

UN VIAJE DE IDA Y VUELTA ENTRE PARTICULAS Y CUERDAS

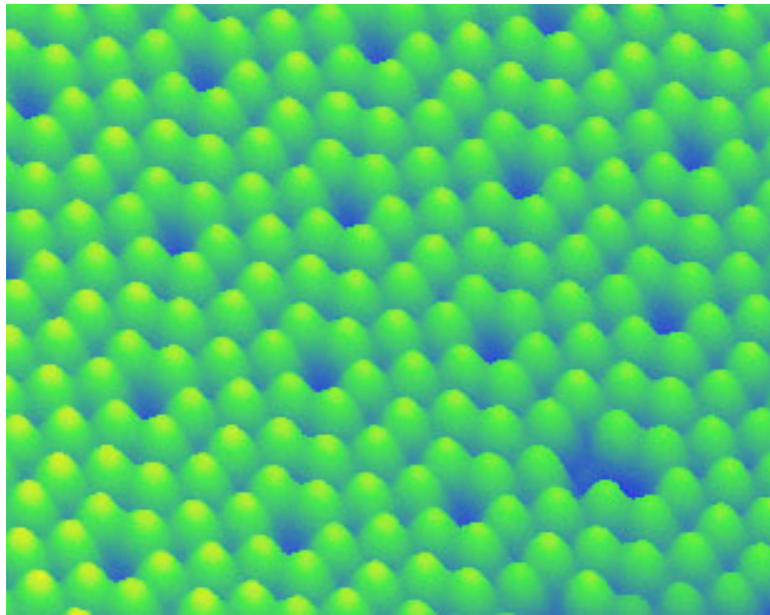
Esperanza López Manzanares



Instituto de
Física
Teórica
UAM-CSIC

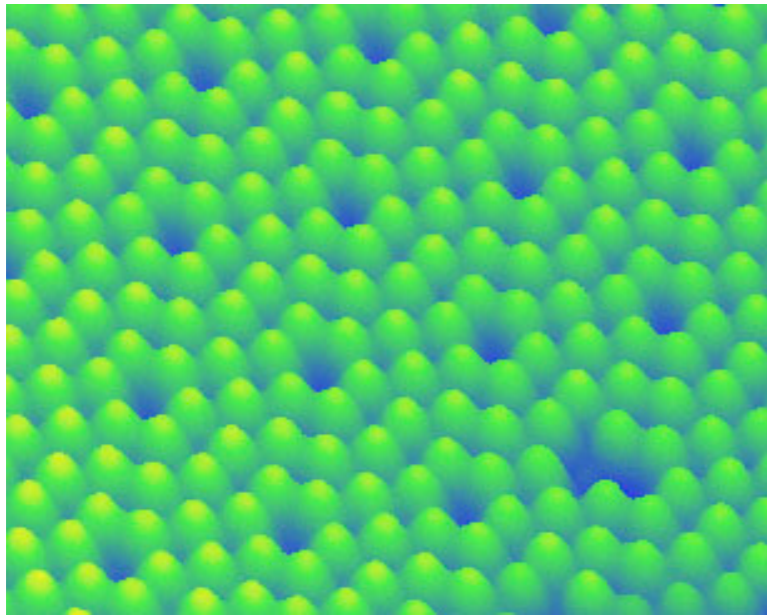
EL CORAZON DE LA MATERIA: EL NUCLEO ATOMICO

átomos en un cristal

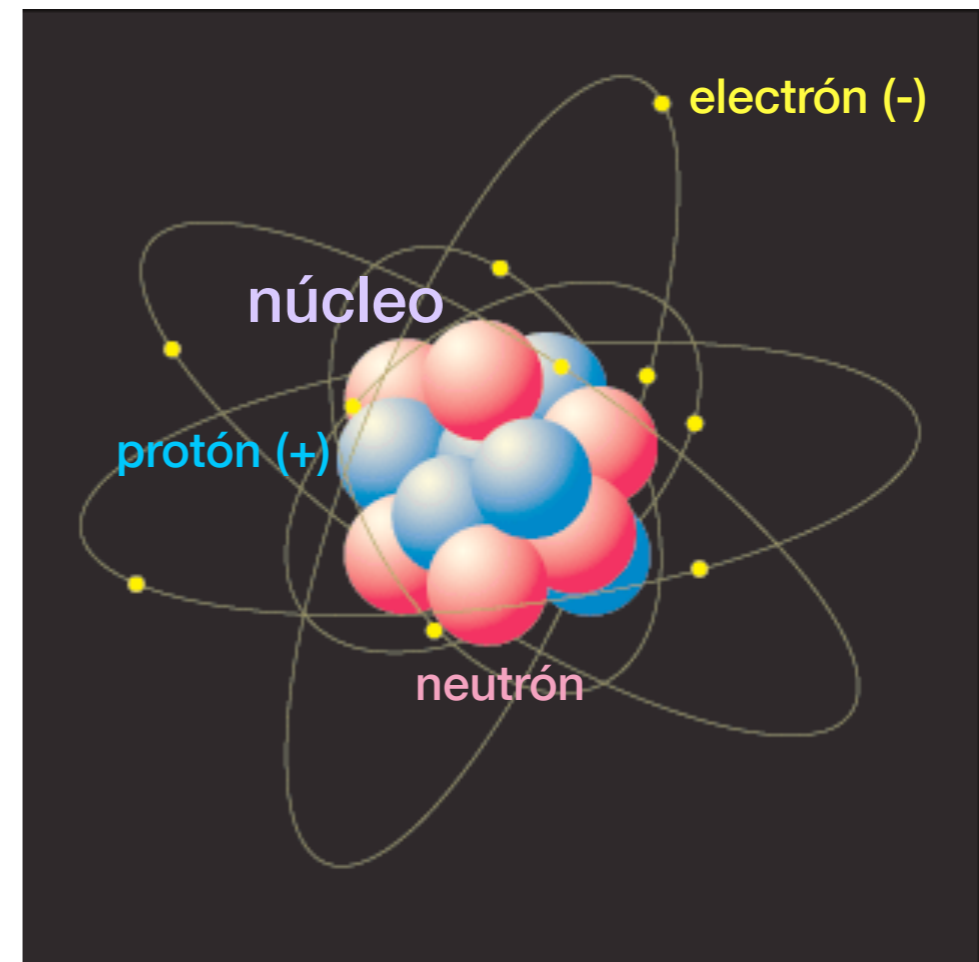


EL CORAZON DE LA MATERIA: EL NUCLEO ATOMICO

átomos en un cristal

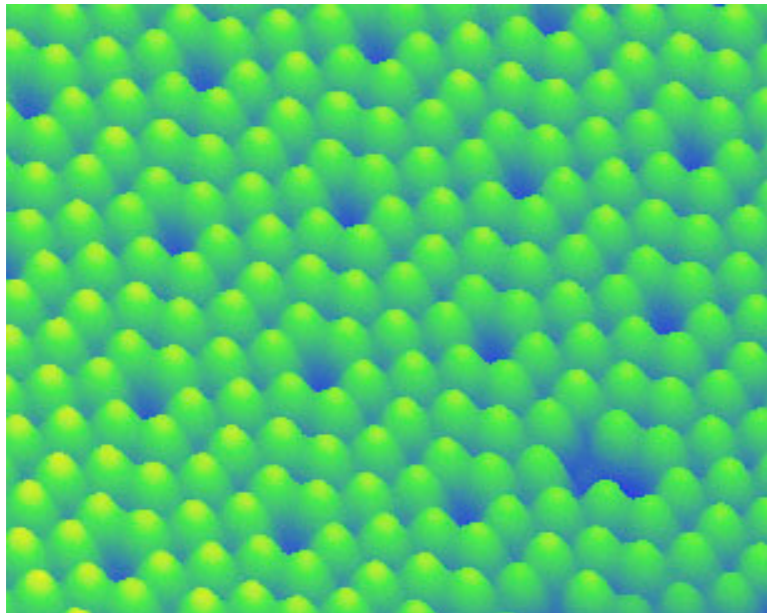


esquema
de un átomo

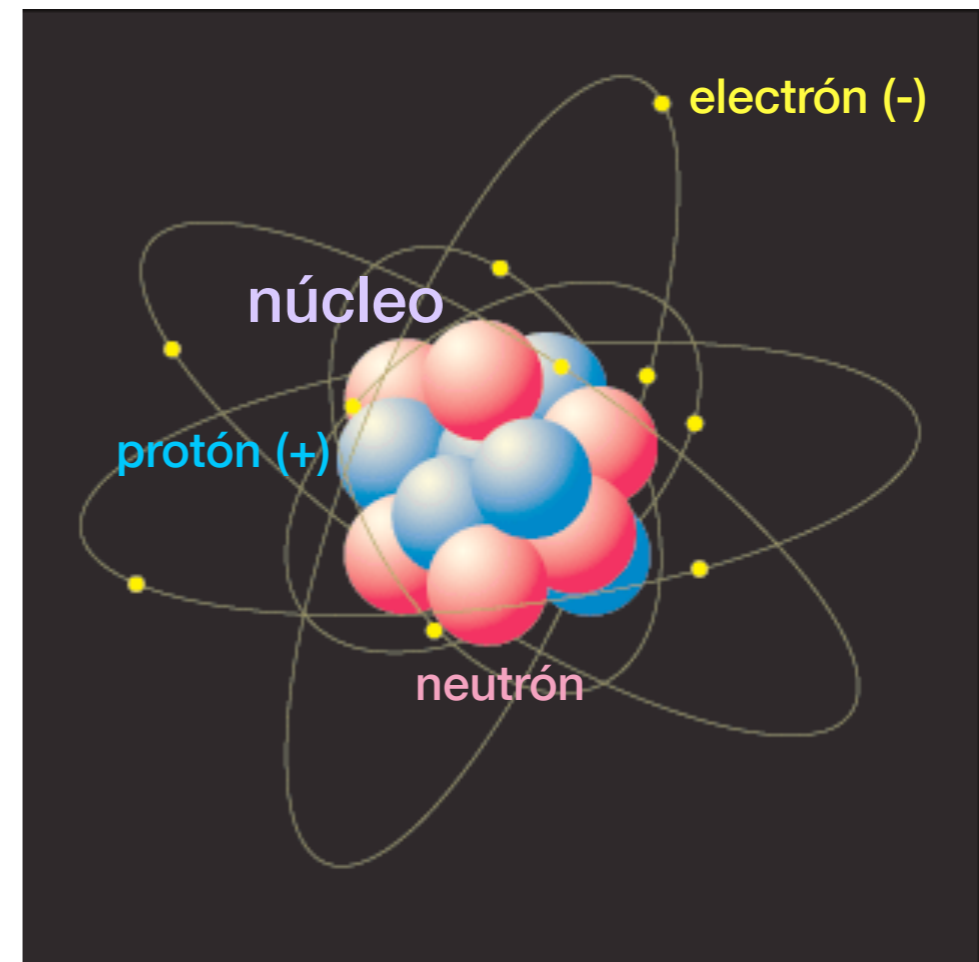


EL CORAZON DE LA MATERIA: EL NUCLEO ATOMICO

átomos en un cristal



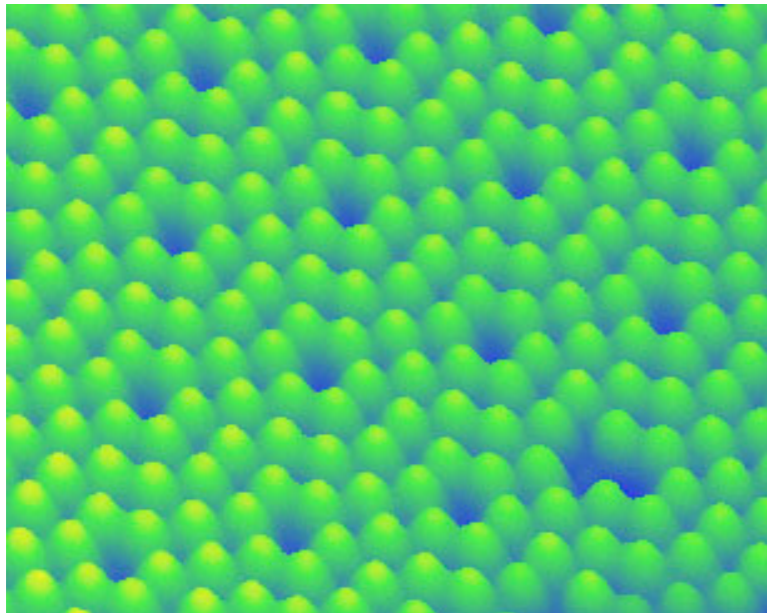
esquema
de un átomo



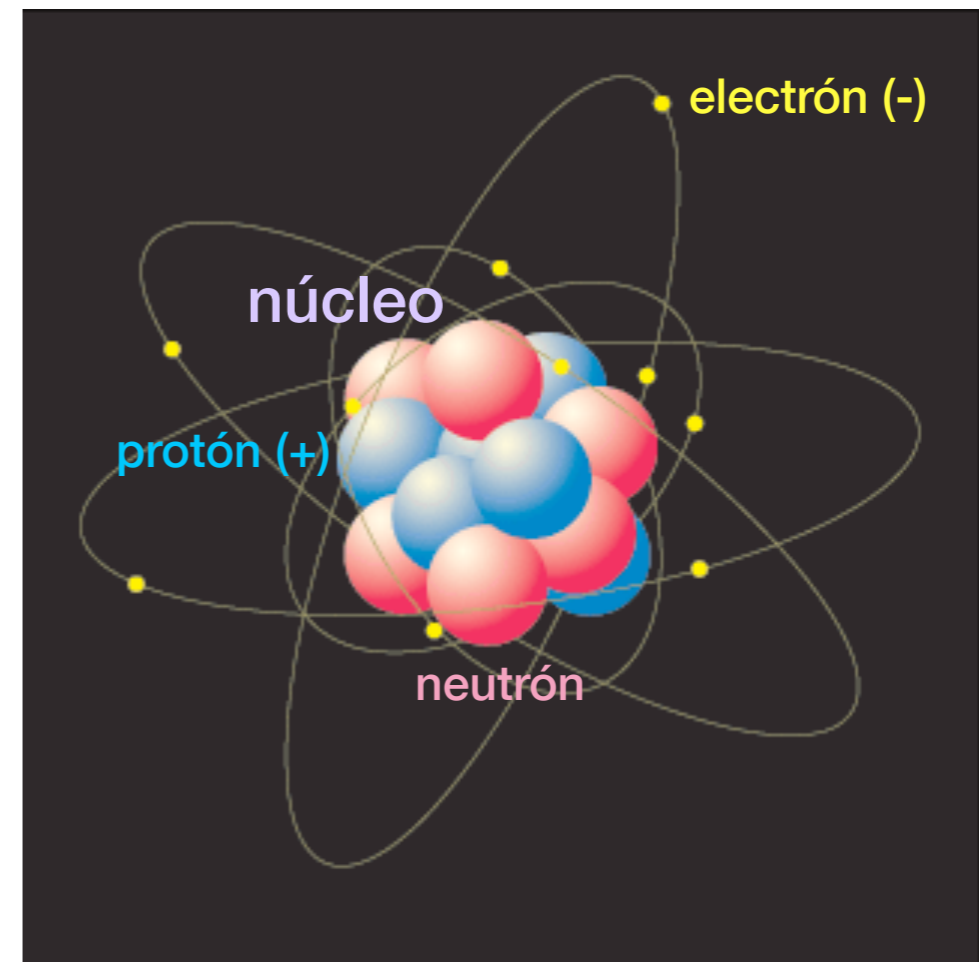
las fuerzas nucleares son mucho mayores
que la fuerza entre electrón y núcleo ([electromagnetismo](#))

EL CORAZON DE LA MATERIA: EL NUCLEO ATOMICO

átomos en un cristal



esquema
de un átomo



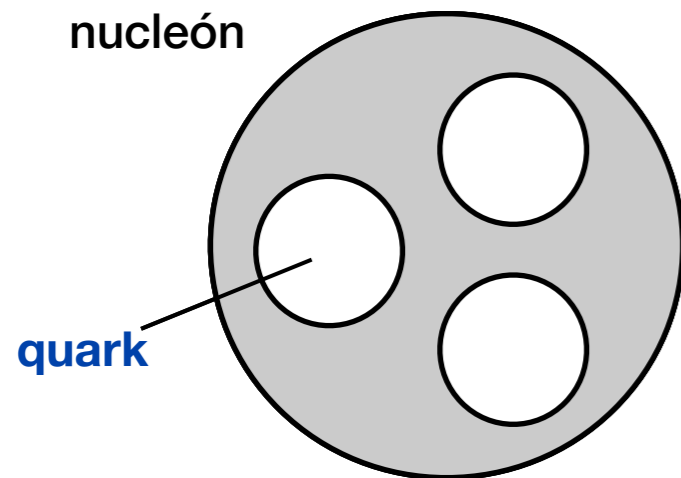
las fuerzas nucleares son mucho mayores

que la fuerza entre electrón y núcleo (electromagnetismo)

la fuerza nuclear determina la variedad de elementos en la naturaleza

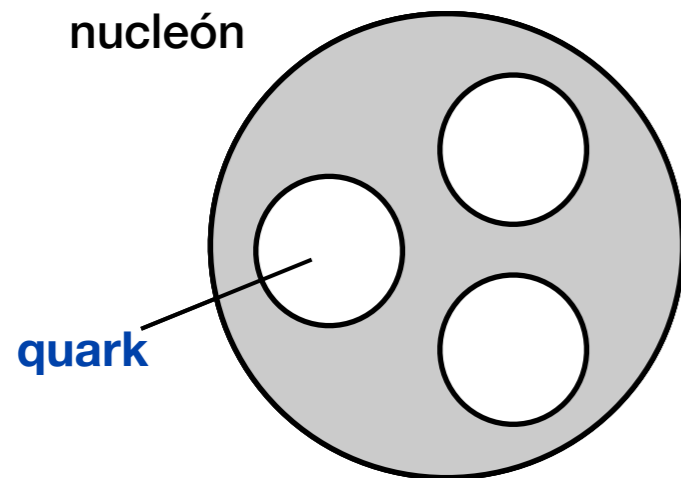
DENTRO DEL NUCLEON: QUARKS Y GLUONES

protón y neutrón no son partículas elementales



DENTRO DEL NUCLEÓN: QUARKS Y GLUONES

protón y neutrón no son partículas elementales

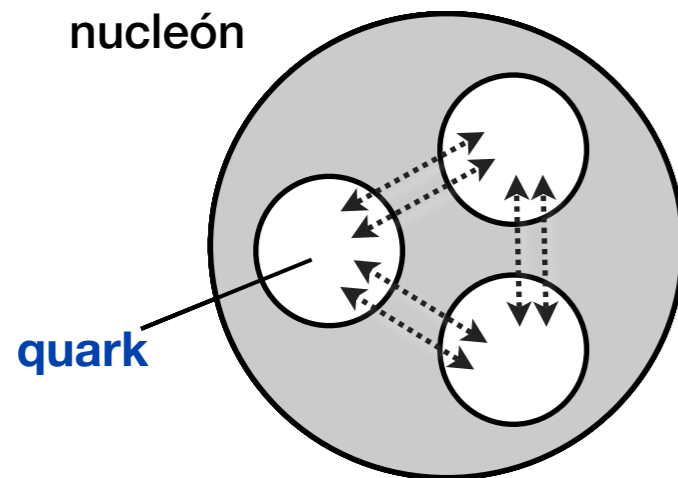


fuerzas nucleares mediadas por **gluones**

(em: fotones)

DENTRO DEL NUCLEÓN: QUARKS Y GLUONES

protón y neutrón no son partículas elementales

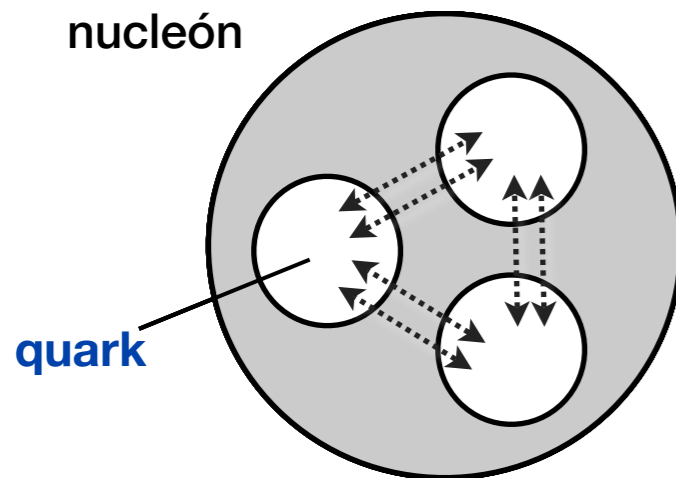


fuerzas nucleares mediadas por **gluones**

(em: fotones)

DENTRO DEL NUCLEON: QUARKS Y GLUONES

protón y neutrón no son partículas elementales



fuerzas nucleares mediadas por **gluones**

(em: fotones)

los gluones actúan sobre el "color" de los quarks

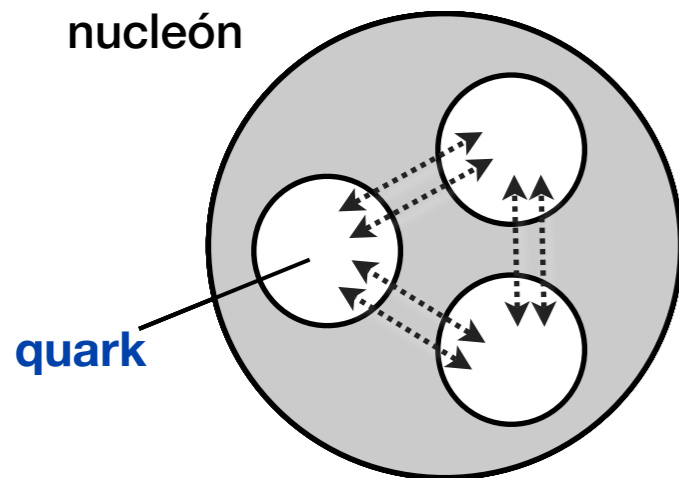
(em: carga eléctrica +,-)



cromodinámica cuántica

DENTRO DEL NUCLEON: QUARKS Y GLUONES

protón y neutrón no son partículas elementales

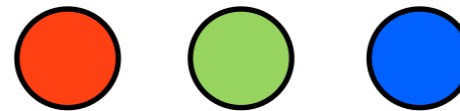


fuerzas nucleares mediadas por **gluones**

(em: fotones)

