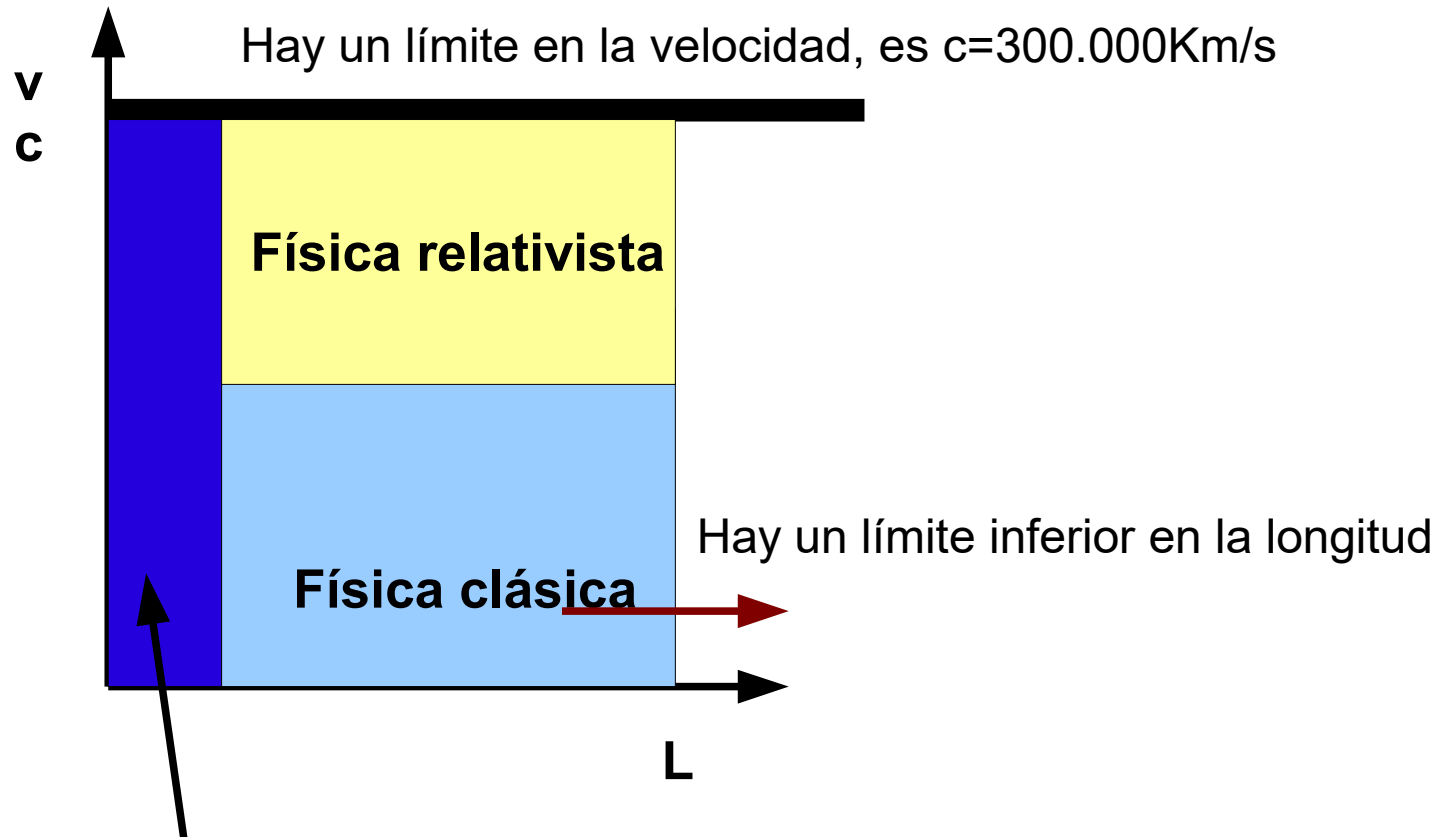
Interpretación de Feynman



Todas las trayectorias imaginables son posibles y TODAS contribuyen al fenómeno. No hay UNA única trayectoria, hay literalmente INFINITAS trayectorias, **y tratar de identificarla CAMBIA la trayectoria misma!!!**

Escala de longitud: L

Escala de velocidad: v



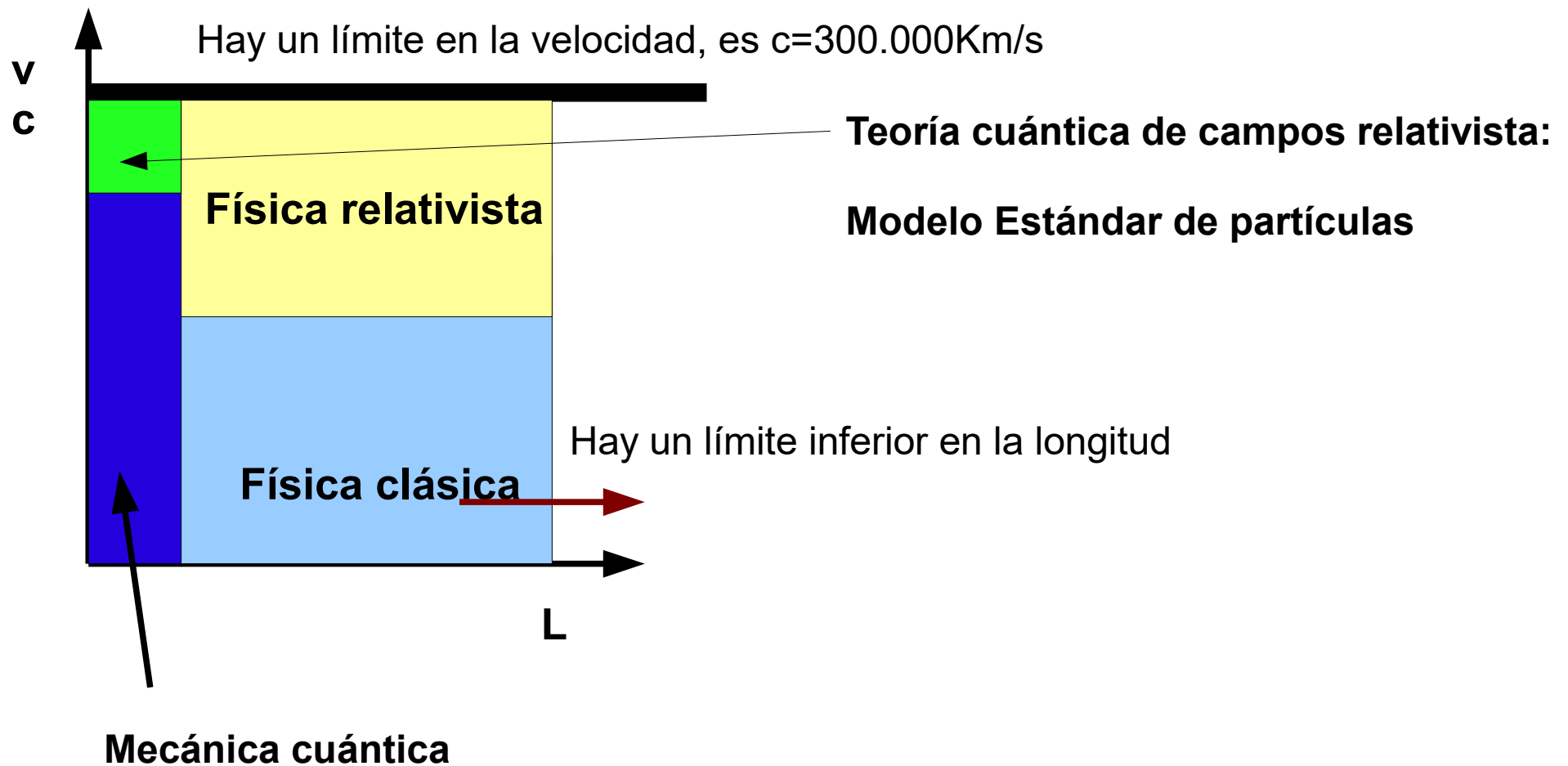
Mecánica cuántica

El límite microscópico y de muy altas energías:

El dominio de las partículas elementales

La Mecánica Cuántica y la Relatividad Especial
coexisten y resultan en

La Teoría Cuántica de
Campos Relativista

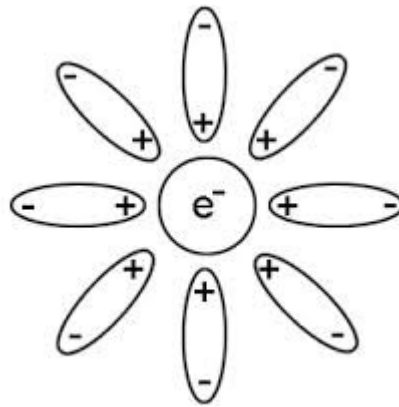


Modelo estándar de partículas elementales

Quarks	2.4 MeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm	171.2 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top	0 0 1 γ photon
	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g gluon
	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	91.2 GeV 0 1 Z⁰ weak force
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV ± 1 1 W[±] weak force
Leptons				Bosons (Forces)

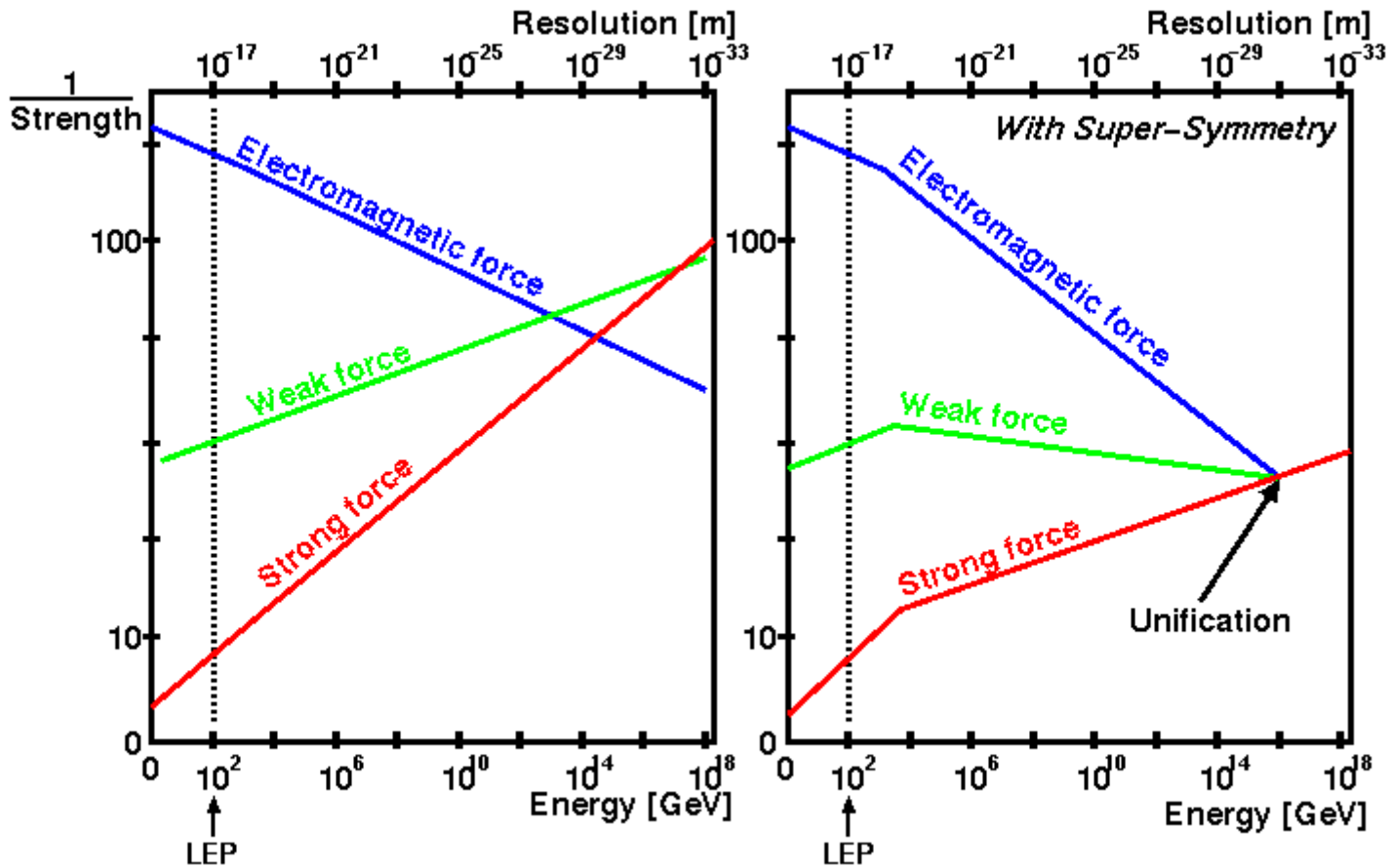
+Higgs

Electrodinámica cuántica: polarización del vacío



Esto hace que la carga eléctrica de un electrón tenga distinta intensidad de acuerdo a cuán cerca se observe el electrón.