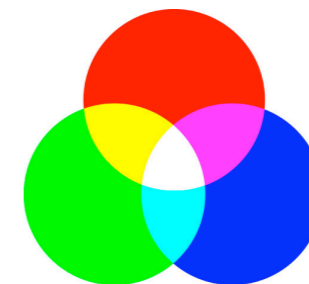
los gluones actúan sobre el "color" de los quarks

(em: carga eléctrica +,-)



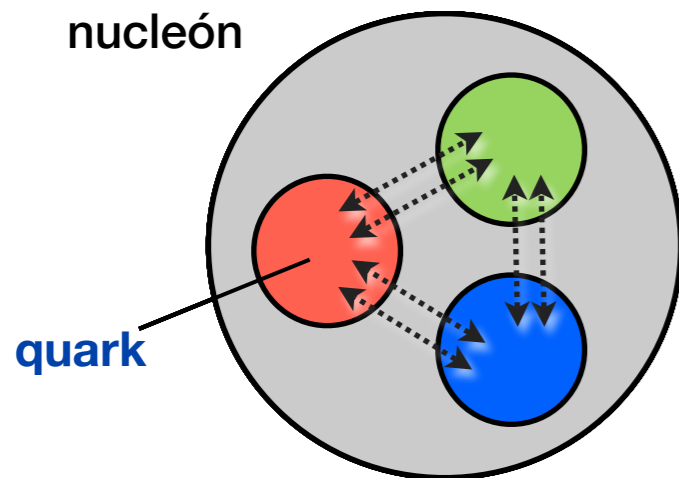
cromodinámica cuántica

confinamiento del color



DENTRO DEL NUCLEON: QUARKS Y GLUONES

protón y neutrón no son partículas elementales



fuerzas nucleares mediadas por **gluones**

(em: fotones)

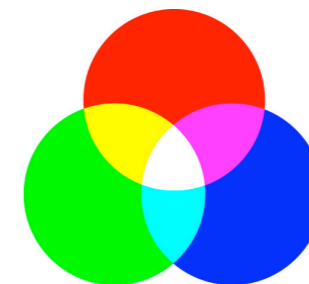
los gluones actúan sobre el "color" de los quarks

(em: carga eléctrica +,-)



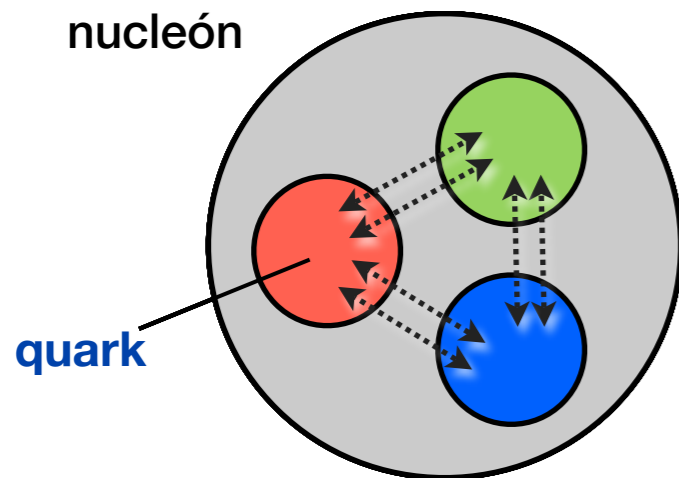
cromodinámica cuántica

confinamiento del color



DENTRO DEL NUCLEON: QUARKS Y GLUONES

protón y neutrón no son partículas elementales

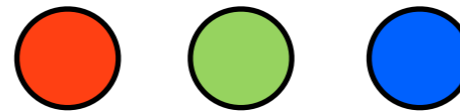


fuerzas nucleares mediadas por **gluones**

(em: fotones)

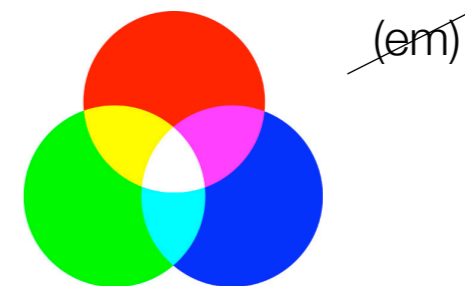
los gluones actúan sobre el "color" de los quarks

(em: carga eléctrica +,-)



cromodinámica cuántica

confinamiento del color



DENTRO DEL NUCLEON: QUARKS Y GLUONES

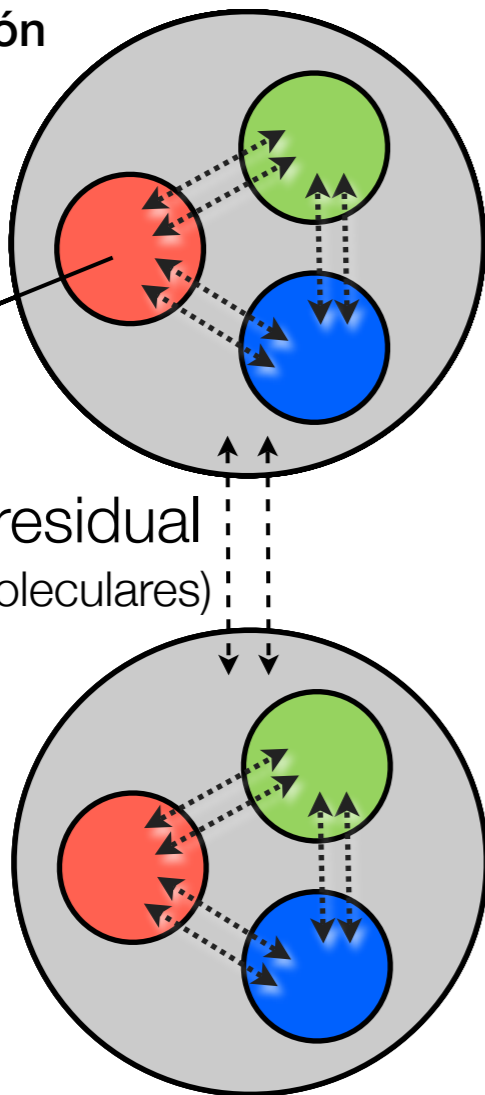
protón y neutrón no son partículas elementales

nucleón

quark

fuerza residual

(em: fuerzas moleculares)

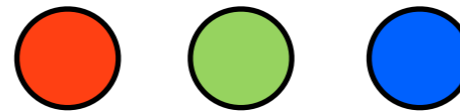


fuerzas nucleares mediadas por **gluones**

(em: fotones)

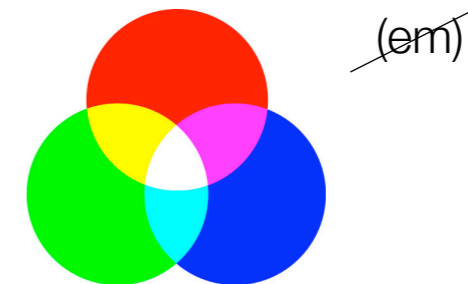
los gluones actúan sobre el “color” de los quarks

(em: carga eléctrica +,-)

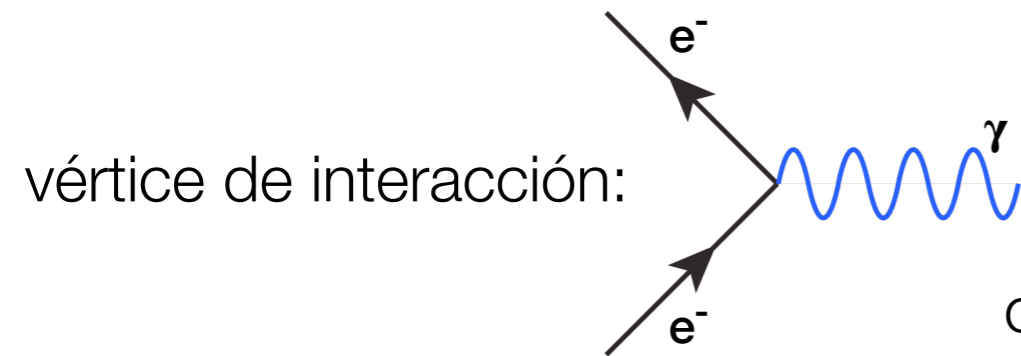


cromodinámica cuántica

confinamiento del color



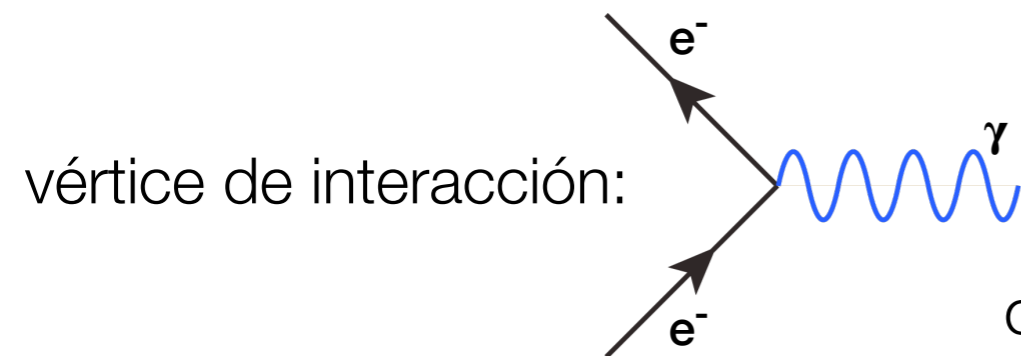
ELECTRODINAMICA: INTERACCION DEBIL



constante de acoplo:

$$\alpha = \frac{1}{137} \ll 1$$

ELECTRODINAMICA: INTERACCION DEBIL



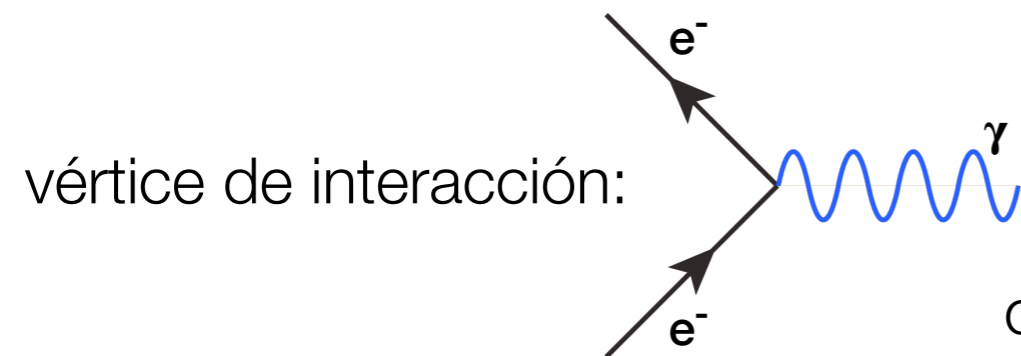
constante de acoplo:

$$\alpha = \frac{1}{137} \ll 1$$

observables se pueden calcular como desviación controlada de $\alpha = 0$

$$E = E_0 + \alpha E_1 + \alpha^2 E_2 + \dots$$

ELECTRODINAMICA: INTERACCION DEBIL

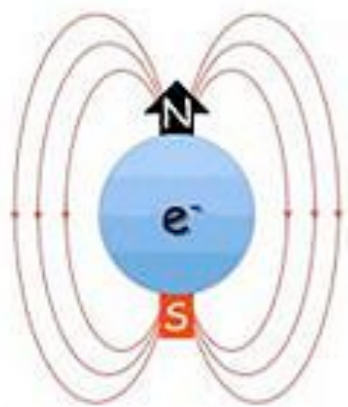


constante de acoplo:

$$\alpha = \frac{1}{137} \ll 1$$

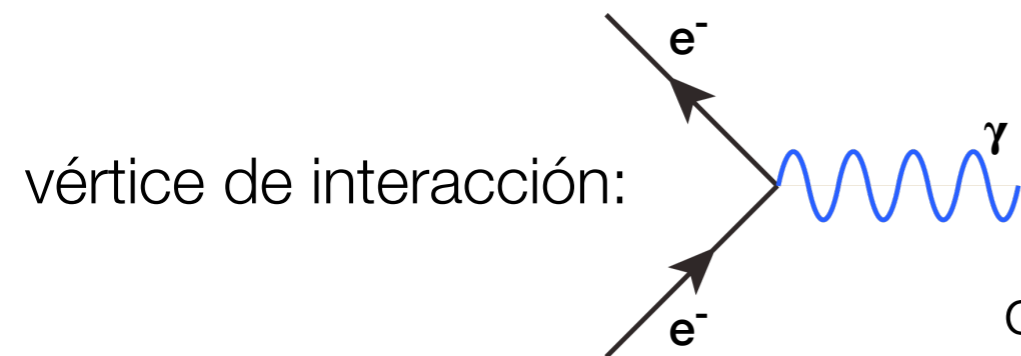
observables se pueden calcular como desviación controlada de $\alpha = 0$

$$E = E_0 + \alpha E_1 + \alpha^2 E_2 + \dots$$



momento magnético del electrón

ELECTRODINAMICA: INTERACCION DEBIL

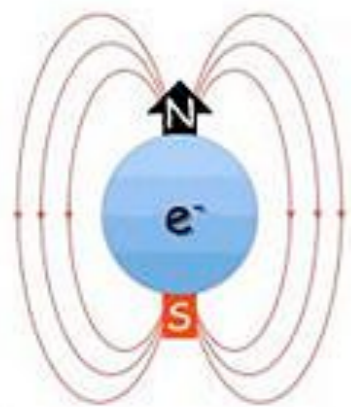


constante de acoplo:

$$\alpha = \frac{1}{137} \ll 1$$

observables se pueden calcular como desviación controlada de $\alpha = 0$

$$E = E_0 + \alpha E_1 + \alpha^2 E_2 + \dots$$

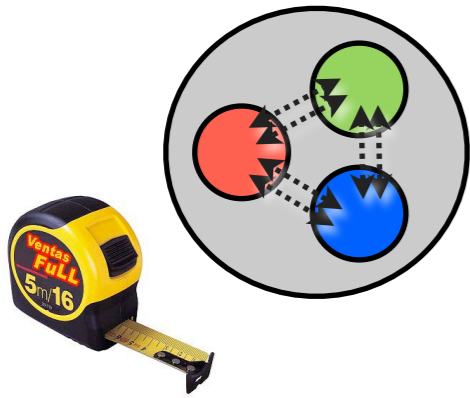


momento magnético del electrón

**predicción verificada
con la mayor precisión
de la historia de la física !**

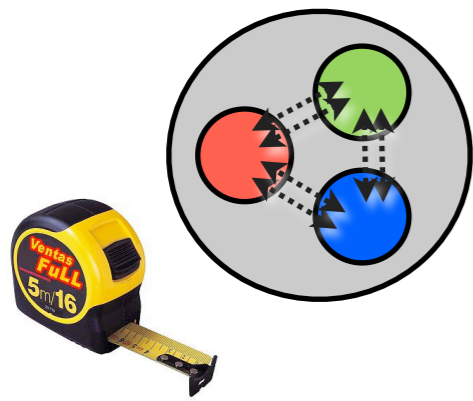
CROMODINAMICA: INTERACCION FUERTE

quarks y gluones: $\alpha < 1$, buena descripción a muy cortas distancias

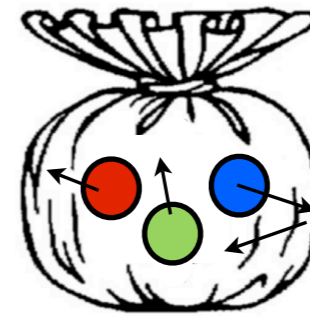


CROMODINAMICA: INTERACCION FUERTE

quarks y gluones: $\alpha < 1$, buena descripción a muy cortas distancias

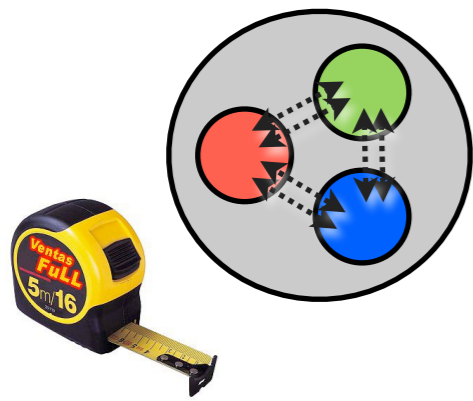


aproximación $\alpha = 0$:
bag model

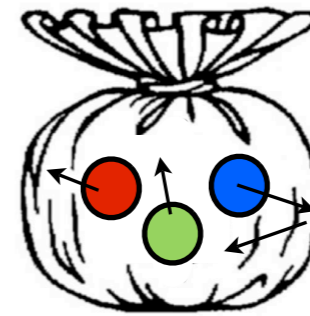


CROMODINAMICA: INTERACCION FUERTE

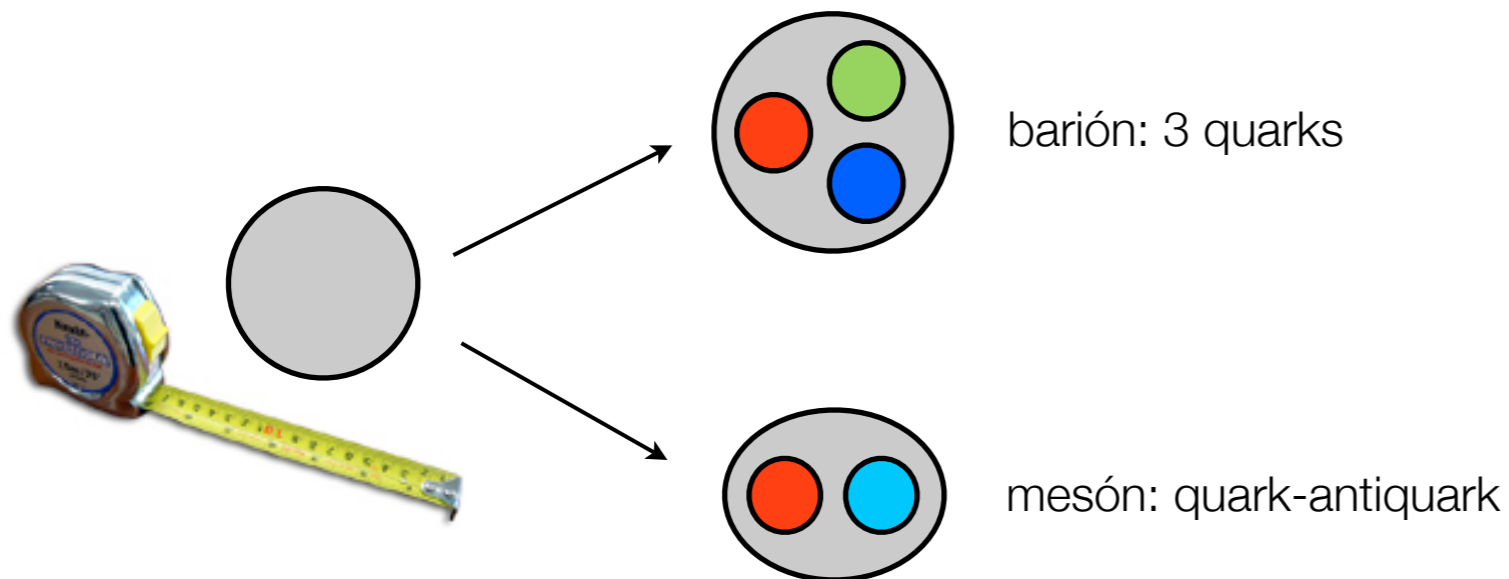
quarks y gluones: $\alpha < 1$, buena descripción a muy cortas distancias