Unificación de las fuerzas de la naturaleza



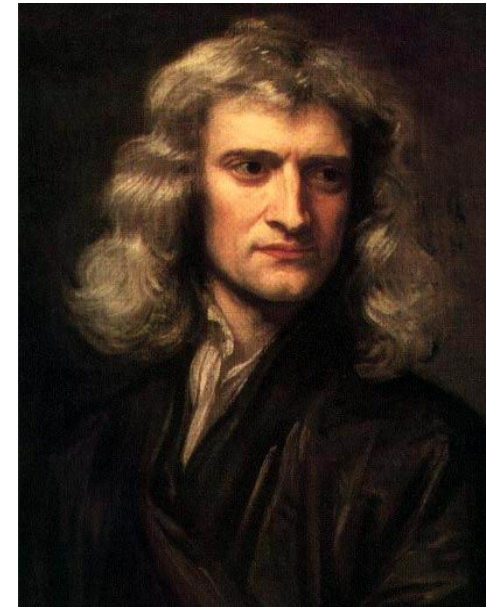
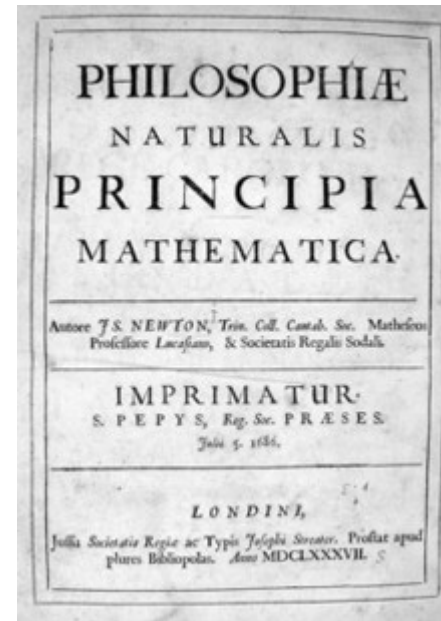
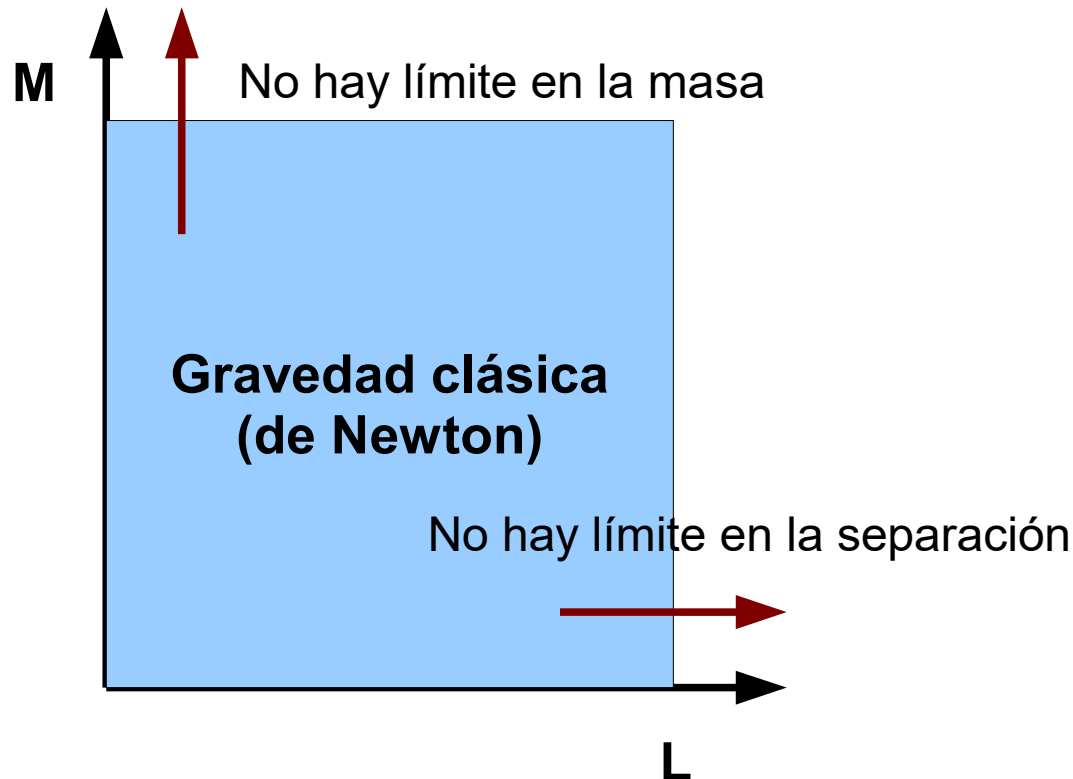
Unificación → Supersimetría

Relatividad General versus Mecánica Cuántica

Ley de la Gravitación Universal de Newton

Los cuerpos se atraen con una fuerza proporcional a sus masas, e inversamente proporcional a la distancia que las separa.

Las escalas son ahora la masa y la longitud:



Isaac Newton

El espacio es plano.

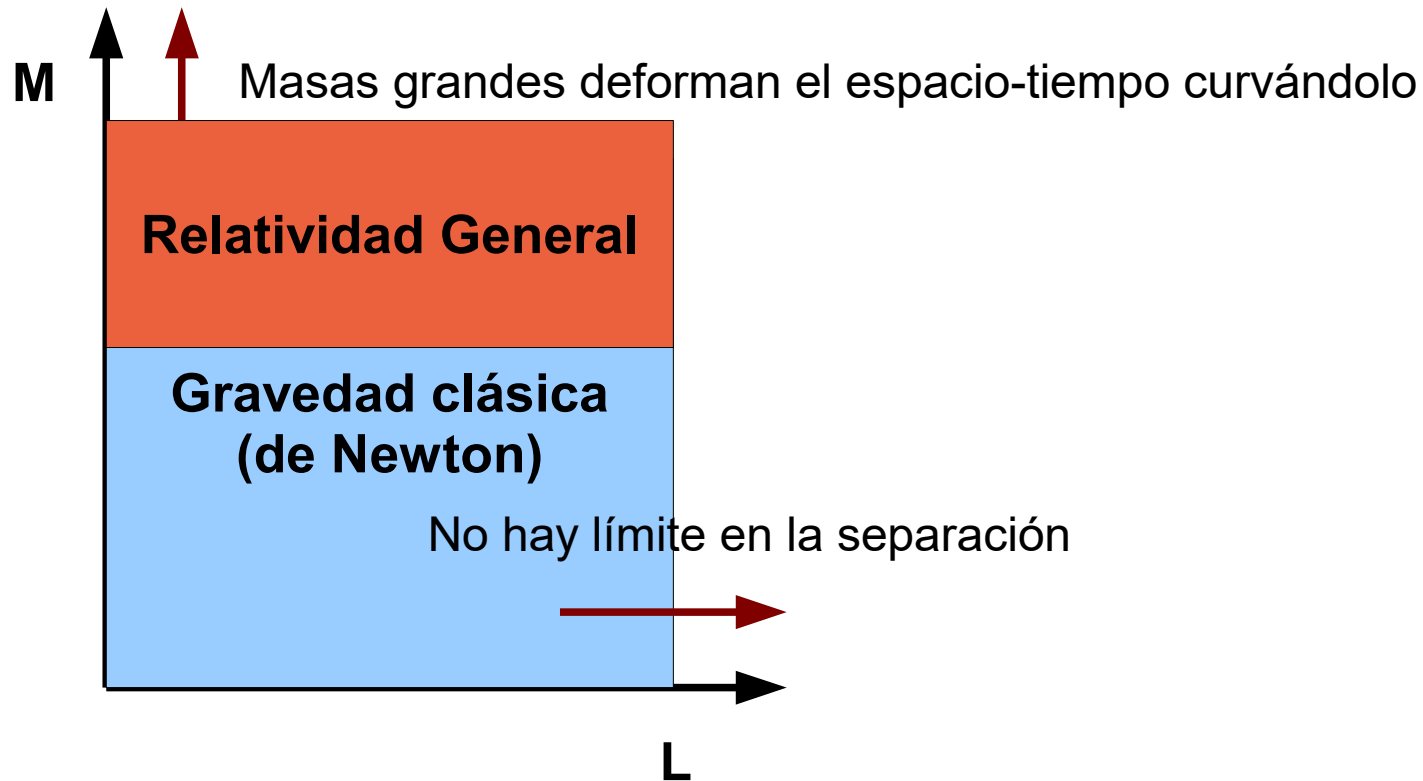
El tiempo es único, es el mismo para todos los observadores!!!

Principio de Equivalencia de Einstein.

La masa inercial es igual a la masa gravitacional.