aproximación $\alpha = 0$:
bag model



cuando la distancia aumenta, $\alpha > 1$: **hadrones**

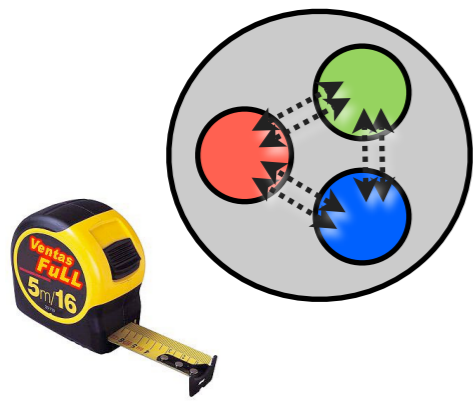


barión: 3 quarks

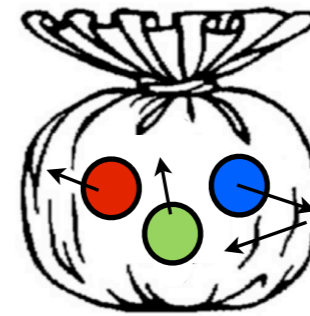
mesón: quark-antiquark

CROMODINAMICA: INTERACCION FUERTE

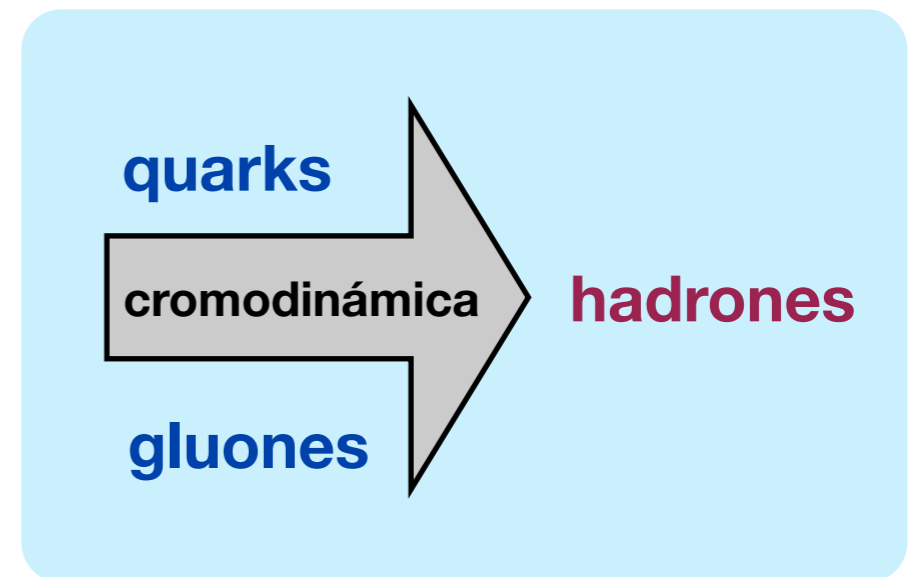
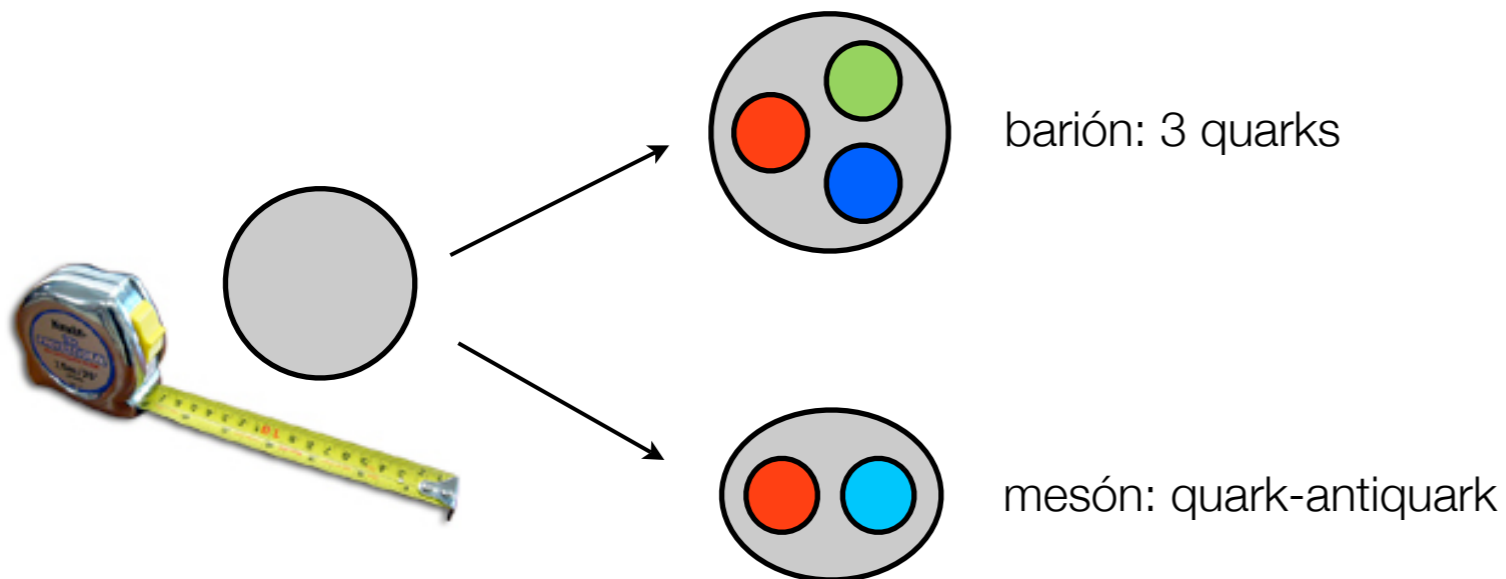
quarks y gluones: $\alpha < 1$, buena descripción a muy cortas distancias



aproximación $\alpha = 0$:
bag model

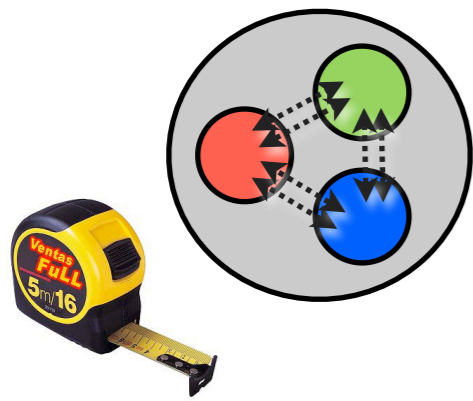


cuando la distancia aumenta, $\alpha > 1$: **hadrones**

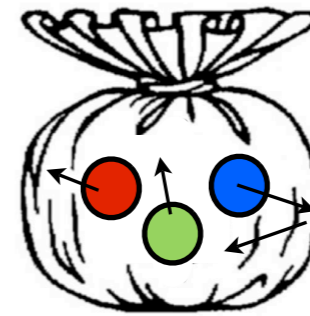


CROMODINAMICA: INTERACCION FUERTE

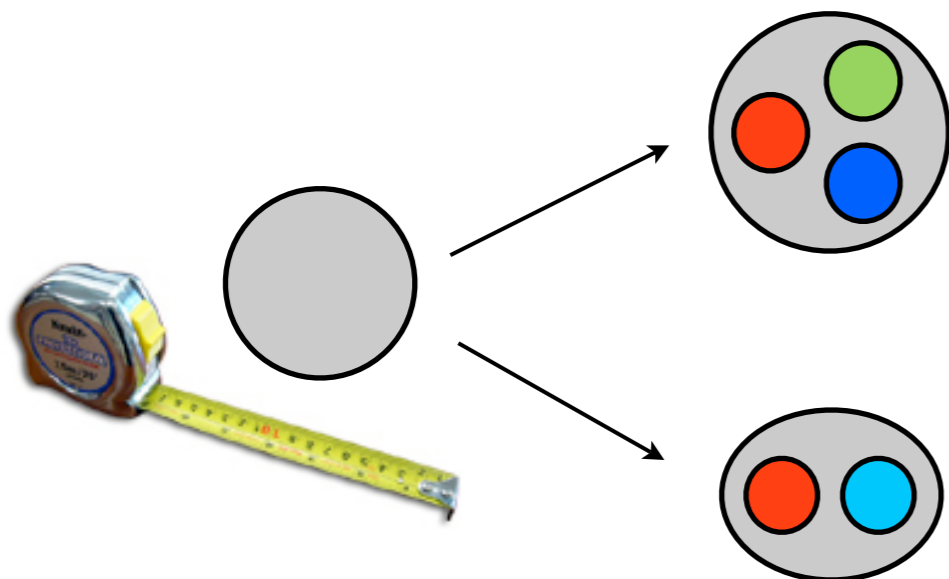
quarks y gluones: $\alpha < 1$, buena descripción a muy cortas distancias



aproximación $\alpha = 0$:
bag model

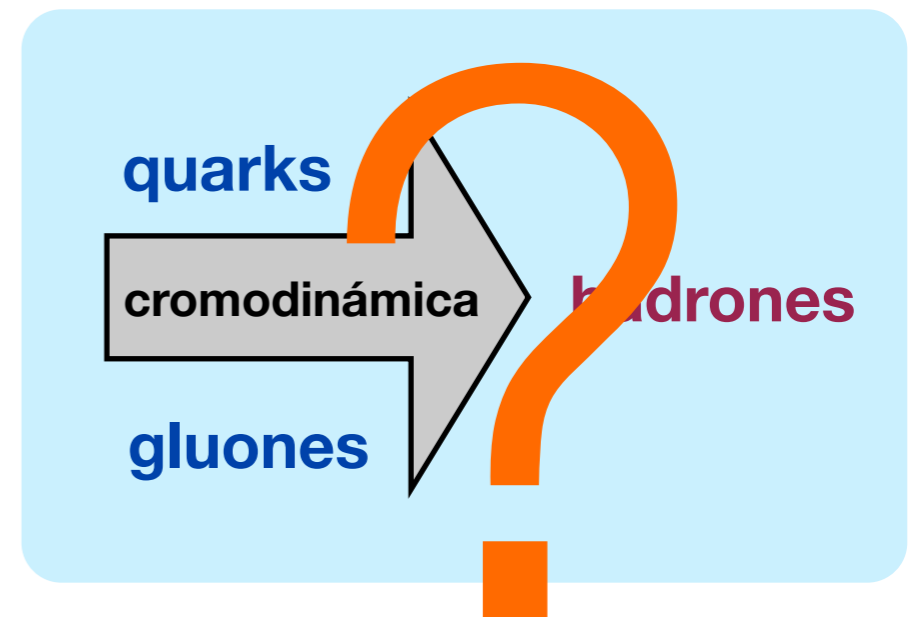


cuando la distancia aumenta, $\alpha > 1$: **hadrones**



barión: 3 quarks

mesón: quark-antiquark



QUE HACER?

teorías efectivas para hadrones

cálculos numéricos

Hay alguna vía alternativa?

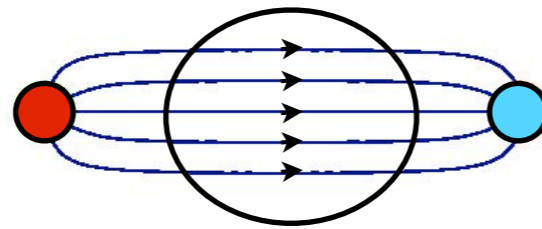
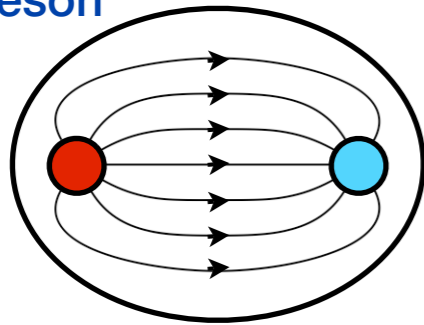
QUE HACER?

teorías efectivas para hadrones

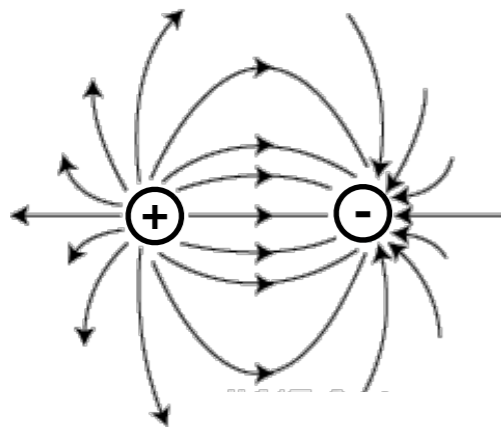
cálculos numéricos

Hay alguna vía alternativa?

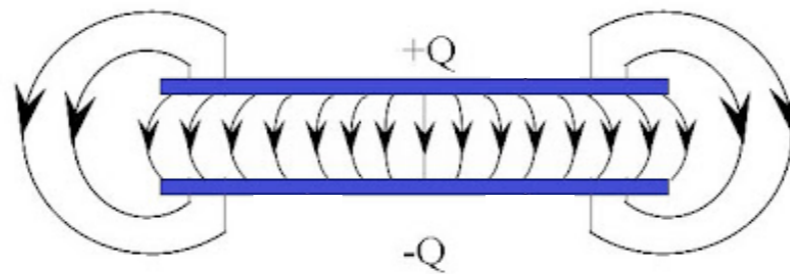
mesón



dipolo eléctrico



condensador



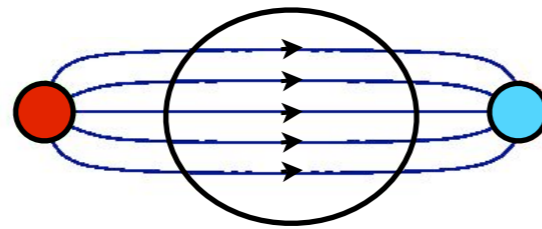
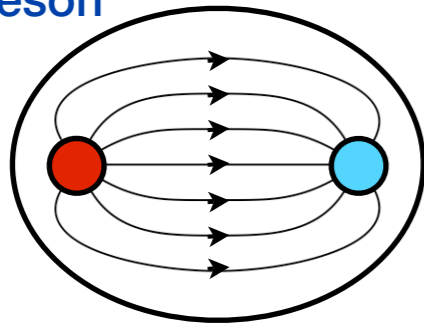
QUE HACER?

teorías efectivas para hadrones

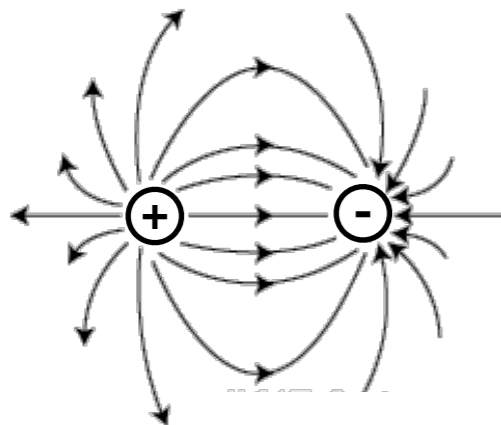
cálculos numéricos

Hay alguna vía alternativa?

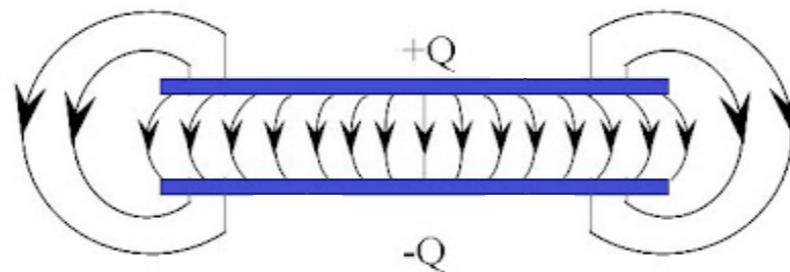
mesón



dipolo eléctrico



condensador



la fuerza entre placas es independiente de su separación

QUE HACER?

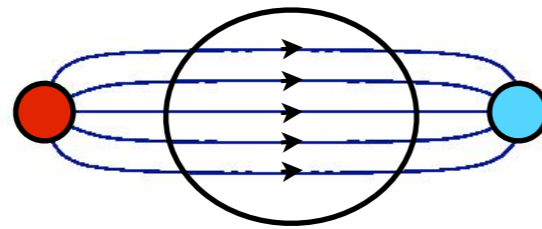
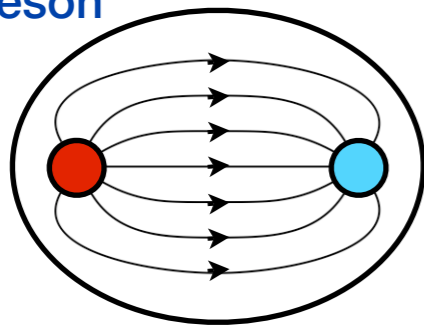
teorías efectivas para hadrones

cálculos numéricos

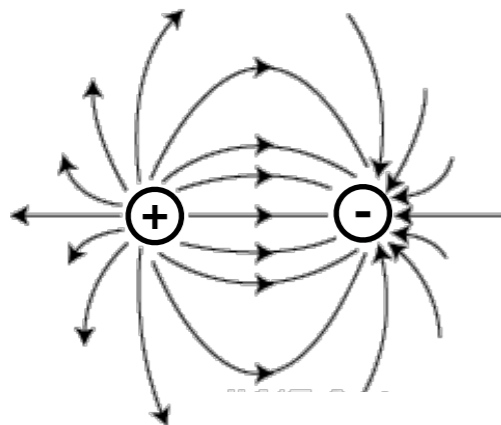
Hay alguna vía alternativa?

descripción efectiva en términos de una cuerda

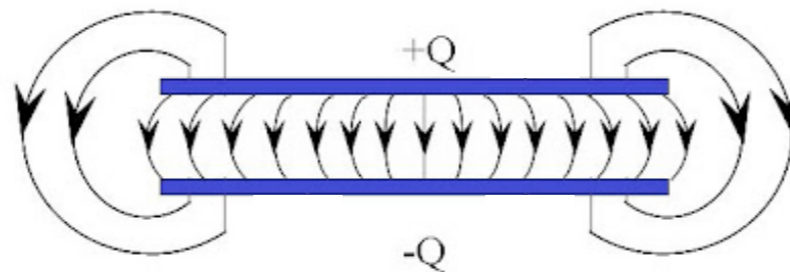
mesón



dipolo eléctrico



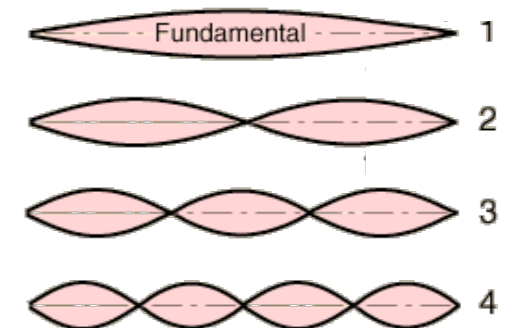
condensador



la fuerza entre placas es independiente de su separación

confinamiento

espectro de mesones



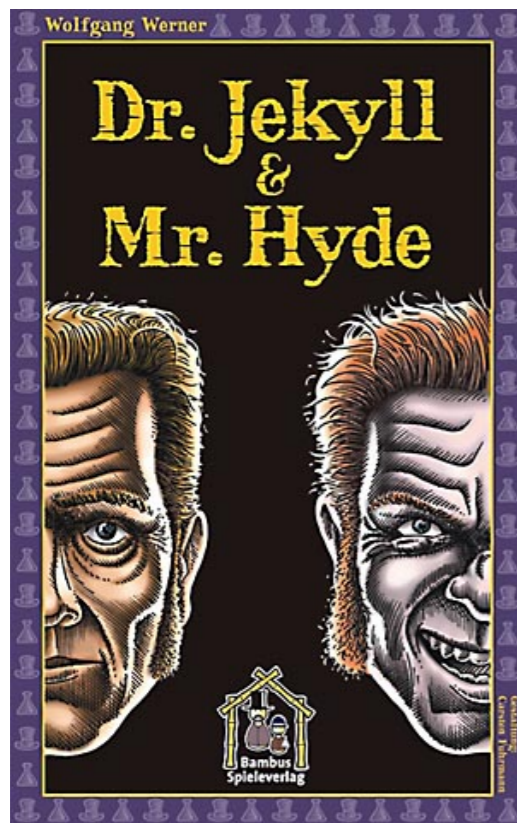
EL CONCEPTO DE DUALIDAD

reunión de dos caracteres distintos en una misma persona o cosa

EL CONCEPTO DE DUALIDAD

reunión de dos caracteres distintos en una misma persona o cosa

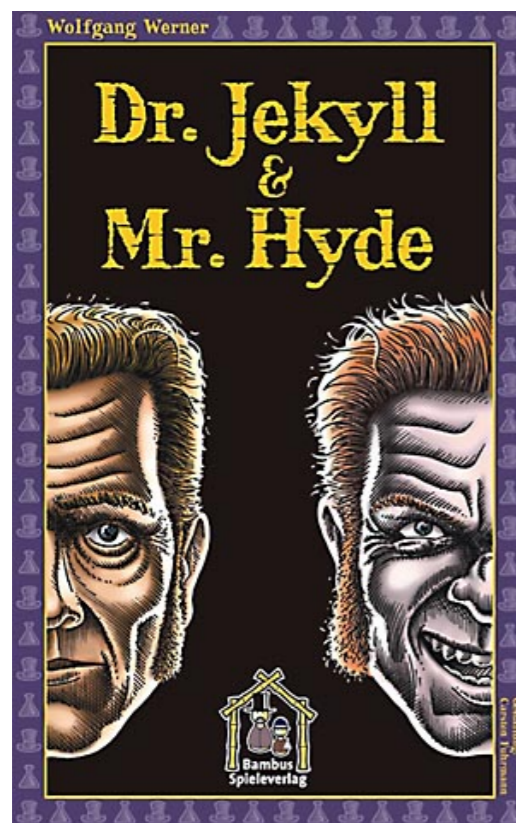
ejemplo 1:



EL CONCEPTO DE DUALIDAD

reunión de dos caracteres distintos en una misma persona o cosa

ejemplo 1:



ejemplo 2:

una misma realidad física admite dos descripciones

quarks y gluones - cuerda

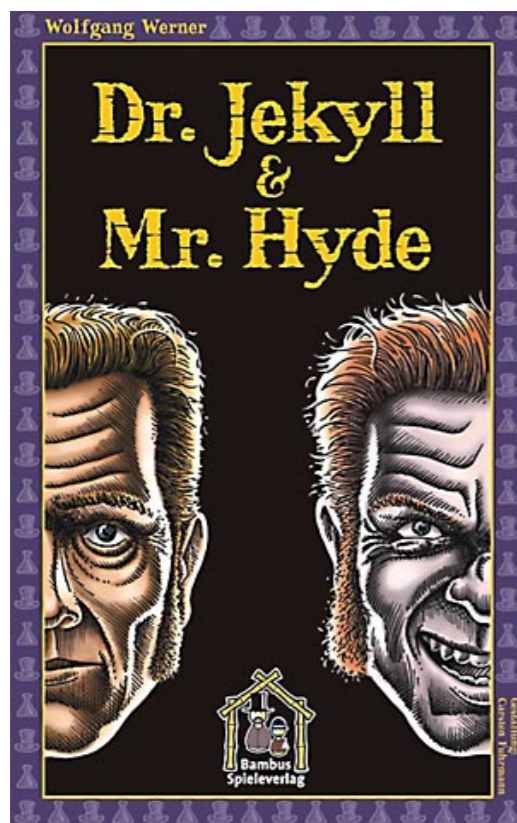
cada una es apropiada en circunstancias diferentes

corta distancia - larga distancia

EL CONCEPTO DE DUALIDAD

reunión de dos caracteres distintos en una misma persona o cosa

ejemplo 1:



ejemplo 2:

una misma realidad física admite dos descripciones

quarks y gluones - cuerda

cada una es apropiada en circunstancias diferentes

corta distancia - larga distancia

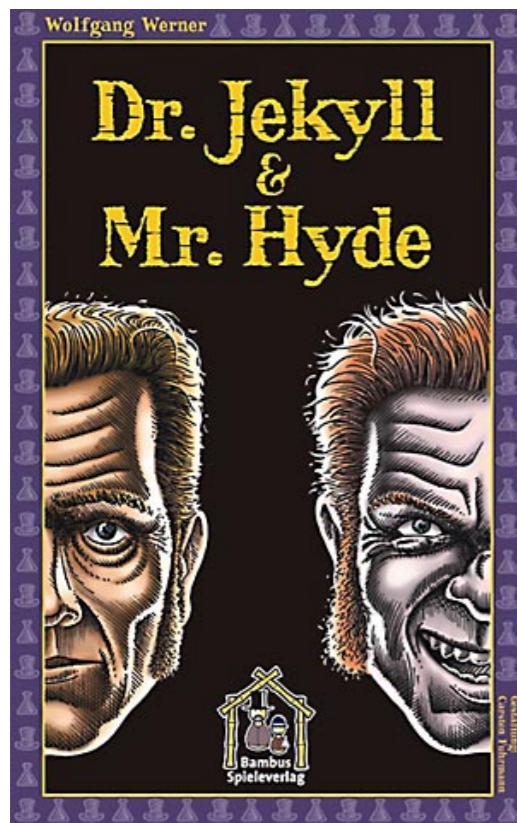
teoría efectiva

teoría dual

EL CONCEPTO DE DUALIDAD

reunión de dos caracteres distintos en una misma persona o cosa

ejemplo 1:



ejemplo 2:

una misma realidad física admite dos descripciones

quarks y gluones - cuerda

cada una es apropiada en circunstancias diferentes

corta distancia - larga distancia

teoría efectiva

teoría dual

ambas descripciones son completas

EN BUSCA DE LA CUERDA DUAL

simetría: invariancia bajo un grupo de transformaciones
restringe/explica propiedades de sistemas dinámicos