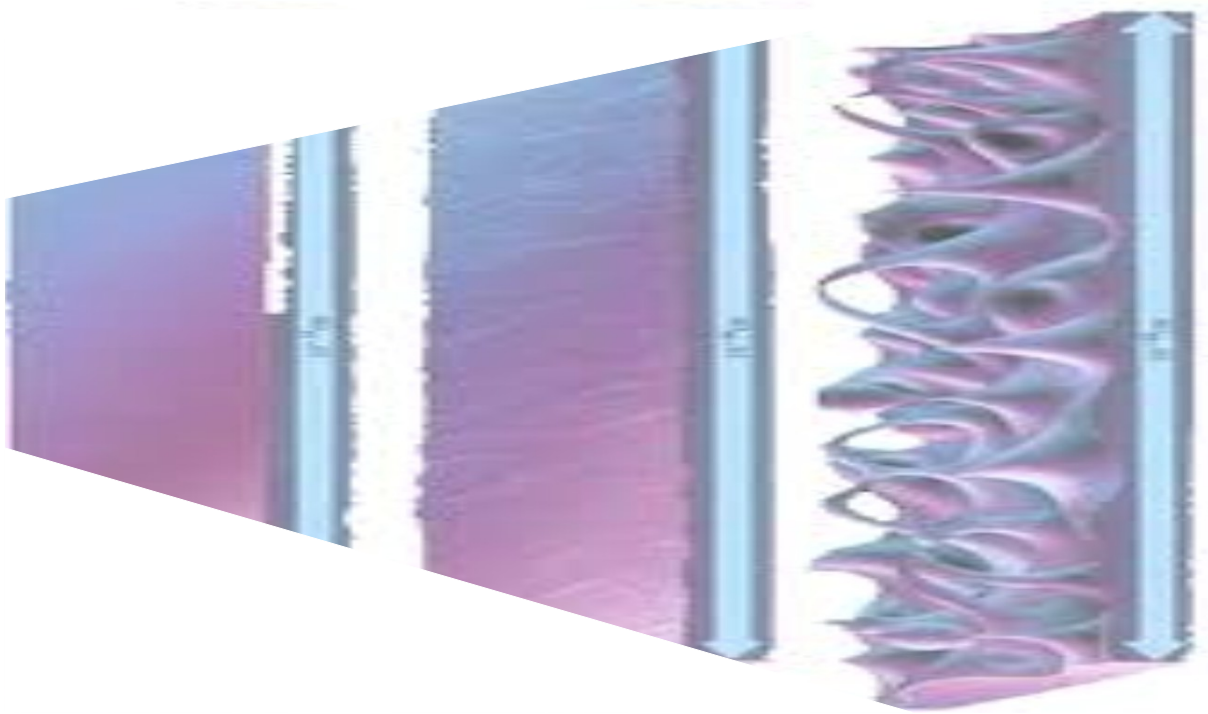
Relatividad General de Einstein

La masa y la energía deforman el espacio-tiempo.
Las escalas son ahora la masa y la longitud:



El espacio-tiempo es curvo.

A medida que observamos el espacio-tiempo sobre escalas menores, los efectos de fluctuaciones cuánticas son muy importantes y el espacio-tiempo se convierte en una especie de espuma.



En este dominio las ecuaciones de la Relatividad General de Einstein resultan incompatibles con las de la Mecánica Cuántica porque dan resultados que son infinitos.

La solución del problema:

La Teoría de Supercuerdas

Entonces:

¿Qué son las Supercuerdas?

Las supercuerdas son objetos de una dimensión espacial, son como filamentos.

Longitud de la cuerda en metros =

1/100.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000

Esta es la escala de Planck = máxima resolución del espacio-tiempo que puede hacer una cuerda!

1 dividido cienmil millones de millones de millones de millones de millones de metros: la longitud de una cuerda fundamental no puede “ver” la estructura fluctuante del espacio-tiempo!!! Clave de la resolución del problema de la gravedad cuántica!

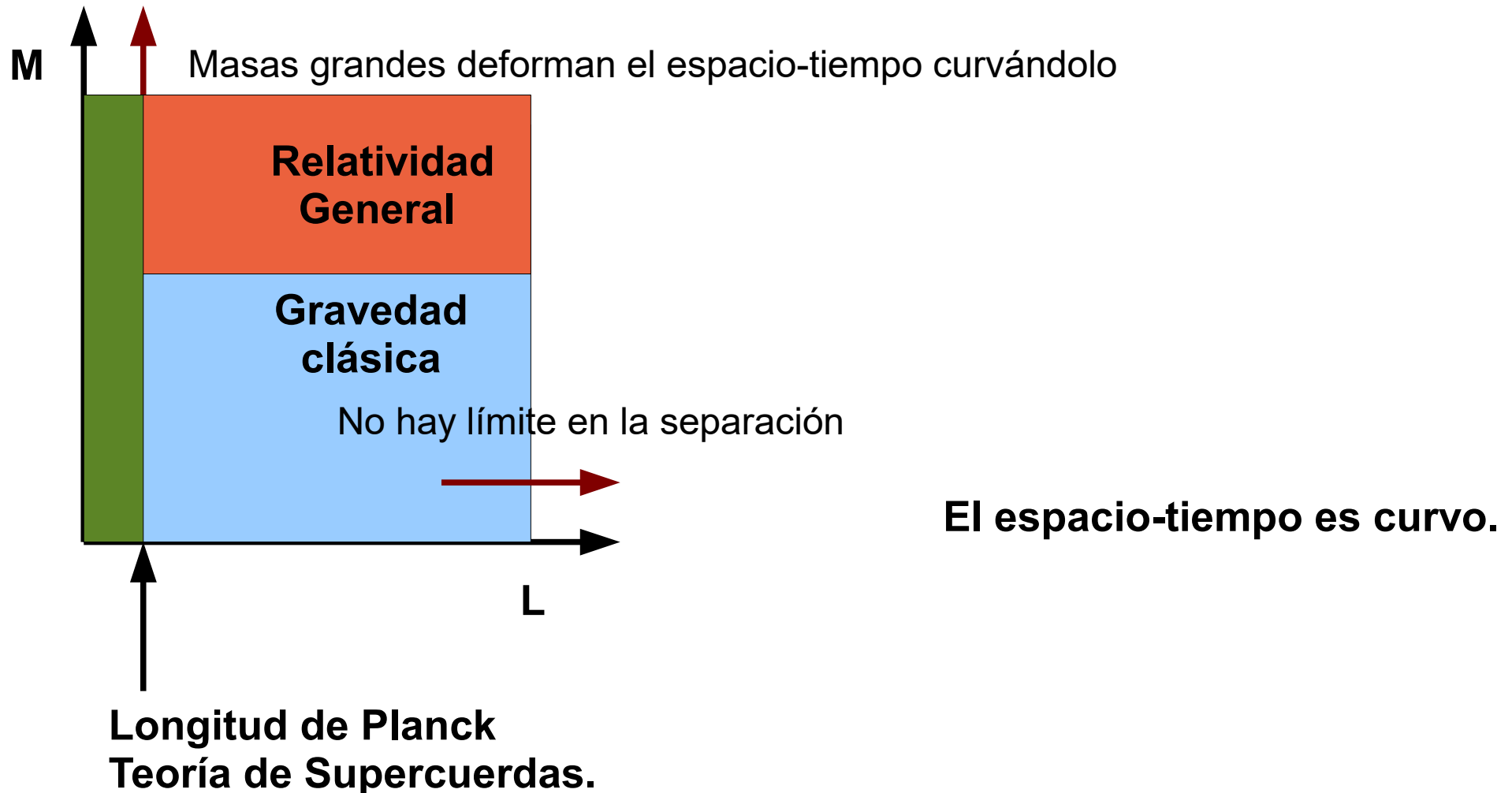
Radio atómico en metros = 1 dividido diezmil millones