EN BUSCA DE LA CUERDA DUAL

simetría: invariancia bajo un grupo de transformaciones
restringe/explica propiedades de sistemas dinámicos

pilar de muchas teorías

EN BUSCA DE LA CUERDA DUAL

simetría: invariancia bajo un grupo de transformaciones
restringe/explica propiedades de sistemas dinámicos

pilar de muchas teorías



EN BUSCA DE LA CUERDA DUAL

simetría: invariancia bajo un grupo de transformaciones
restringe/explica propiedades de sistemas dinámicos

pilar de muchas teorías



EN BUSCA DE LA CUERDA DUAL

simetría: invariancia bajo un grupo de transformaciones
restringe/explica propiedades de sistemas dinámicos

pilar de muchas teorías



EN BUSCA DE LA CUERDA DUAL

simetría: invariancia bajo un grupo de transformaciones
restringe/explica propiedades de sistemas dinámicos

pilar de muchas teorías



EN BUSCA DE LA CUERDA DUAL

simetría: invariancia bajo un grupo de transformaciones
restringe/explica propiedades de sistemas dinámicos

pilar de muchas teorías

dualidad



cuerda de QCD: “cuerda fundamental”

EN BUSCA DE LA CUERDA DUAL

simetría: invariancia bajo un grupo de transformaciones
restringe/explica propiedades de sistemas dinámicos

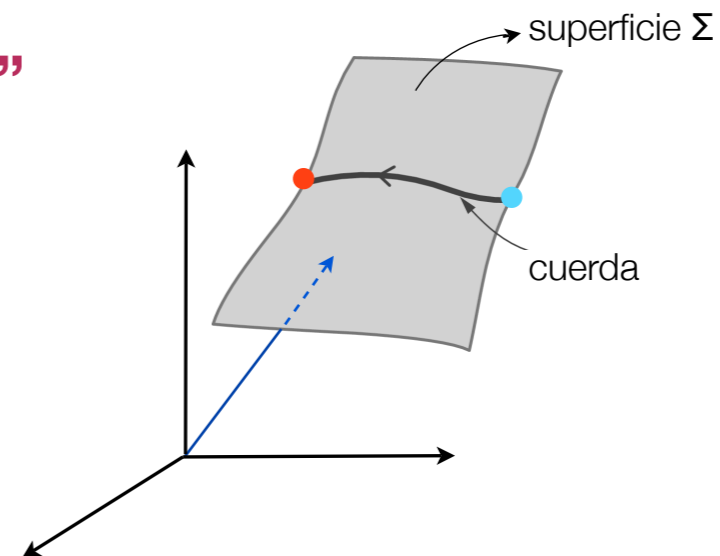
pilar de muchas teorías

dualidad



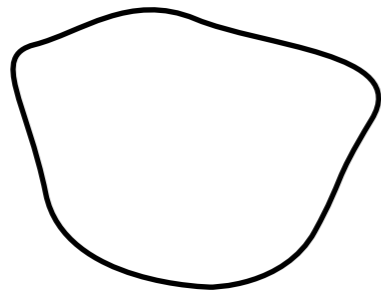
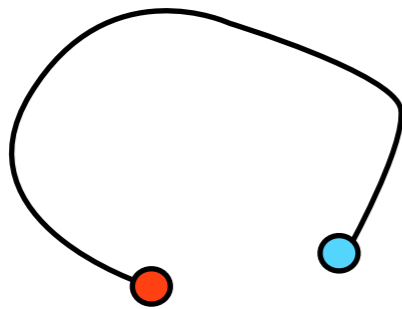
cuerda de QCD: “cuerda fundamental”

probabilidad de $\Sigma \propto$ **área**



PROBLEMAS Y NUEVAS OPORTUNIDADES

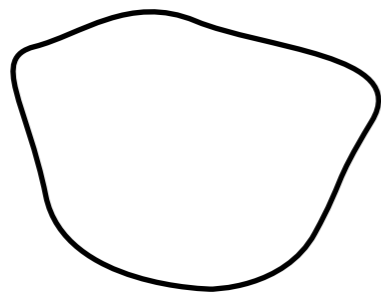
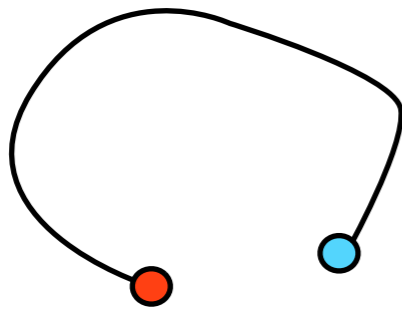
cuerda abierta



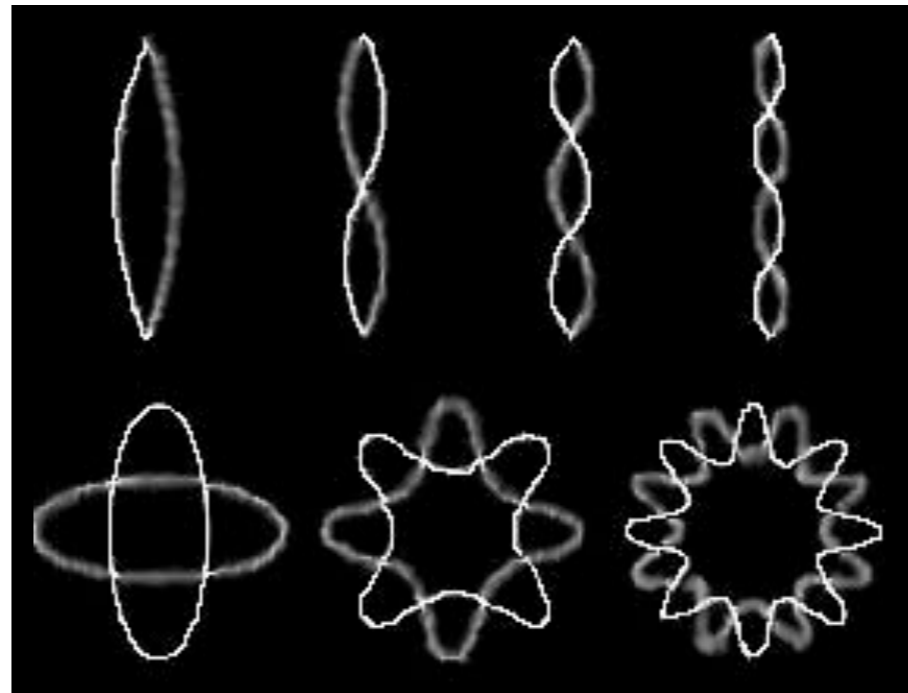
cuerda cerrada

PROBLEMAS Y NUEVAS OPORTUNIDADES

cuerda abierta

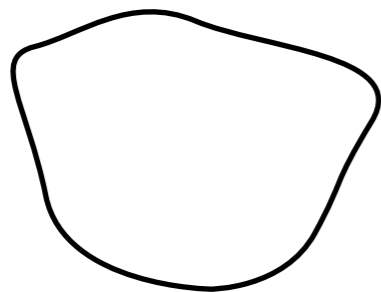
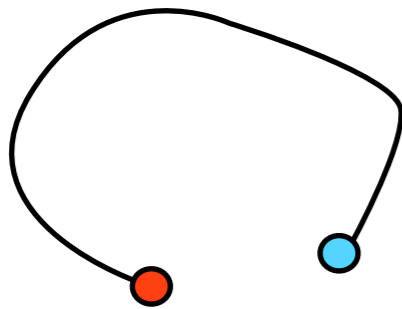


cuerda cerrada

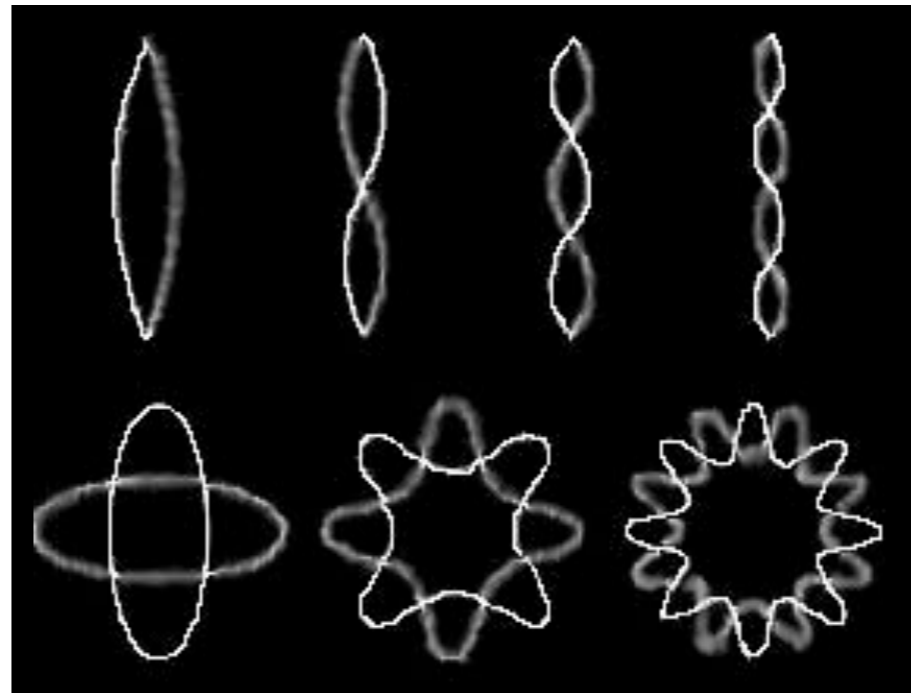


PROBLEMAS Y NUEVAS OPORTUNIDADES

cuerda abierta



cuerda cerrada

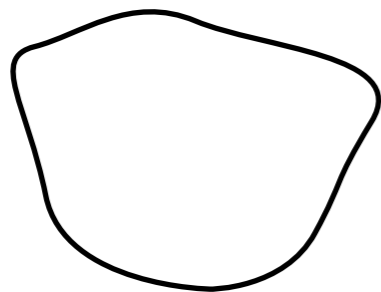
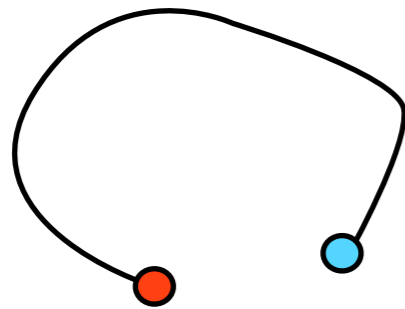


modo fundamental de la cuerda cerrada:

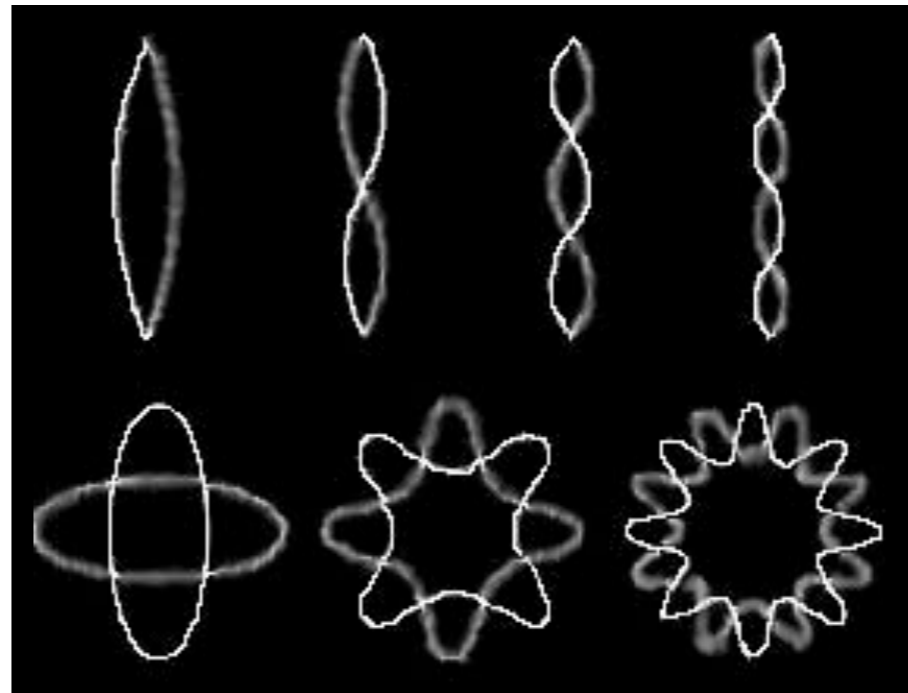
**masa
cero**

PROBLEMAS Y NUEVAS OPORTUNIDADES

cuerda abierta



cuerda cerrada



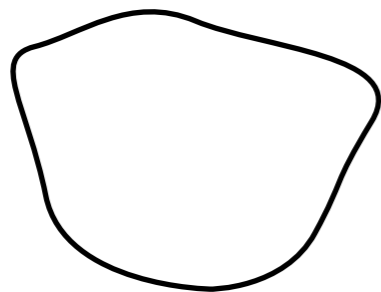
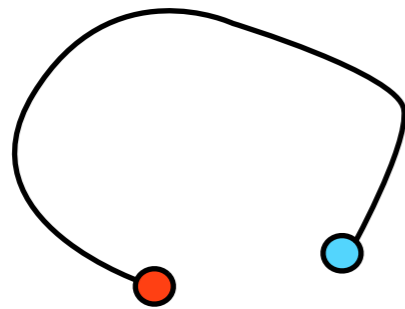
modo fundamental de la cuerda cerrada:

masa
cero

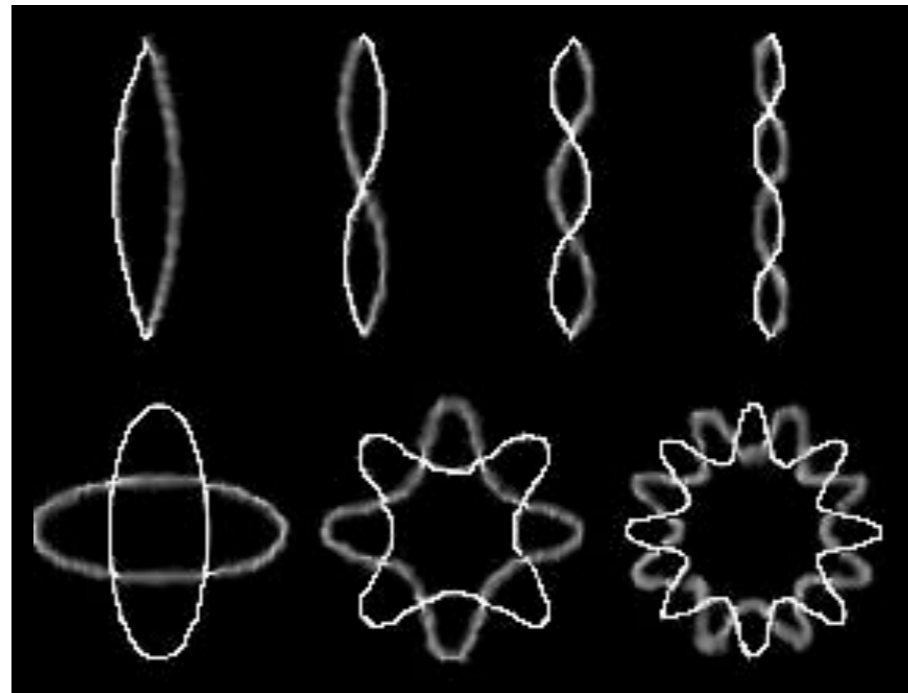


PROBLEMAS Y NUEVAS OPORTUNIDADES

cuerda abierta



cuerda cerrada



modo fundamental de la cuerda cerrada:

masa
cero

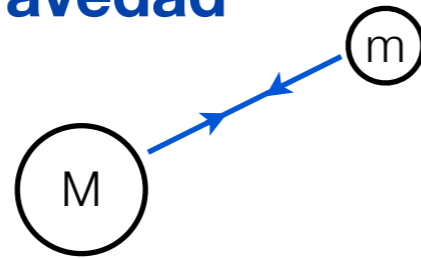
~~QCD~~

gravedad

RELATIVIDAD GENERAL



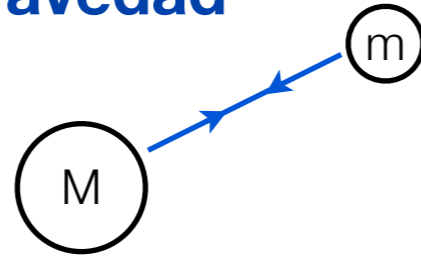
gravedad



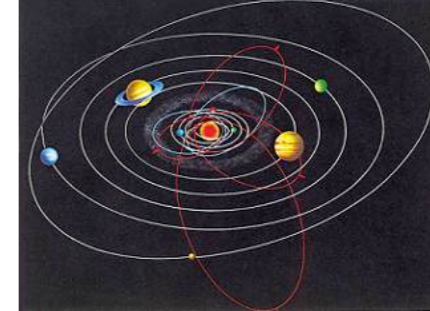
RELATIVIDAD GENERAL



gravedad



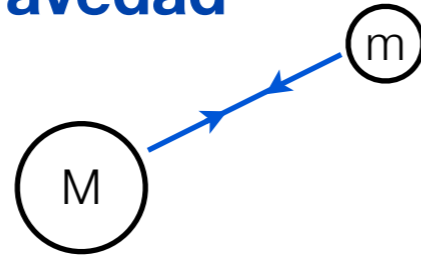
órbitas de
los planetas



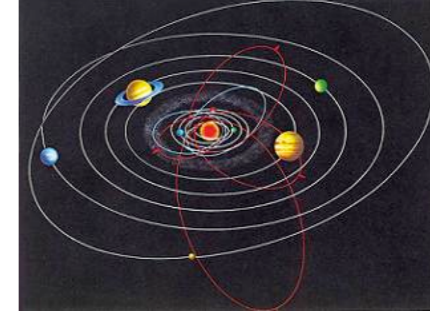
RELATIVIDAD GENERAL



gravedad



órbitas de
los planetas



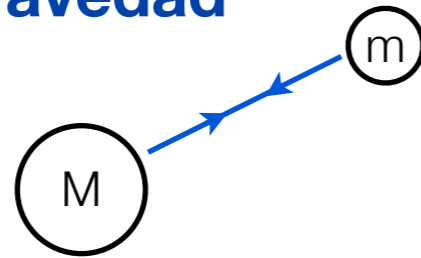
velocidad de la luz



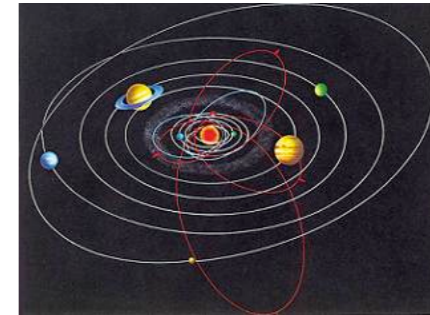
RELATIVIDAD GENERAL



gravedad



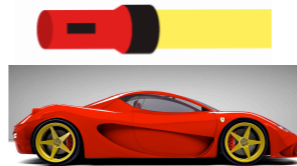
órbitas de los planetas



velocidad de la luz



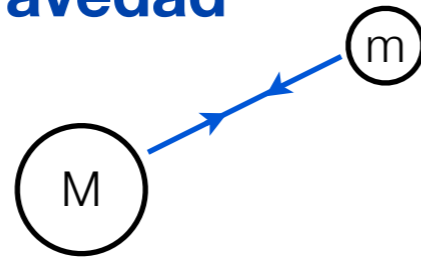
=



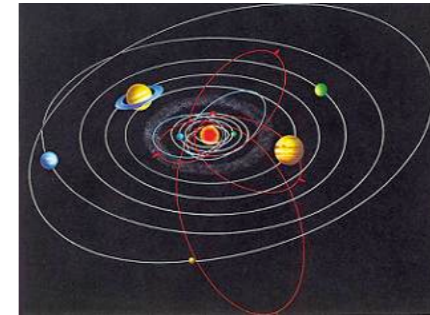
RELATIVIDAD GENERAL



gravedad



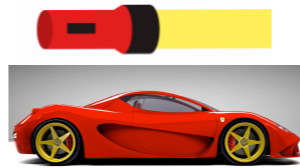
órbitas de los planetas



velocidad de la luz



=

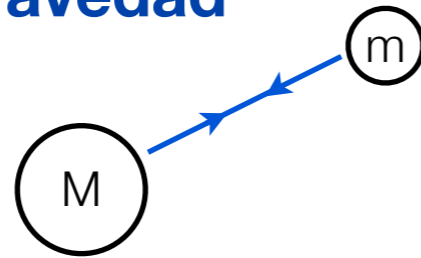


nueva concepción del espacio-tiempo y la gravedad

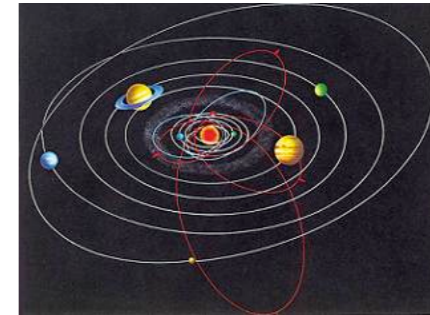
RELATIVIDAD GENERAL



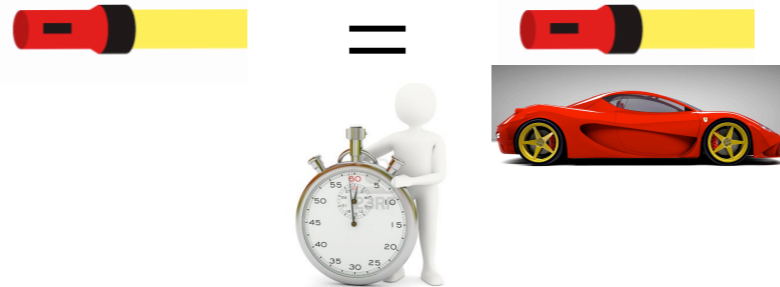
gravedad



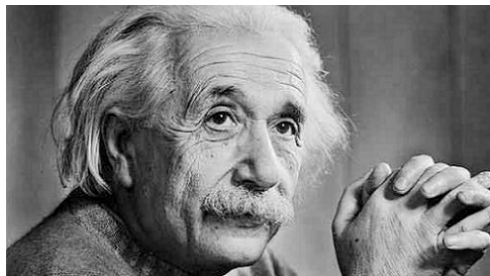
órbitas de los planetas



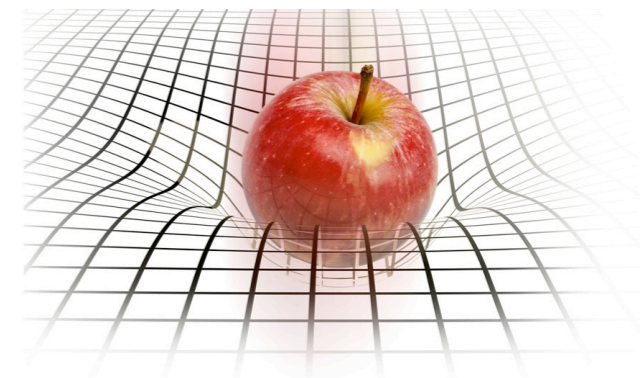
velocidad de la luz



nueva concepción del espacio-tiempo y la gravedad



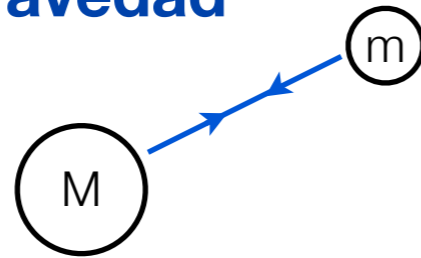
materia y energía actúan sobre el espacio-tiempo