Radio de un protón en metros = 1 dividido mil millones de millones

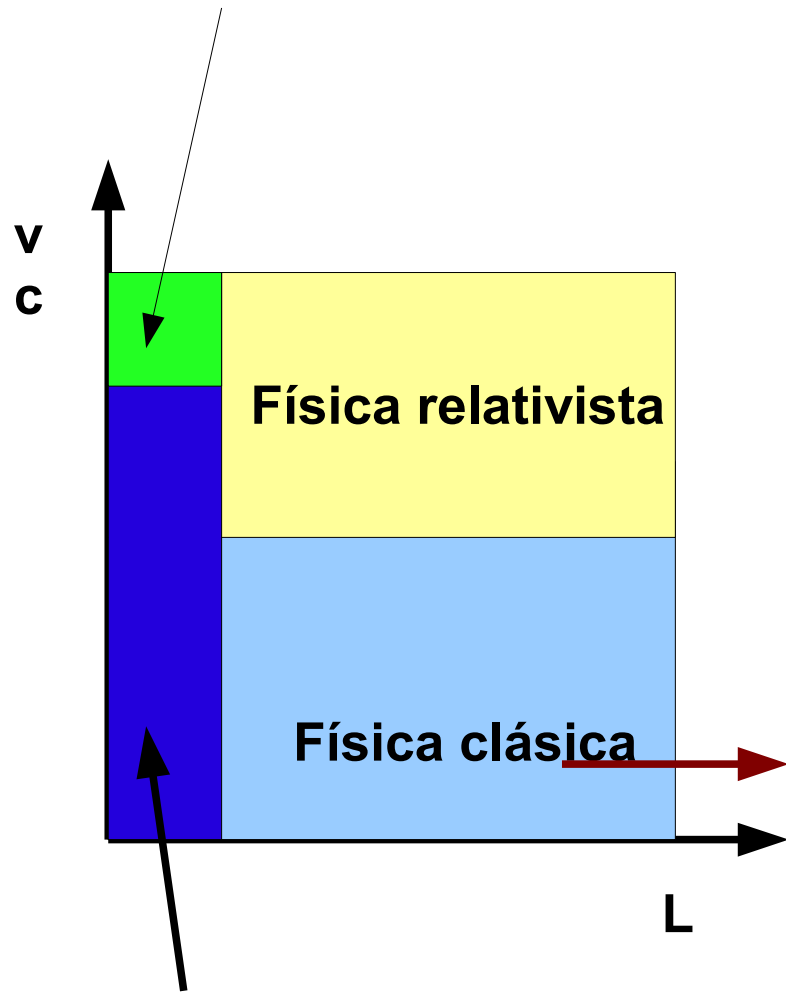
“Pegando” una al lado de otra se necesitarían = 100 millones de millones de millones de cuerdas para medir como el radio de un solo protón!!!

Teoría de Supercuerdas

La masa y la energía deforman el espacio-tiempo.
Las escalas son ahora la masa y la longitud:

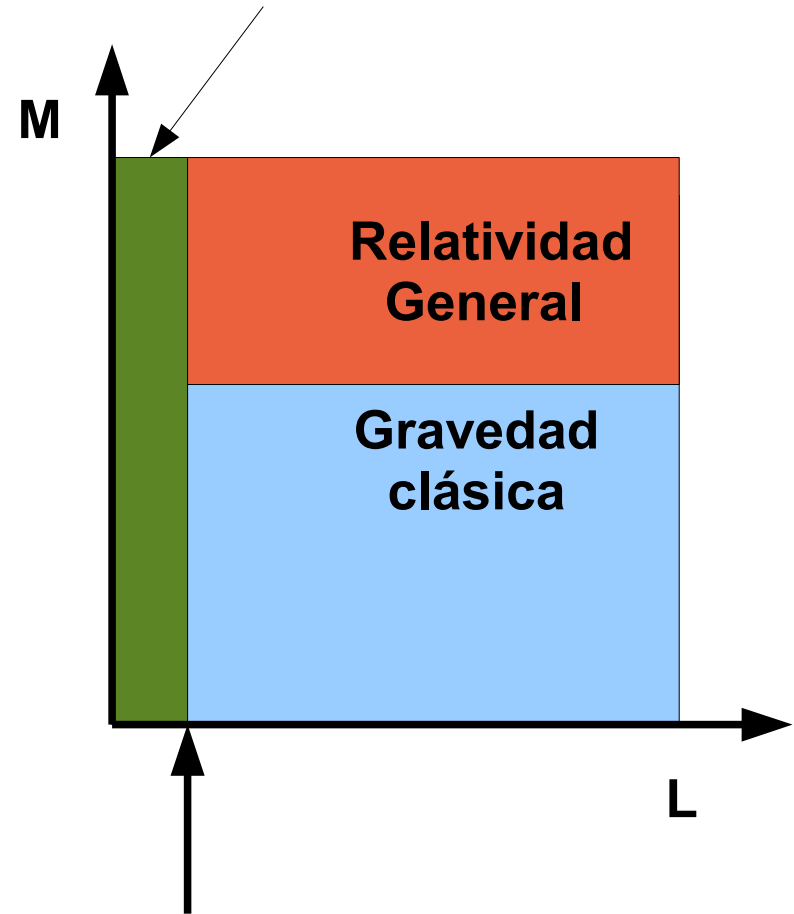


Teoría cuántica de campos relativista:
En espacio-tiempo plano de 4 dimensiones



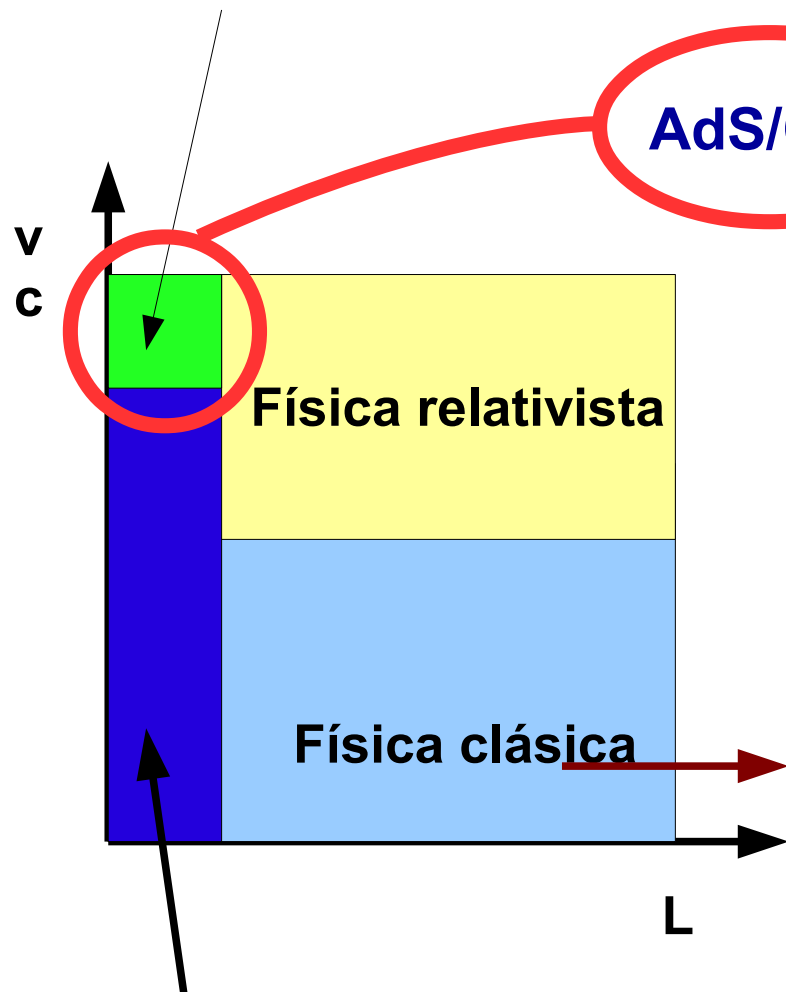
Mecánica cuántica

Teoría de supercuerdas en
un espacio-tiempo curvo en
10 dimensiones.



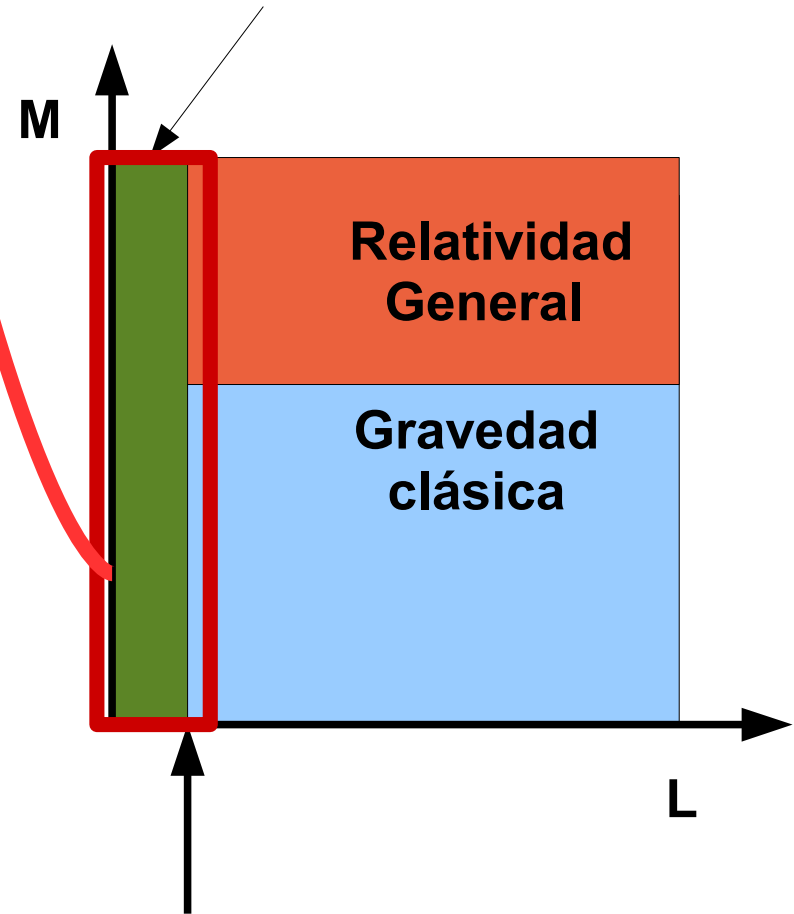
Longitud de Planck
Teoría de Supercuerdas.

Teoría cuántica de campos relativista:
En espacio-tiempo plano de 4 dimensiones



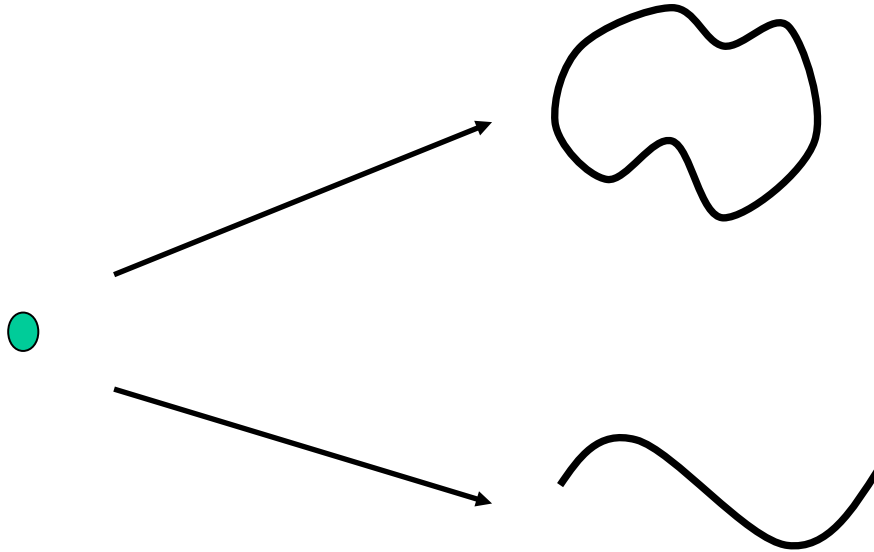
Mecánica cuántica

Teoría de supercuerdas en
un espacio-tiempo curvo en
10 dimensiones.

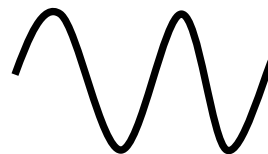
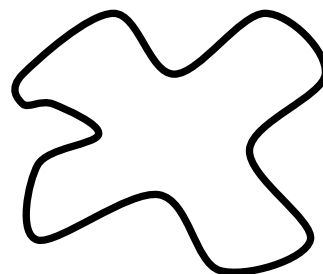
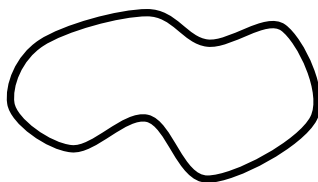


Longitud de Planck
Teoría de Supercuerdas.

Las partículas no son realmente “puntuales”, sino que con suficiente resolución de energías M_s (recuerden $E = m c^2$, con $c=1$) son objetos unidimensionales, como una “cuerda”.



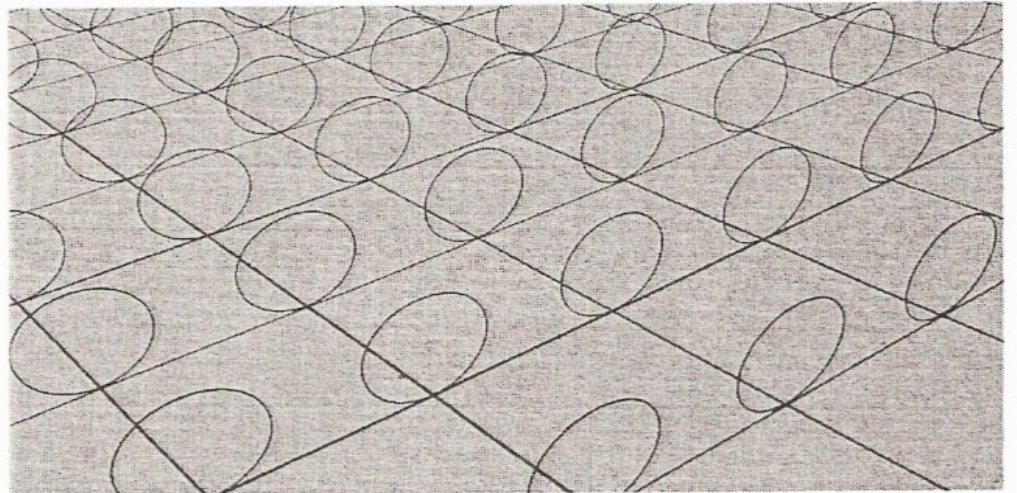
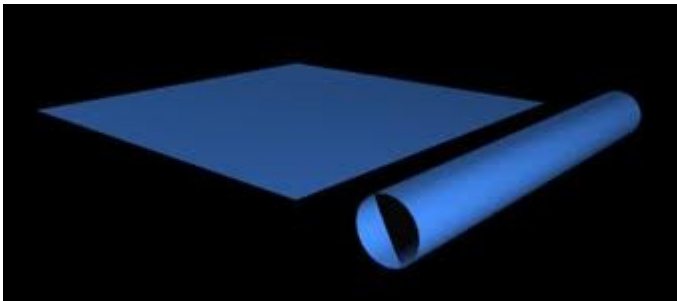
La idea es que diferentes estados de oscilación de una misma cuerda corresponden a diferentes tipos de partículas elementales.



Pero por consistencia interna (mecánica cuántica), la teoría de supercuerdas requiere la existencia de un espaciotiempo de 10 dimensiones, una temporal y nueve espaciales.

¿Cómo se obtienen 4 dimensiones de nuestro espaciotiempo a partir de las 10 dimensiones?

Enrollando las dimensiones extras en un tamaño muy pequeño!



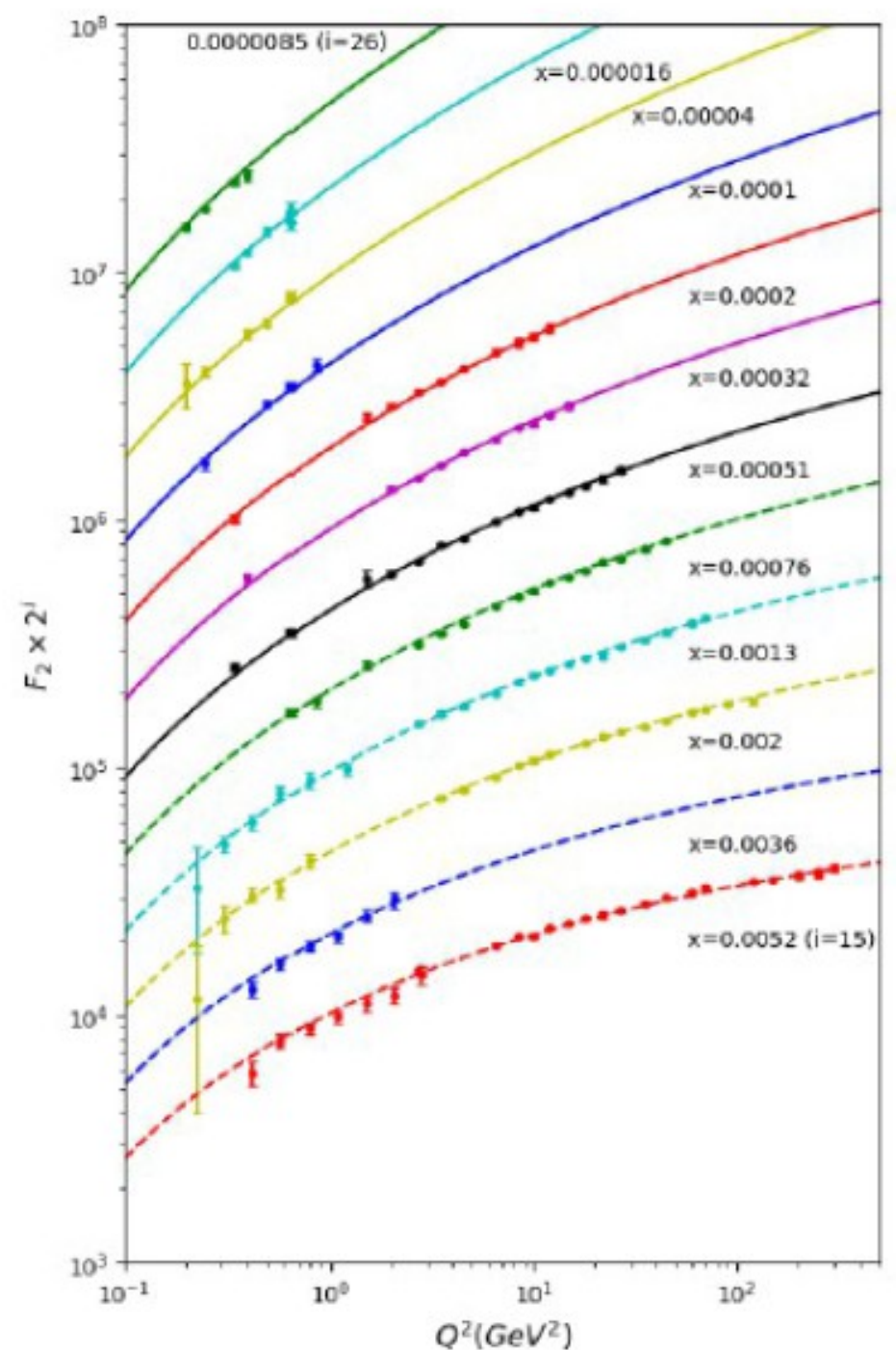
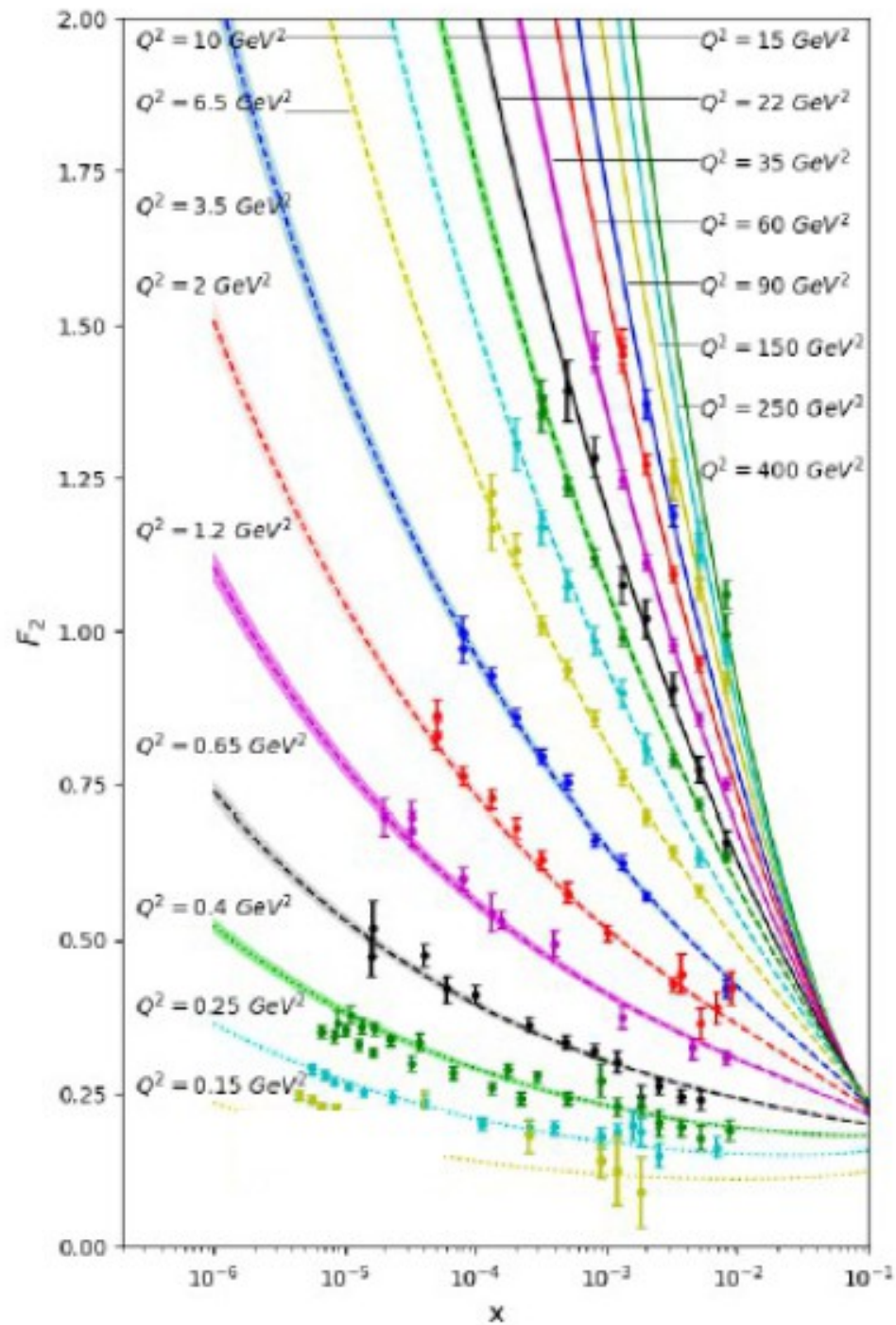
La teoría de supercuerdas ofrece la solución al problema del conflicto entre la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad general.