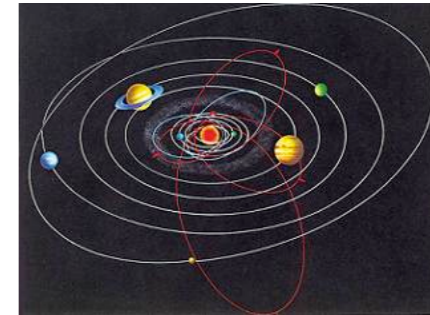
RELATIVIDAD GENERAL



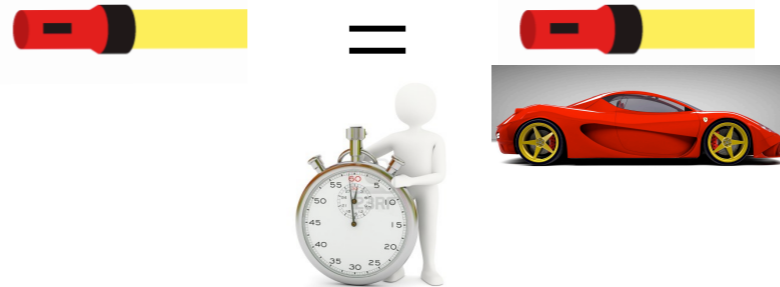
gravedad



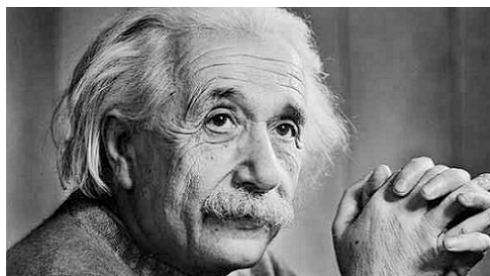
órbitas de los planetas



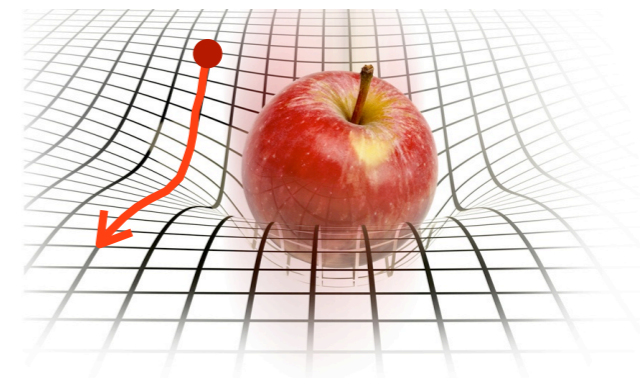
velocidad de la luz



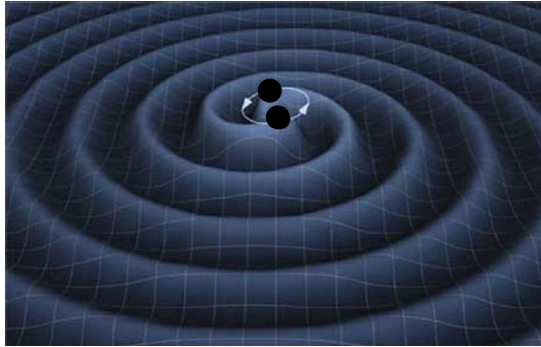
nueva concepción del espacio-tiempo y la gravedad



materia y energía actúan sobre el espacio-tiempo

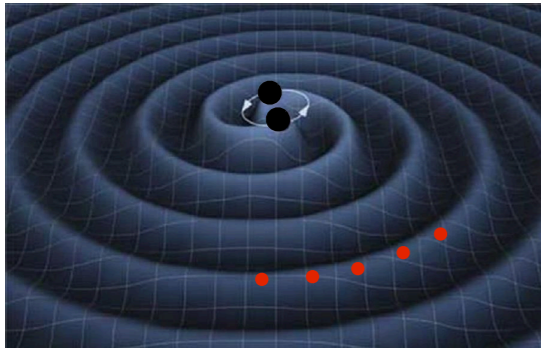


GRAVEDAD + CUANTICA: PROBLEMAS

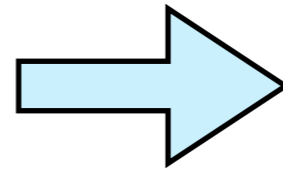


ondas gravitatorias

GRAVEDAD + CUANTICA: PROBLEMAS

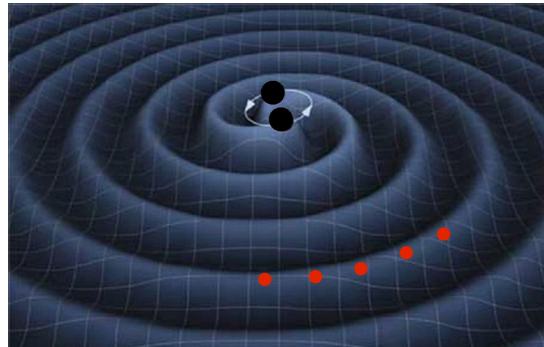


ondas gravitatorias + mecánica cuántica

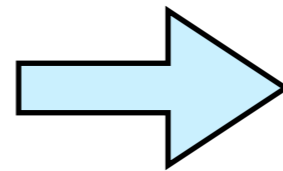


gravitón

GRAVEDAD + CUANTICA: PROBLEMAS

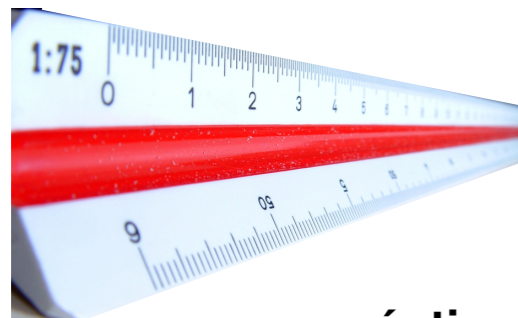


ondas gravitatorias + mecánica cuántica



gravitón

quarks y gluones (acoplo **débil**)



cuántico

hadrones
(fuerte)

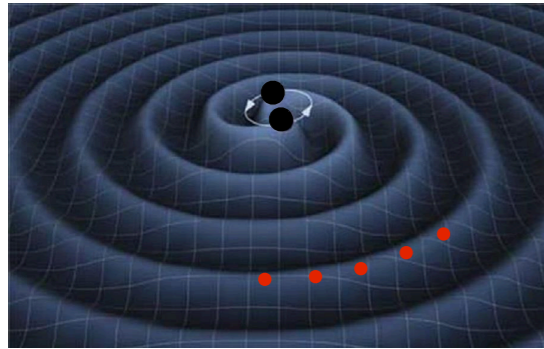
big-bang
agujeros negros **(fuerte)**



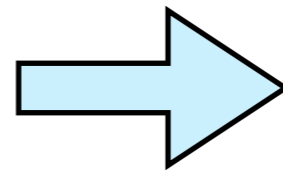
clásico

sistema solar
(débil)

GRAVEDAD + CUANTICA: PROBLEMAS

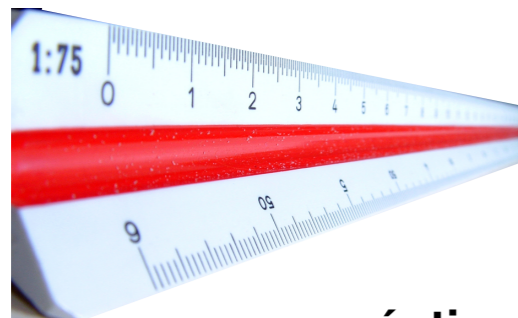


ondas gravitatorias + mecánica cuántica



gravitón

quarks y gluones (acoplo débil)



cuántico

hadrones
(fuerte)

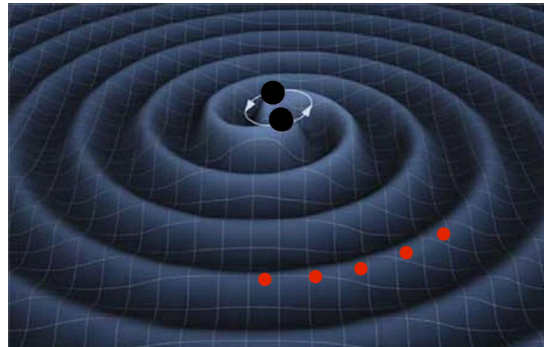
big-bang
agujeros negros (divergente!)



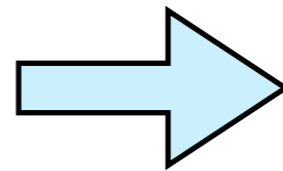
clásico

sistema solar
(débil)

GRAVEDAD + CUANTICA: PROBLEMAS

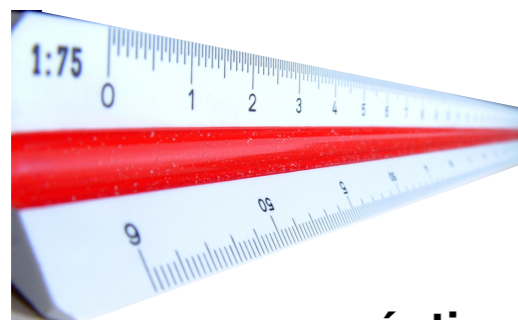


ondas gravitatorias + mecánica cuántica



gravitón

quarks y gluones (acoplo débil)



cuántico

hadrones
(fuerte)

big-bang
agujeros negros (divergente!)



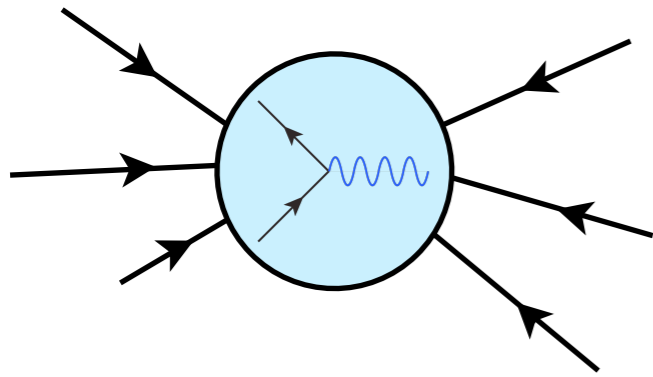
clásico

sistema solar
(débil)

es relatividad general completa a nivel cuántico?

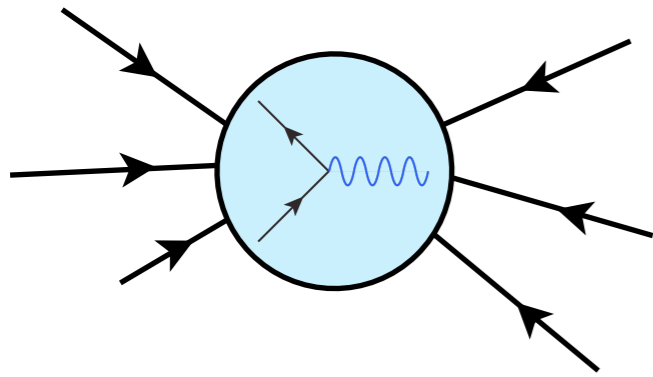
TEORIA DE CUERDAS

posibles problemas a cortas
distancias

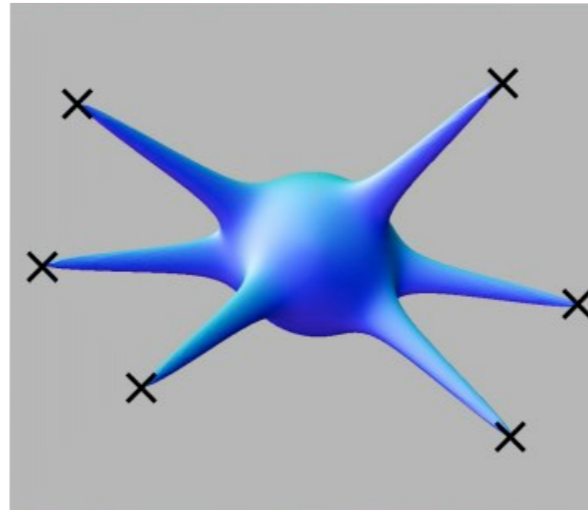


TEORIA DE CUERDAS

posibles problemas a cortas distancias

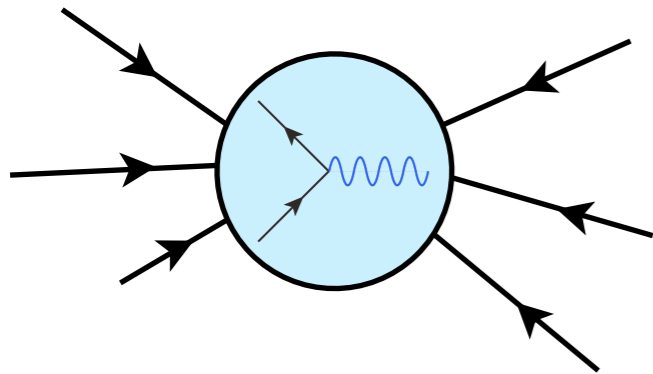


comportamiento suave a corta distancia

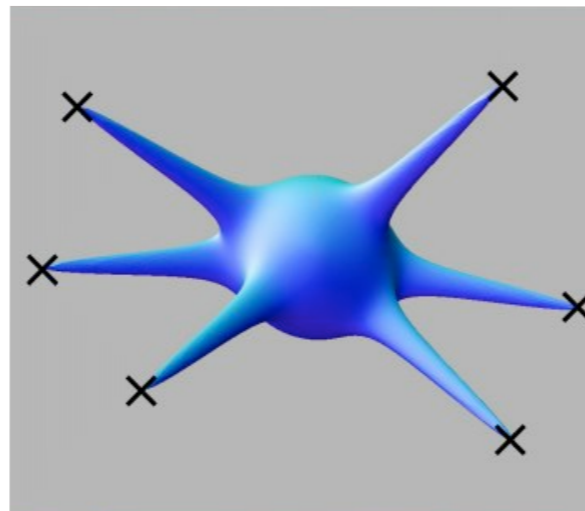


TEORIA DE CUERDAS

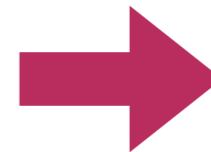
posibles problemas a cortas distancias



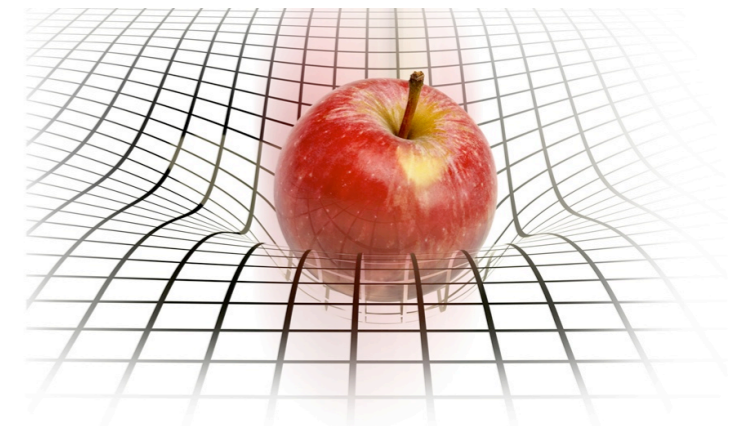
comportamiento suave a corta distancia



cuerdas cerradas + mecánica cuántica



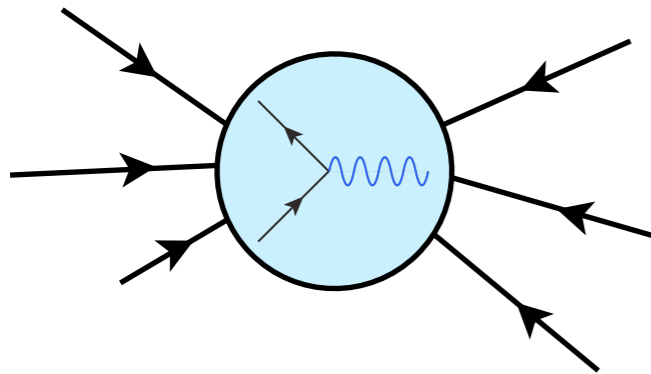
larga distancia:



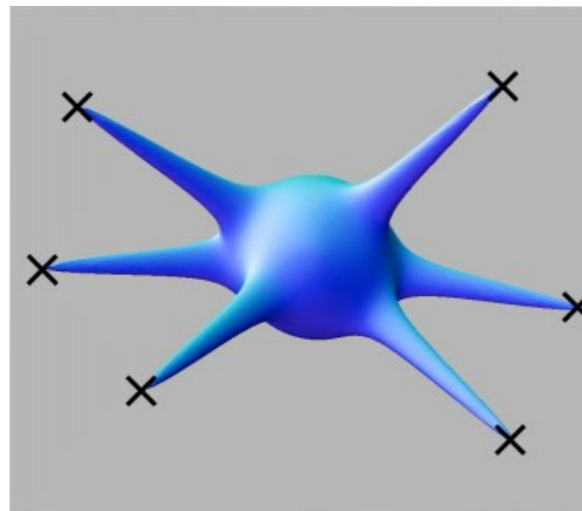
relatividad general

TEORIA DE CUERDAS

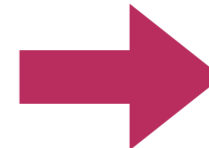
posibles problemas a cortas distancias



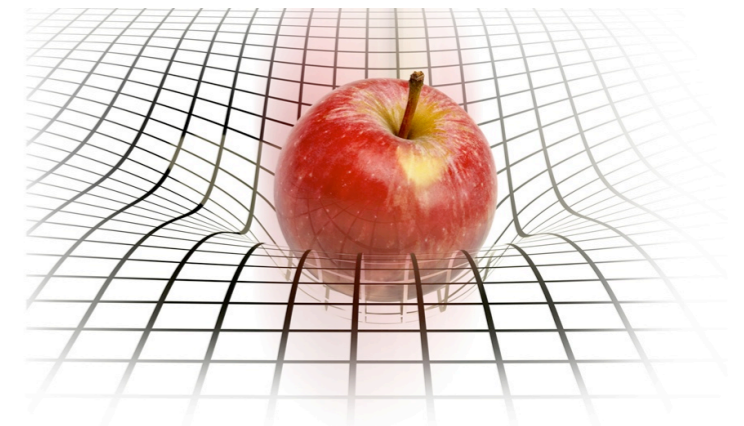
comportamiento suave a corta distancia



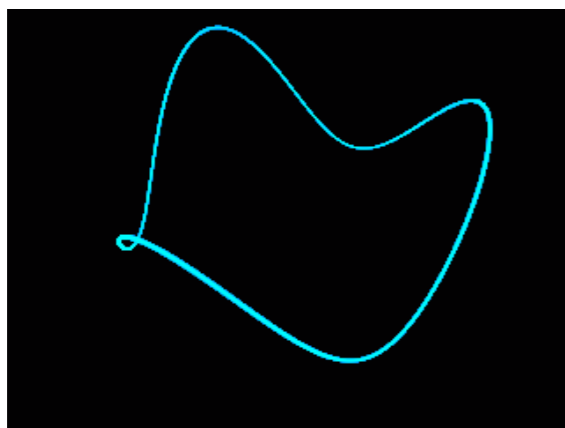
cuerdas cerradas + mecánica cuántica



larga distancia:

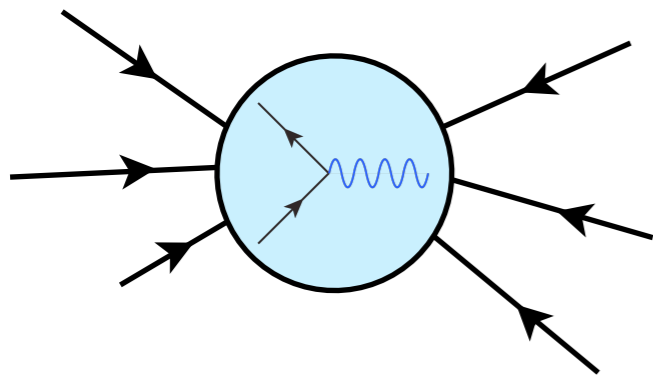


relatividad general

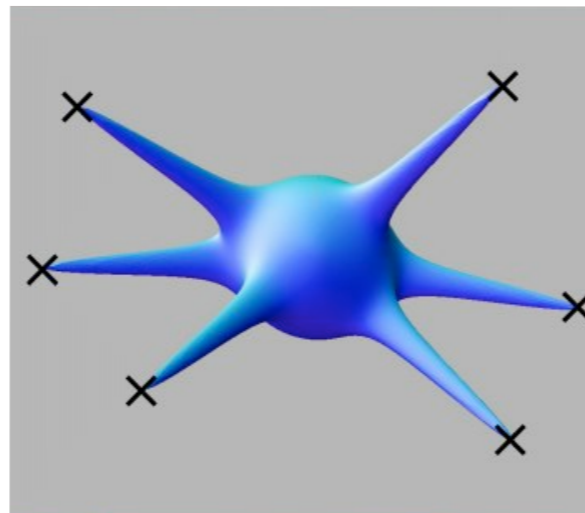


TEORIA DE CUERDAS

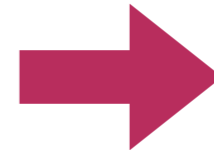
posibles problemas a cortas distancias



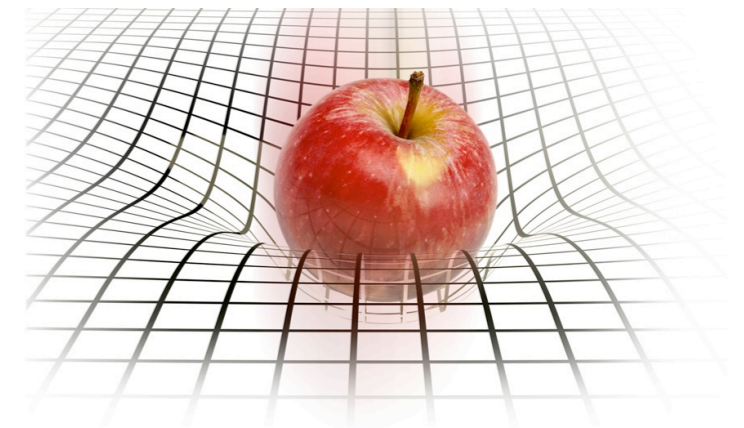
comportamiento suave a corta distancia



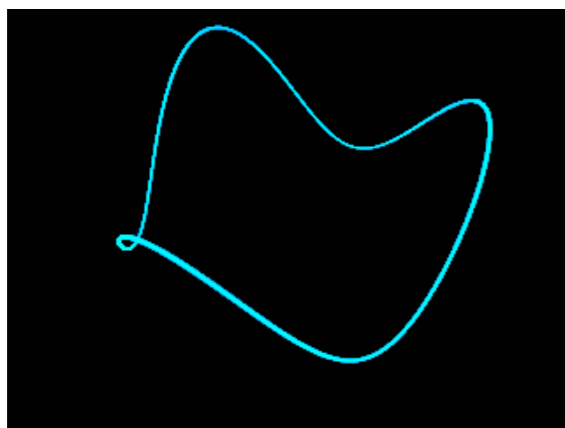
cuerdas cerradas + mecánica cuántica



larga distancia:



relatividad general

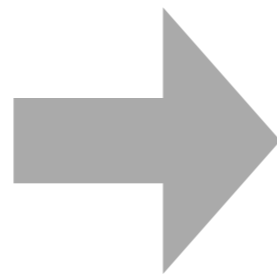


modo fundamental:
gravitón

PRIMERA PARTE DEL VIAJE:
OK!

PRIMERA PARTE DEL VIAJE:
OK!

de las partículas



a las cuerdas

HOLOGRAFIA: UNA PRIMERA IMAGEN

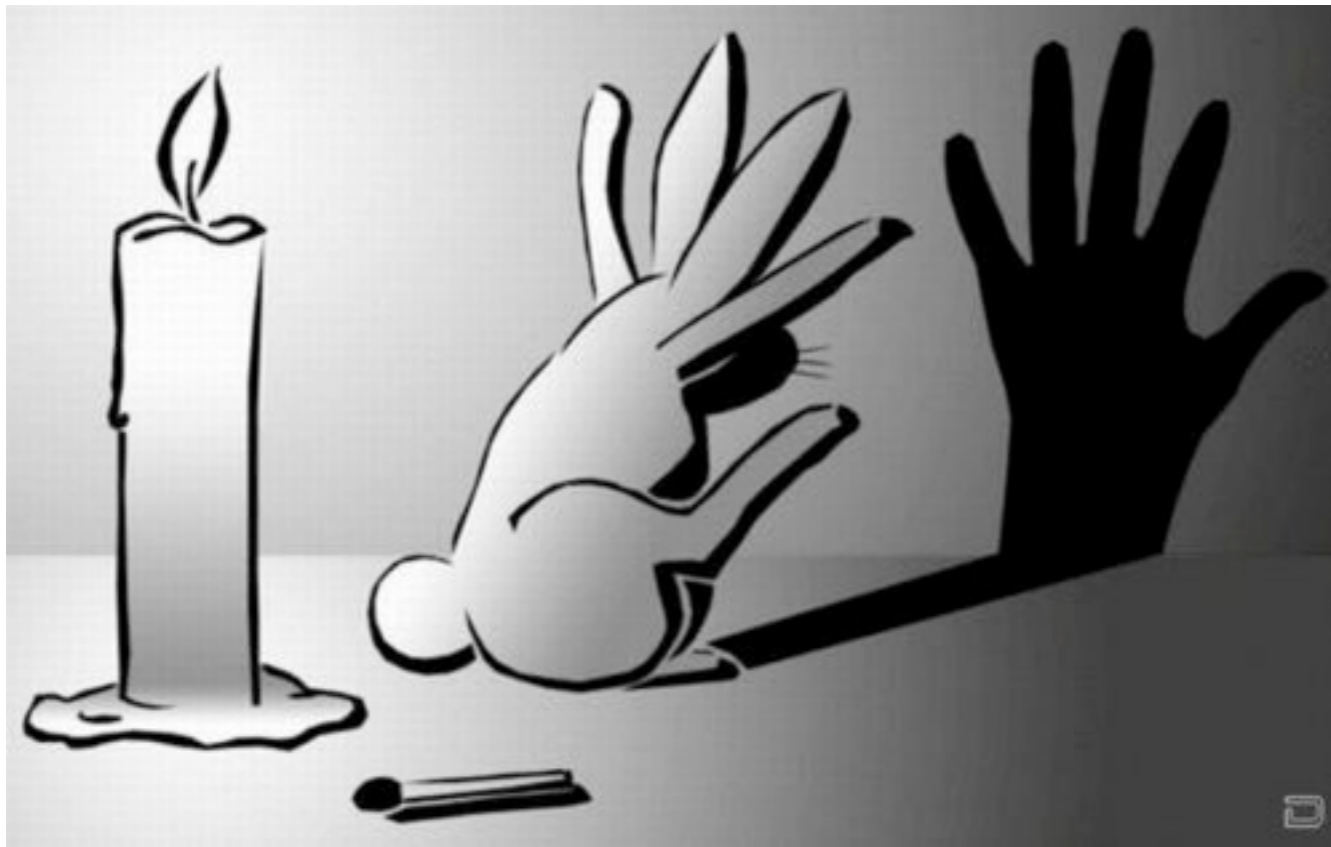
cuerda fundamental: **teoría de gravedad**

y la cuerda de QCD?

HOLOGRAFIA: UNA PRIMERA IMAGEN

cuerda fundamental: **teoría de gravedad**

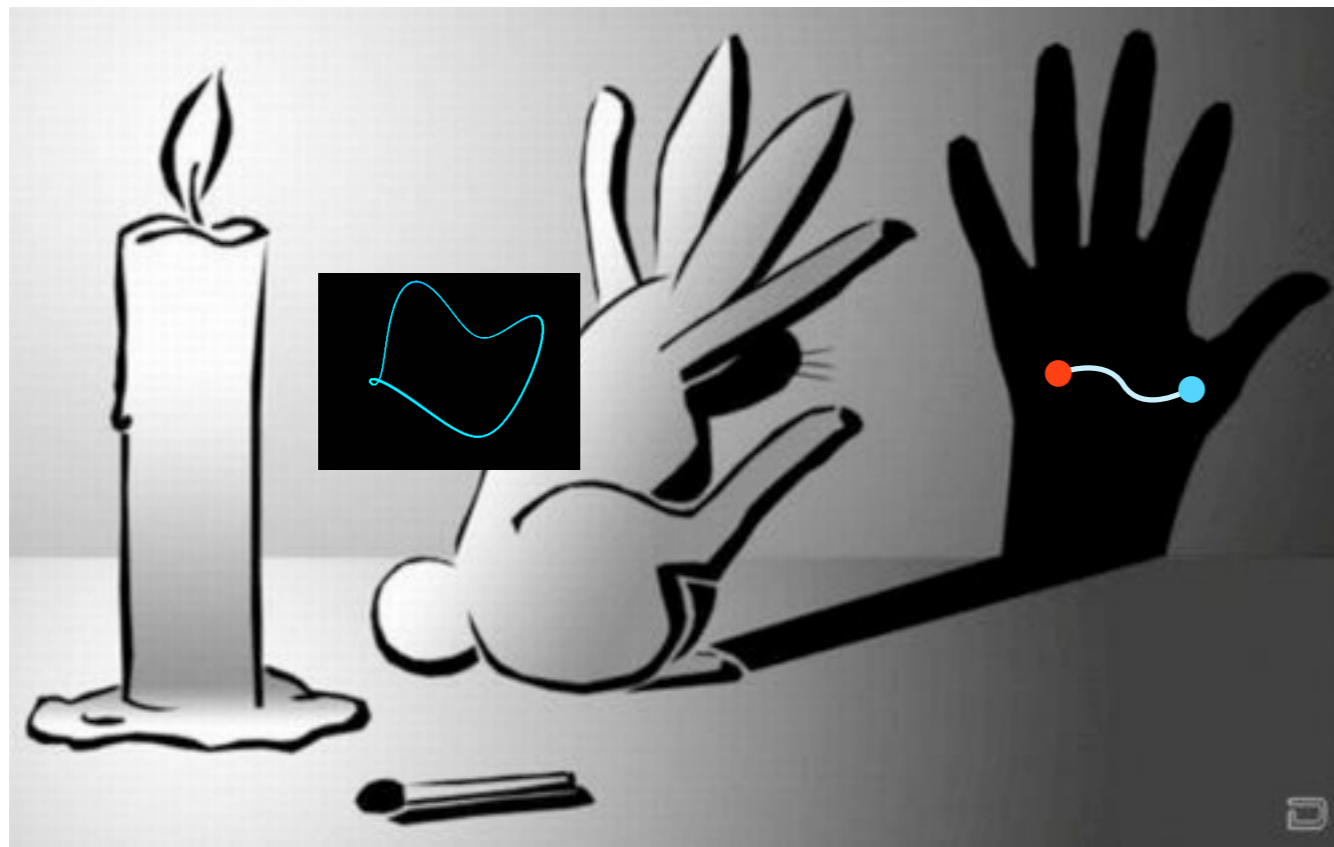
y la cuerda de QCD?



HOLOGRAFIA: UNA PRIMERA IMAGEN

cuerda fundamental: **teoría de gravedad**

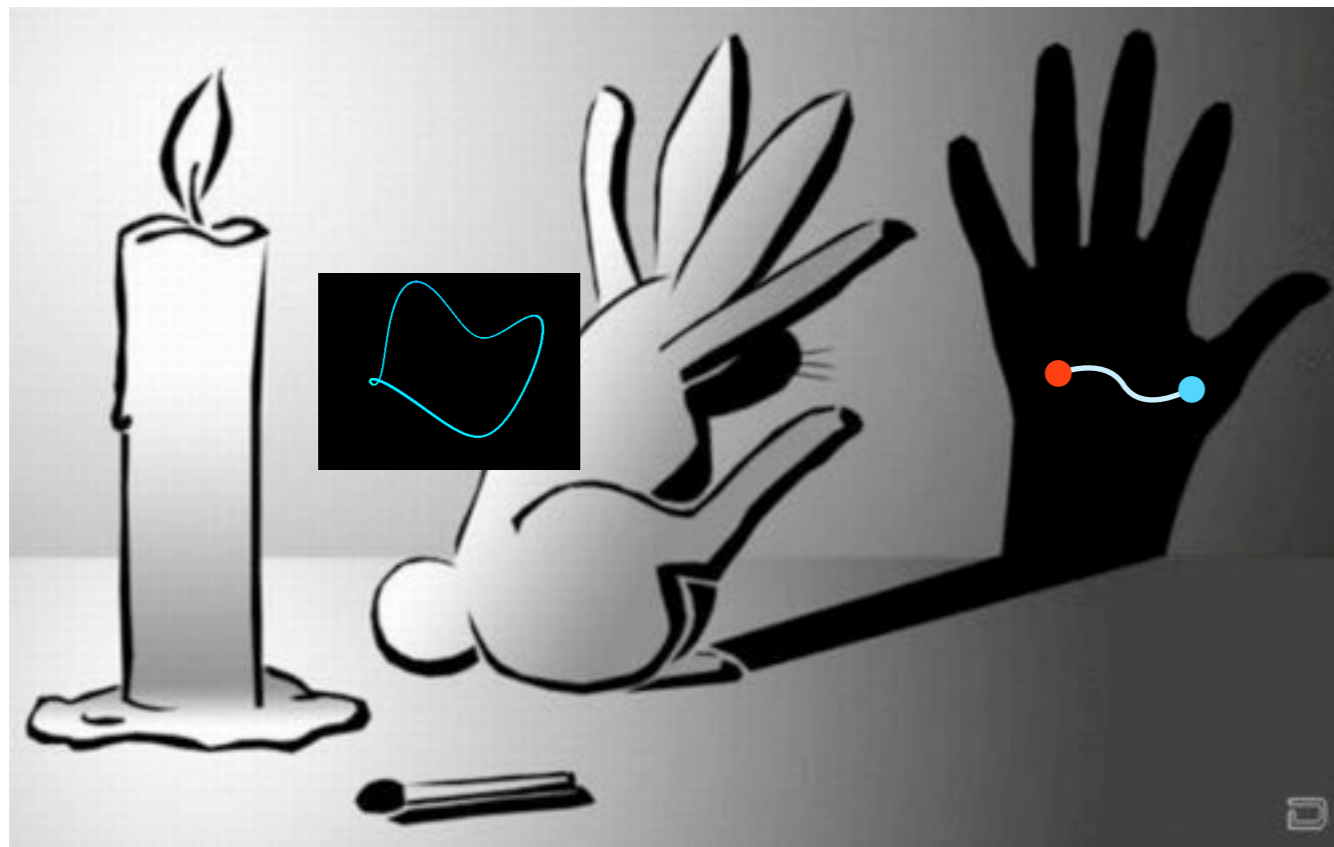
y la cuerda de QCD?



HOLOGRAFIA: UNA PRIMERA IMAGEN

cuerda fundamental: **teoría de gravedad**

y la cuerda de QCD?

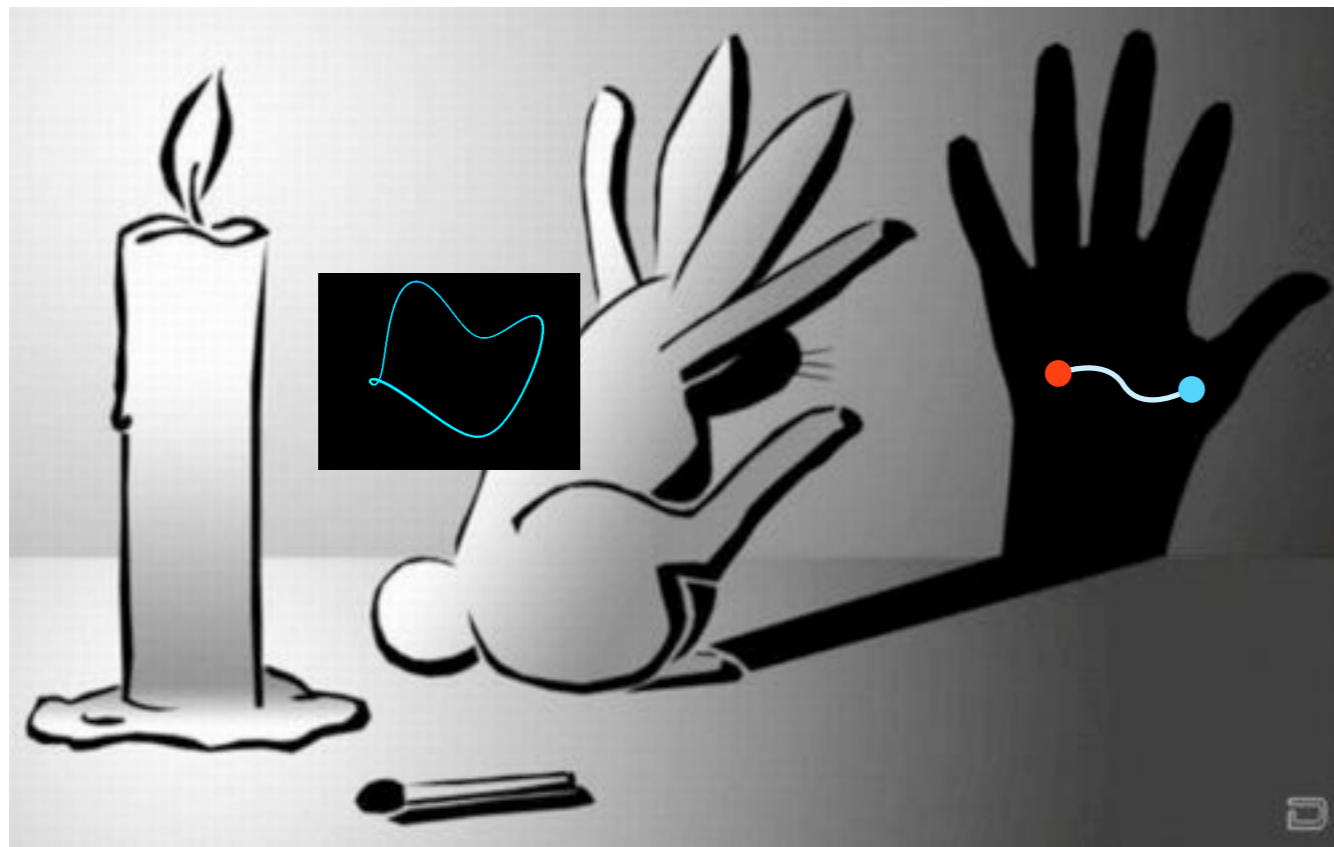


la cuerda dual describe gravedad, pero se propaga en un espacio-tiempo distinto

HOLOGRAFIA: UNA PRIMERA IMAGEN

cuerda fundamental: **teoría de gravedad**

y la cuerda de QCD?



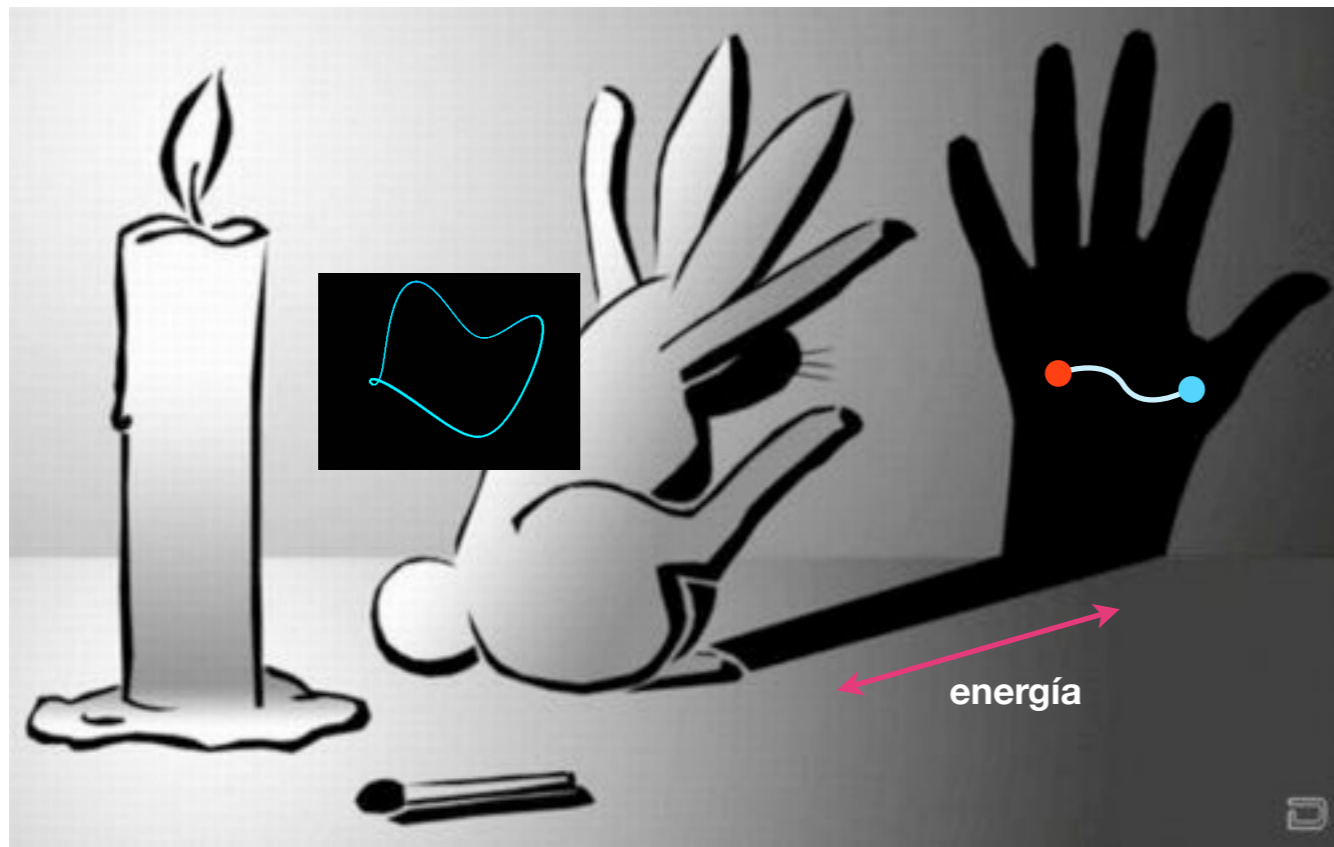
la cuerda dual describe
gravedad, pero se propaga
en un espacio-tiempo distinto

de dimensión mayor

HOLOGRAFIA: UNA PRIMERA IMAGEN

cuerda fundamental: **teoría de gravedad**

y la cuerda de QCD?



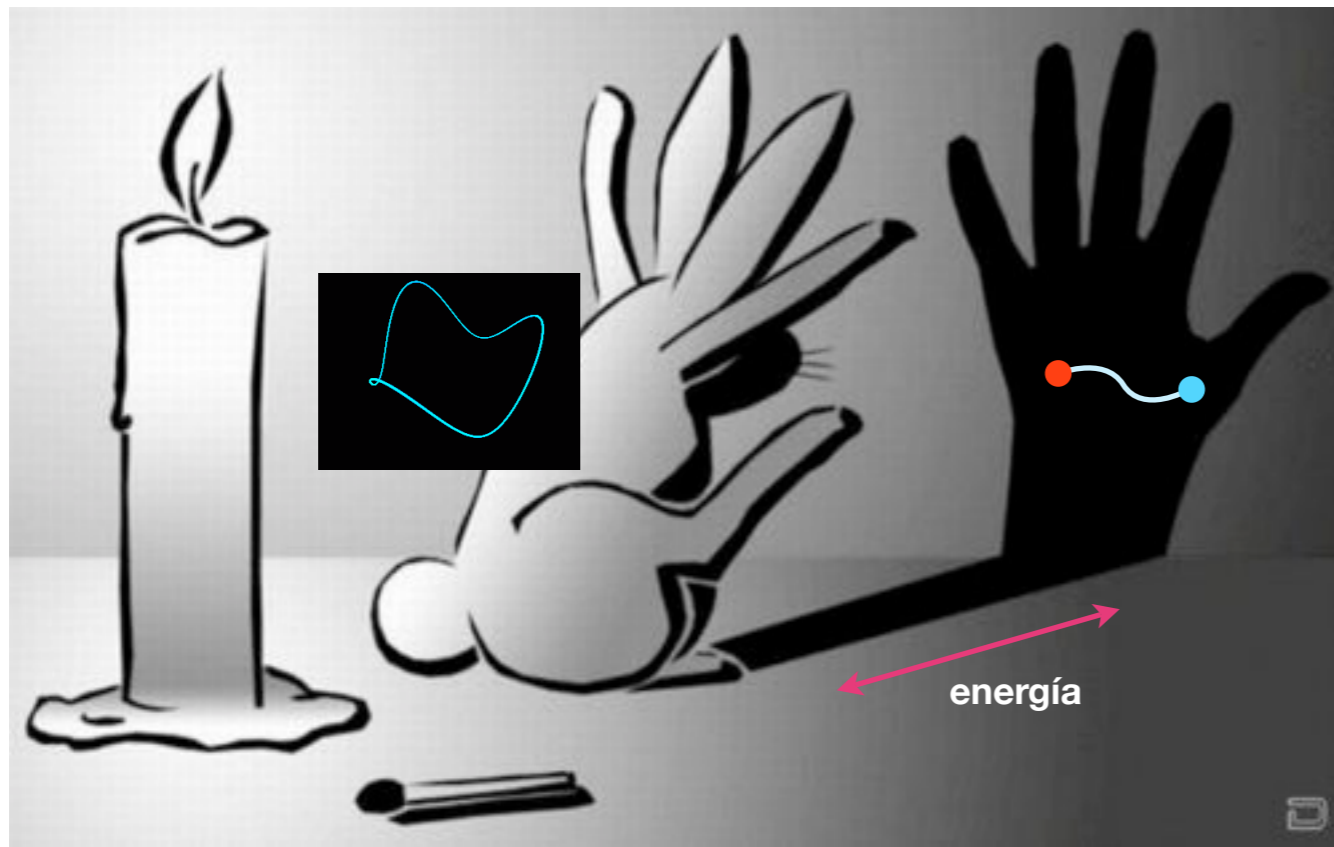
la cuerda dual describe gravedad, pero se propaga en un espacio-tiempo distinto

de dimensión mayor

HOLOGRAFIA: UNA PRIMERA IMAGEN

cuerda fundamental: **teoría de gravedad**

y la cuerda de QCD?



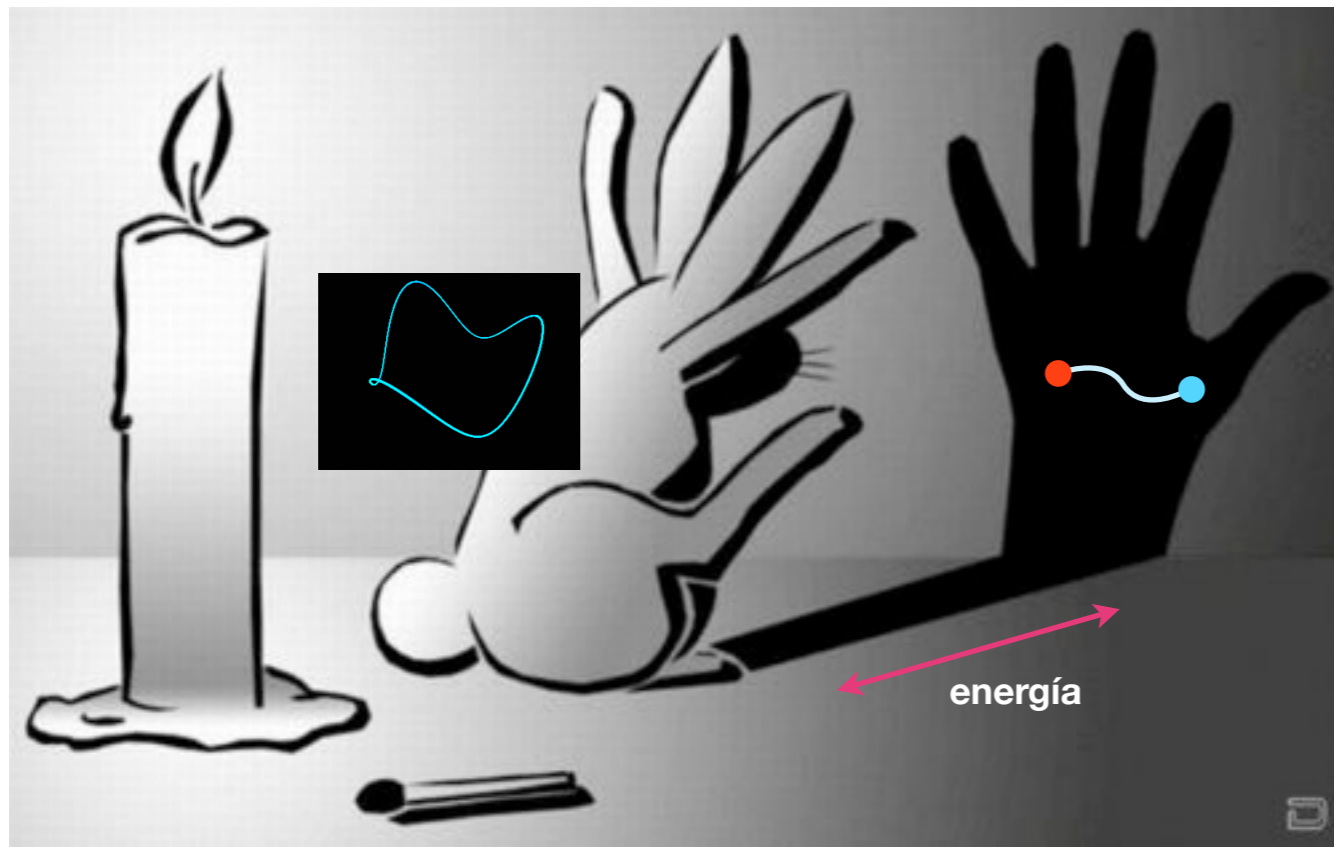
la cuerda **dual** describe gravedad, pero se propaga en un espacio-tiempo distinto

de dimensión mayor

HOLOGRAFIA: UNA PRIMERA IMAGEN

cuerda fundamental: **teoría de gravedad**

y la cuerda de QCD?



la cuerda **dual** describe gravedad, pero se propaga en un espacio-tiempo distinto

de dimensión mayor

holografía

HOLOGRAFIA: GEOMETRIA DUAL

dimension adicional: **energía**

caso mas simple:

la física no depende de la escala

distancia $\rightarrow \lambda$ distancia



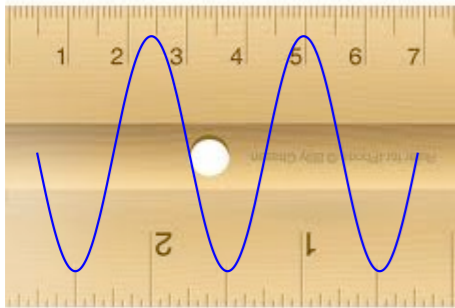
HOLOGRAFIA: GEOMETRIA DUAL

dimension adicional: **energía**

caso mas simple:

la física no depende de la escala

distancia $\rightarrow \lambda$ distancia



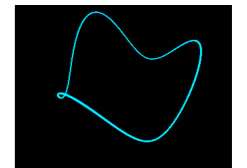
energía \rightarrow energía/ λ

HOLOGRAFIA: GEOMETRIA DUAL

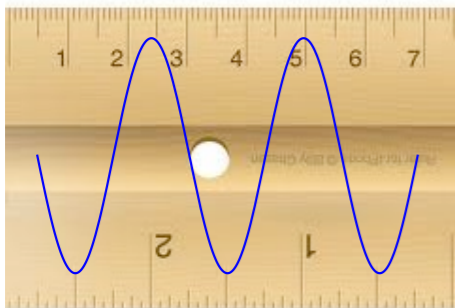
dimension adicional: **energía**

caso mas simple:
la física no depende de la escala

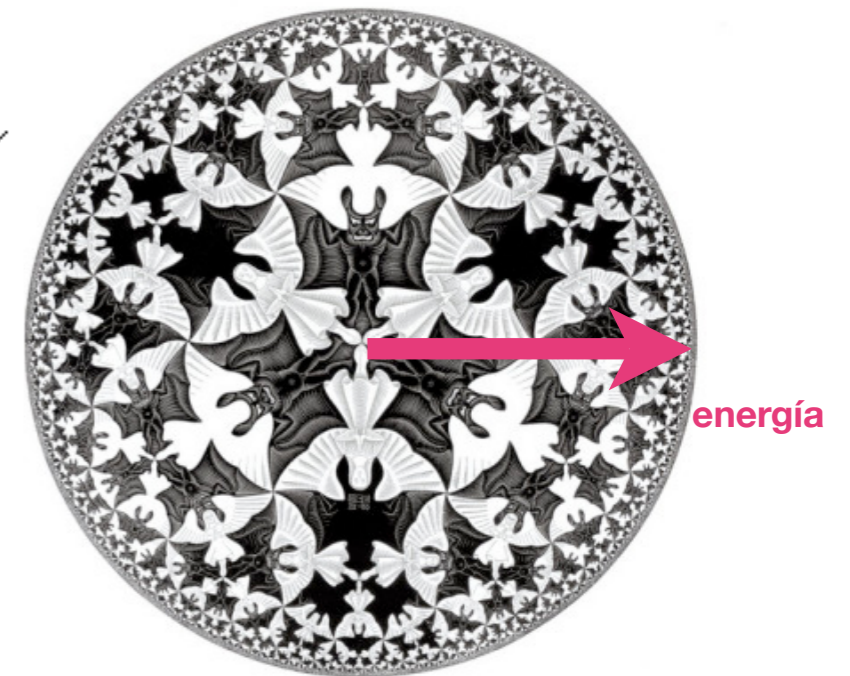
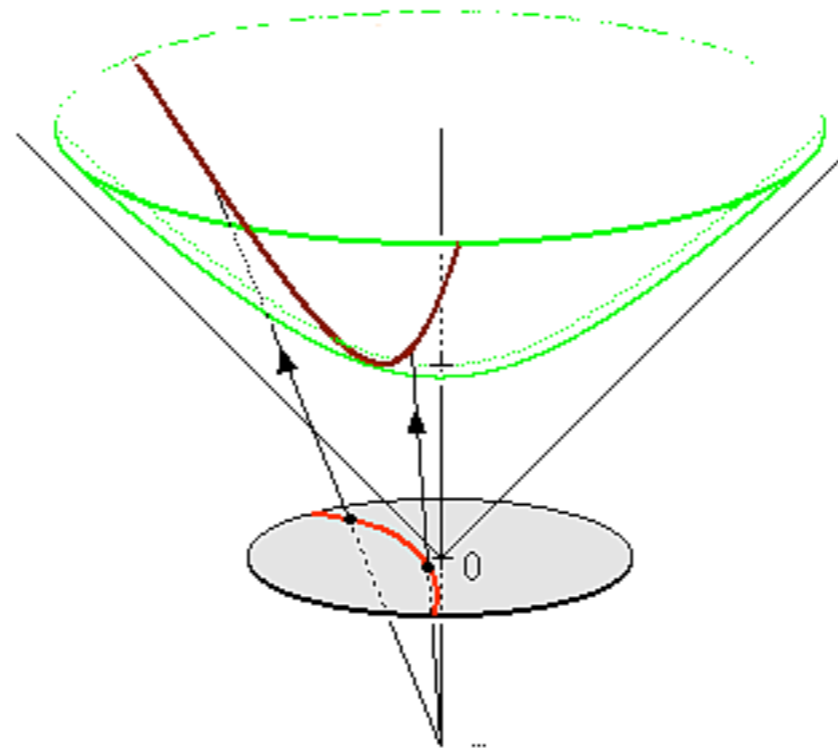
hiperboloide (anti de Sitter)



distancia $\rightarrow \lambda$ distancia



energía \rightarrow energía/ λ



espacio con curvatura

HOLOGRAFIA: UNA SIMPLIFICACION CRUCIAL

difícil tratar cuerdas en un espacio curvo...

es holografía útil?

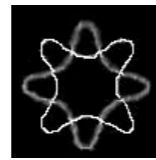
HOLOGRAFIA: UNA SIMPLIFICACION CRUCIAL

difícil tratar cuerdas en un espacio curvo...

es holografía útil?



gravitón



energía \propto **curvatura**

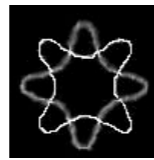
HOLOGRAFIA: UNA SIMPLIFICACION CRUCIAL

difícil tratar cuerdas en un espacio curvo...

es holografía útil?

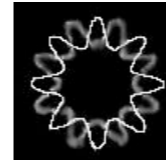


gravitón



energía \propto **curvatura**

modos masivos



masa \propto **tensión de la cuerda**

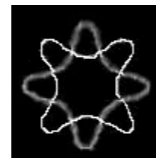
HOLOGRAFIA: UNA SIMPLIFICACION CRUCIAL

difícil tratar cuerdas en un espacio curvo...

es holografía útil?

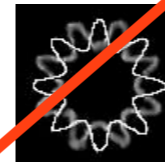


gravitón



energía \propto **curvatura**

modos masivos



masa \propto **tensión de la cuerda**

$$\frac{\text{tensión}}{\text{curvatura}} \gg 1$$

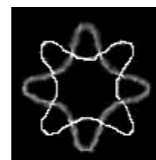
HOLOGRAFIA: UNA SIMPLIFICACION CRUCIAL

difícil tratar cuerdas en un espacio curvo...

es holografía útil?

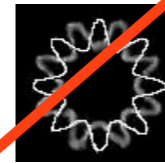


gravitón



energía \propto **curvatura**

modos masivos



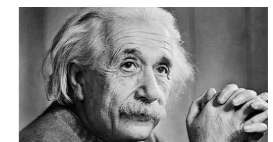
masa \propto **tensión de la cuerda**

$$\frac{\text{tensión}}{\text{curvatura}} \gg 1$$

teoría de cuerdas



relatividad general



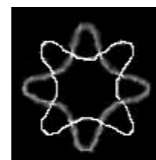
HOLOGRAFIA: UNA SIMPLIFICACION CRUCIAL

difícil tratar cuerdas en un espacio curvo...

es holografía útil?

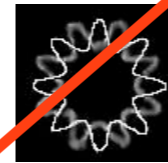


gravitón



energía \propto **curvatura**

modos masivos



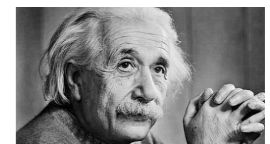
masa \propto **tensión de la cuerda**

$$\frac{\text{tensión}}{\text{curvatura}} \gg 1$$

teoría de cuerdas



relatividad general



tiene este límite sentido para la "QCD" dual?

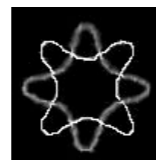
HOLOGRAFIA: UNA SIMPLIFICACION CRUCIAL

difícil tratar cuerdas en un espacio curvo...

es holografía útil?

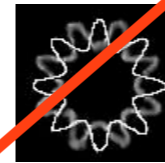


gravitón



energía \propto **curvatura**

modos masivos



masa \propto **tensión de la cuerda**

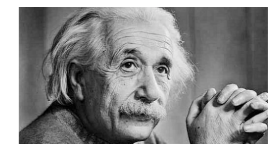
interacción
"QCD"

$$\propto \frac{\text{tensión}}{\text{curvatura}} \gg 1$$

teoría de cuerdas



relatividad general



tiene este límite sentido para la "QCD" dual?



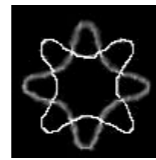
HOLOGRAFIA: UNA SIMPLIFICACION CRUCIAL

difícil tratar cuerdas en un espacio curvo...

es holografía útil?

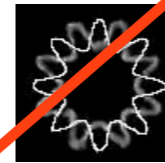


gravitón



energía \propto **curvatura**

modos masivos



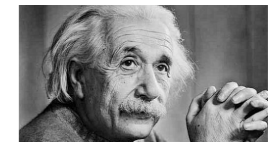
masa \propto **tensión de la cuerda**

$$\text{interacción}_{\text{"QCD"}} \propto \frac{\text{tensión}}{\text{curvatura}} \gg 1$$

teoría de cuerdas



relatividad general



tiene este límite sentido para la "QCD" dual?



acoplo fuerte

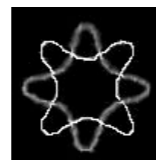
HOLOGRAFIA: UNA SIMPLIFICACION CRUCIAL

difícil tratar cuerdas en un espacio curvo...

es holografía útil?

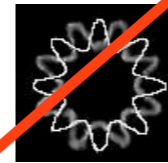


gravitón



energía \propto **curvatura**

modos masivos



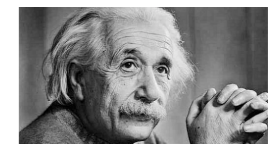
masa \propto **tensión de la cuerda**

$$\text{interacción}_{\text{"QCD"}} \propto \frac{\text{tensión}}{\text{curvatura}} \gg 1$$

teoría de cuerdas



relatividad general



tiene este límite sentido para la "QCD" dual?



acoplo fuerte



HOLOGRAFIA: UNA IDEA FASCINANTE

HOLOGRAFIA: UNA IDEA FASCINANTE

dualidad entre teorías distintas en espacios diferentes

HOLOGRAFIA: UNA IDEA FASCINANTE

dualidad entre teorías distintas en espacios diferentes

dos teorías fundamentales: QCD y gravedad (cuerdas)

HOLOGRAFIA: UNA IDEA FASCINANTE

dualidad entre teorías distintas en espacios diferentes

dos teorías fundamentales: QCD y gravedad (cuerdas)

por su profundidad conceptual

HOLOGRAFIA: UNA IDEA FASCINANTE

dualidad entre teorías distintas en espacios diferentes

dos teorías fundamentales: QCD y gravedad (cuerdas)

por su profundidad conceptual

por su utilidad

HOLOGRAFIA: UNA IDEA FASCINANTE

dualidad entre teorías distintas en espacios diferentes

dos teorías fundamentales: QCD y gravedad (cuerdas)

por su profundidad conceptual

por su utilidad

gravedad  teorías gauge

HOLOGRAFIA: UNA IDEA FASCINANTE

dualidad entre teorías distintas en espacios diferentes

dos teorías fundamentales: QCD y gravedad (cuerdas)

por su profundidad conceptual

por su utilidad

gravedad  teorías gauge

método único
para estudiar acoplo fuerte

HOLOGRAFIA: UNA IDEA FASCINANTE

dualidad entre teorías distintas en espacios diferentes

dos teorías fundamentales: QCD y gravedad (cuerdas)

por su profundidad conceptual

por su utilidad

gravedad → teorías gauge

teorías gauge → gravedad

método único
para estudiar acoplo fuerte

HOLOGRAFIA: UNA IDEA FASCINANTE

dualidad entre teorías distintas en espacios diferentes

dos teorías fundamentales: QCD y gravedad (cuerdas)

por su profundidad conceptual

por su utilidad

gravedad → teorías gauge

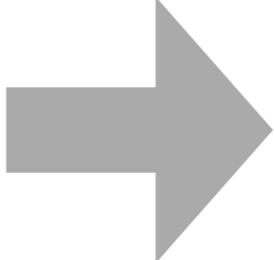
teorías gauge → gravedad

método único
para estudiar acoplo fuerte


agujeros negros

SEGUNDA PARTE DEL VIAJE:
OK!