Es la clave para entender el Big Bang y los agujeros negros.

Predice la existencia de la partícula que media la interacción gravitatoria.

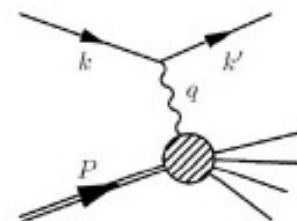
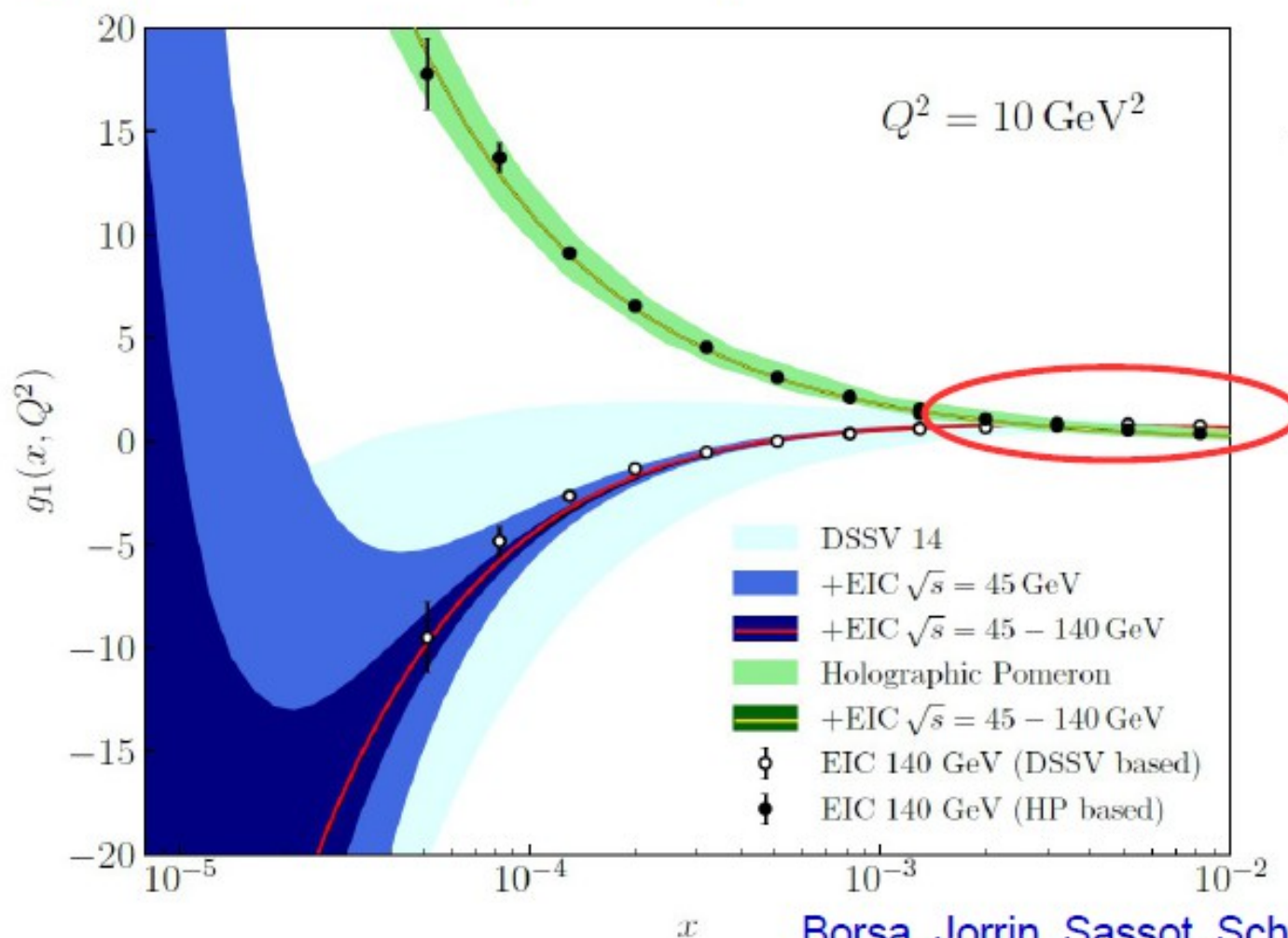
Predice la gran unificación de todas las interacciones fundamentales de la naturaleza.

Permite estudiar teorías cuánticas de campos en regímenes no accesibles de otra forma. (para otra charla)



Our predictions for the Electron Ion Collider for 2030: using the Holographic-A4-Pomeron for g_1

Using only 1 parameter to fit 56 present experimental data



Borsa, Jorin, Sassot, Schvellinger, 2023

g_1 structure function using a single Holographic-A Pomeron exchange to fit experimental data within the range $0.0036 \leq x \leq 0.009$ at $Q^2 = 10 \text{ GeV}^2$ against the one obtained in DSSV14 DGLAP NLO analysis.

Permite entender el comportamiento de plasmas de quarks y gluones fuertemente acoplados, generados en el LHC y el RHIC.