SEGUNDA PARTE DEL VIAJE: OK!

de las cuerdas  **a las partículas**

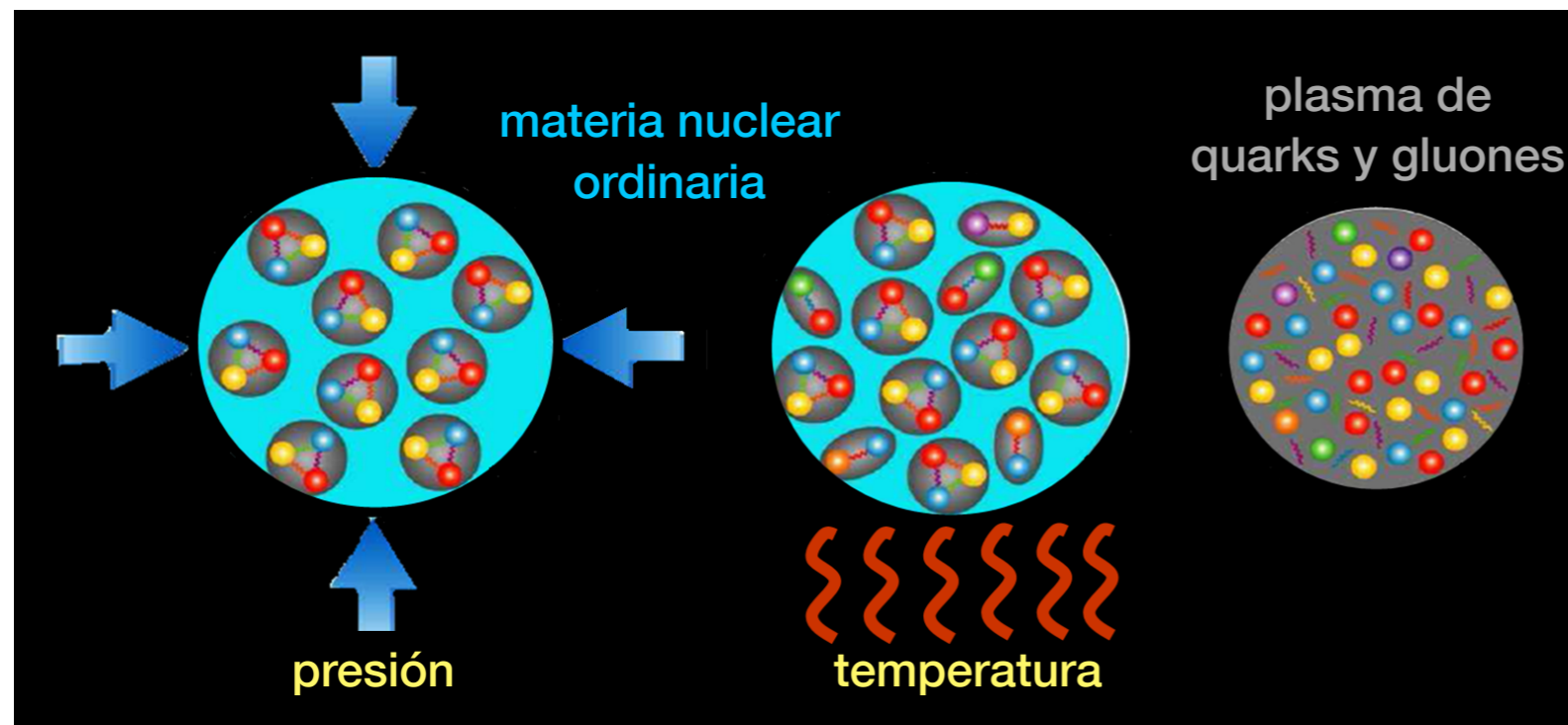
SEGUNDA PARTE DEL VIAJE: OK!

de las cuerdas  **a las partículas**

para finalizar, un ejemplo

PLASMA DE QUARKS Y GLUONES

nuevo estado de la materia a alta temperatura y densidad



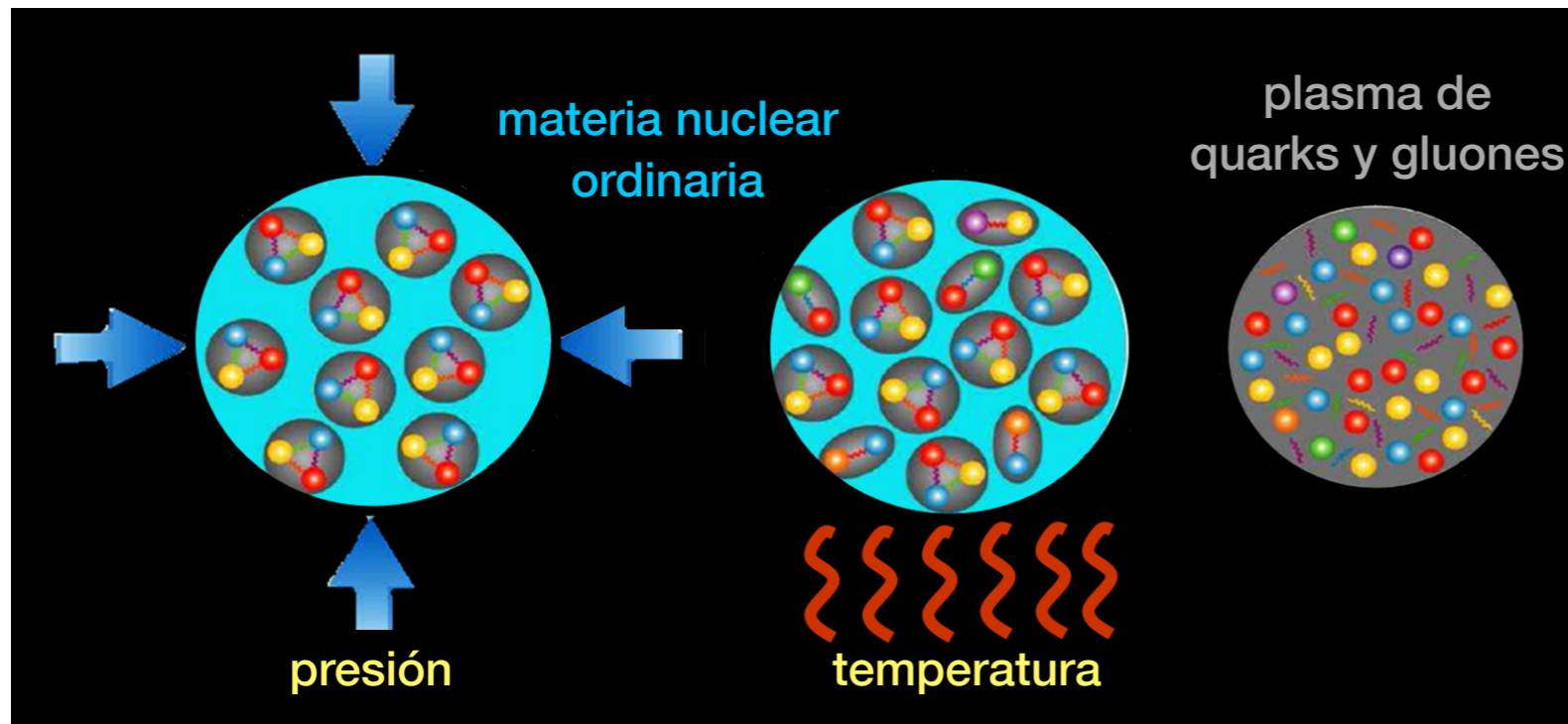
se rompe confinamiento



“sopa” de quarks y gluones

PLASMA DE QUARKS Y GLUONES

nuevo estado de la materia a alta temperatura y densidad



se rompe confinamiento



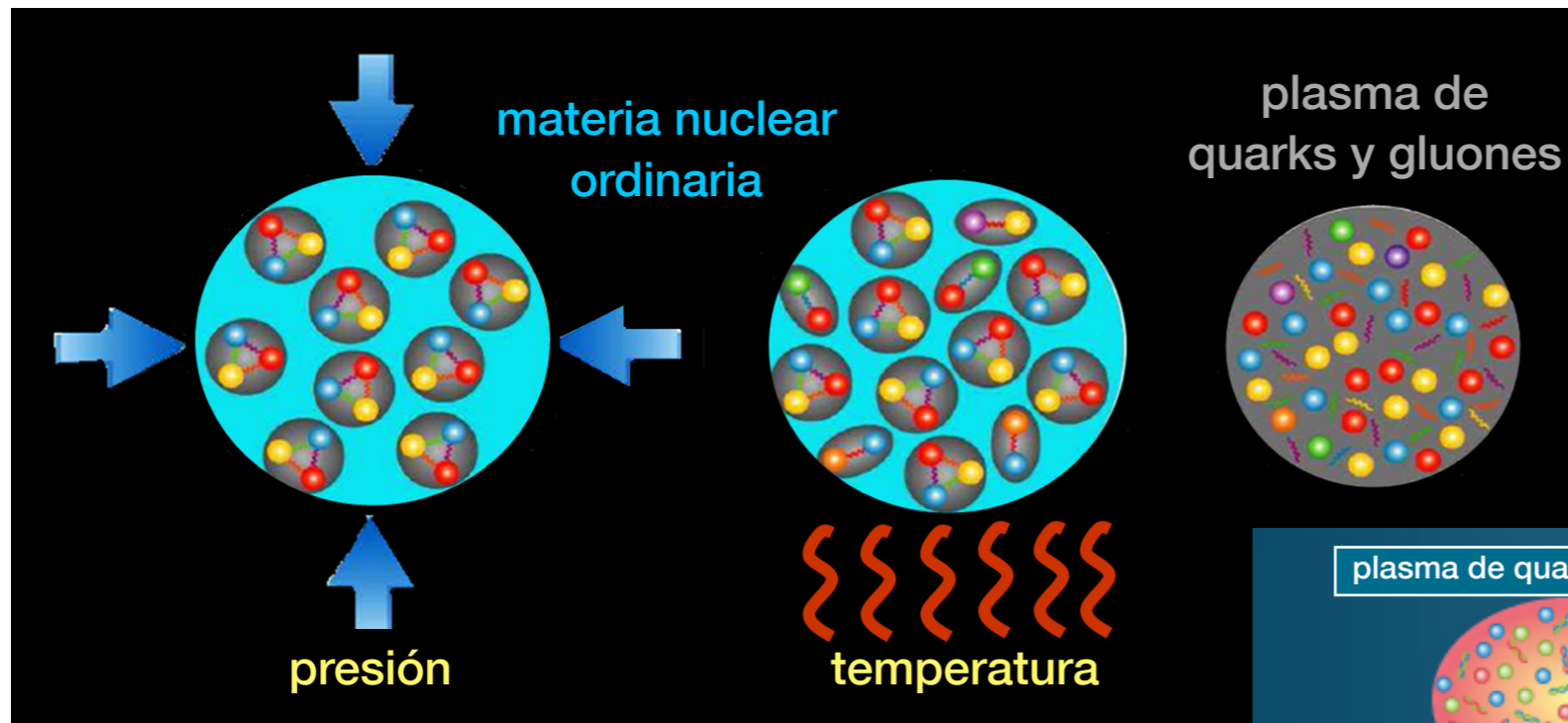
“sopa” de quarks y gluones

dominó los primeros instantes
de la evolución del universo

t ~ microsegundos

PLASMA DE QUARKS Y GLUONES

nuevo estado de la materia a alta temperatura y densidad



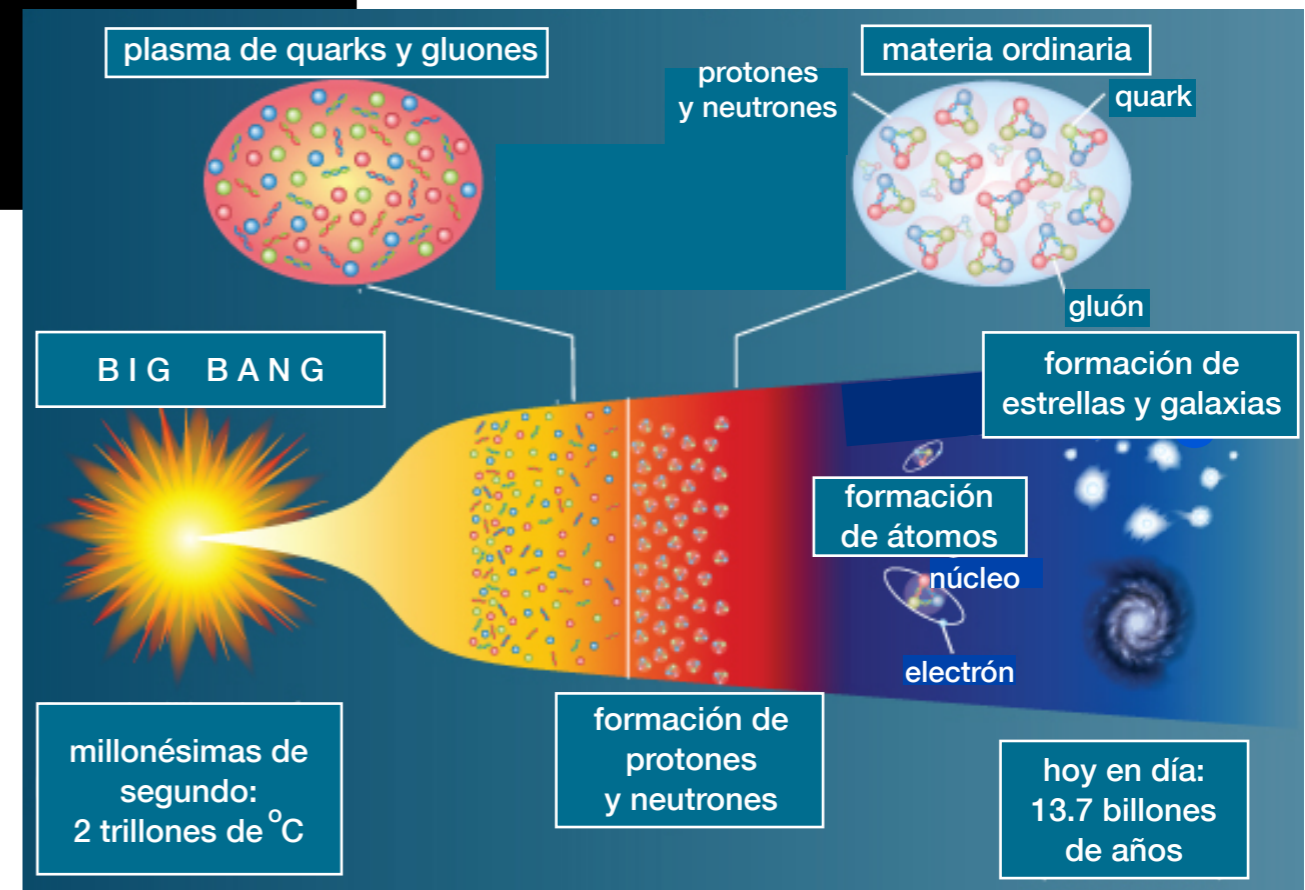
se rompe confinamiento



“sopa” de quarks y gluones

dominó los primeros instantes de la evolución del universo

t ~ microsegundos



RHIC y LHC

plasma de quarks y gluones producido en colisiones de partículas

RHIC y LHC

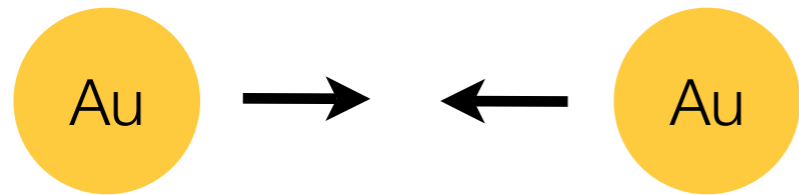
plasma de quarks y gluones producido en colisiones de partículas

Brookhaven National Laboratory, EEUU



RHIC y LHC

plasma de quarks y gluones producido en colisiones de partículas

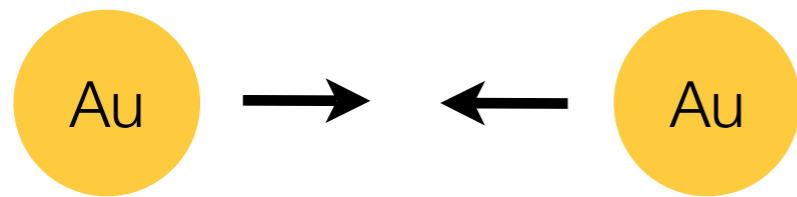


Brookhaven National Laboratory, EEUU



RHIC y LHC

plasma de quarks y gluones producido en colisiones de partículas



Brookhaven National Laboratory, EEUU

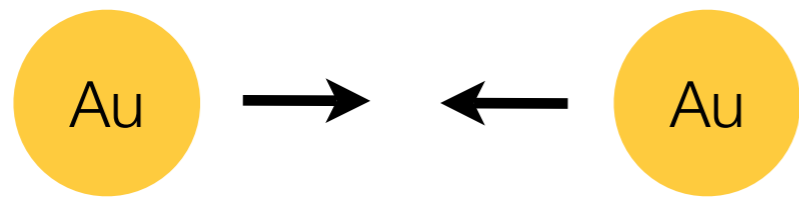


CERN, Suiza

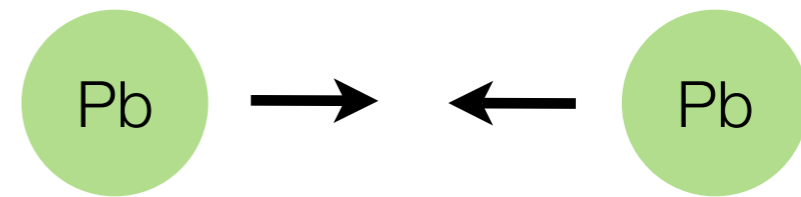


RHIC y LHC

plasma de quarks y gluones producido en colisiones de partículas



Brookhaven National Laboratory, EEUU



CERN, Suiza



UN LIQUIDO CASI “PERFECTO”

plasma de quarks y gluones generado en colisiones:



UN LIQUIDO CASI “PERFECTO”

plasma de quarks y gluones generado en colisiones:



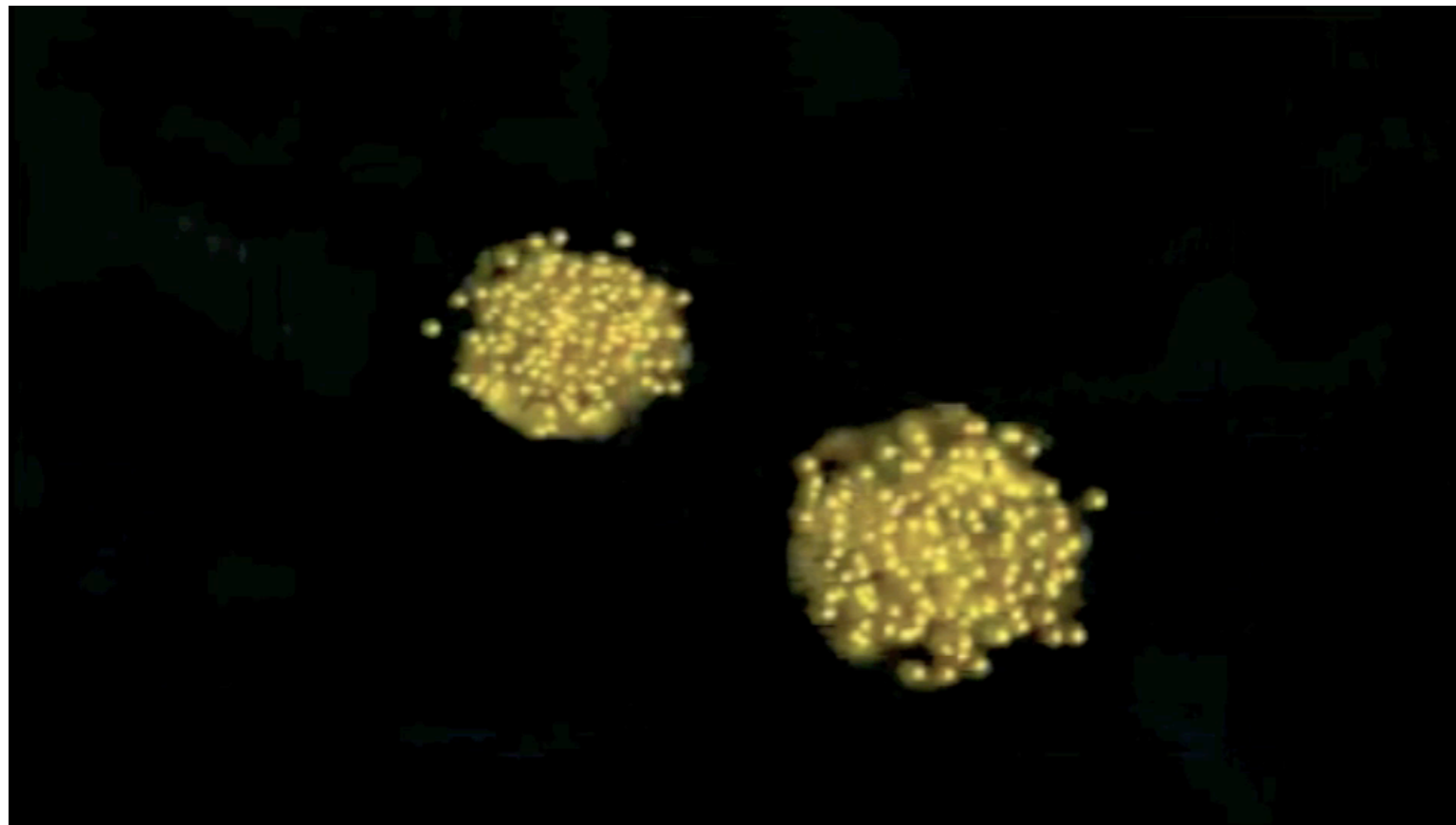
UN LIQUIDO CASI “PERFECTO”

plasma de quarks y gluones generado en colisiones:



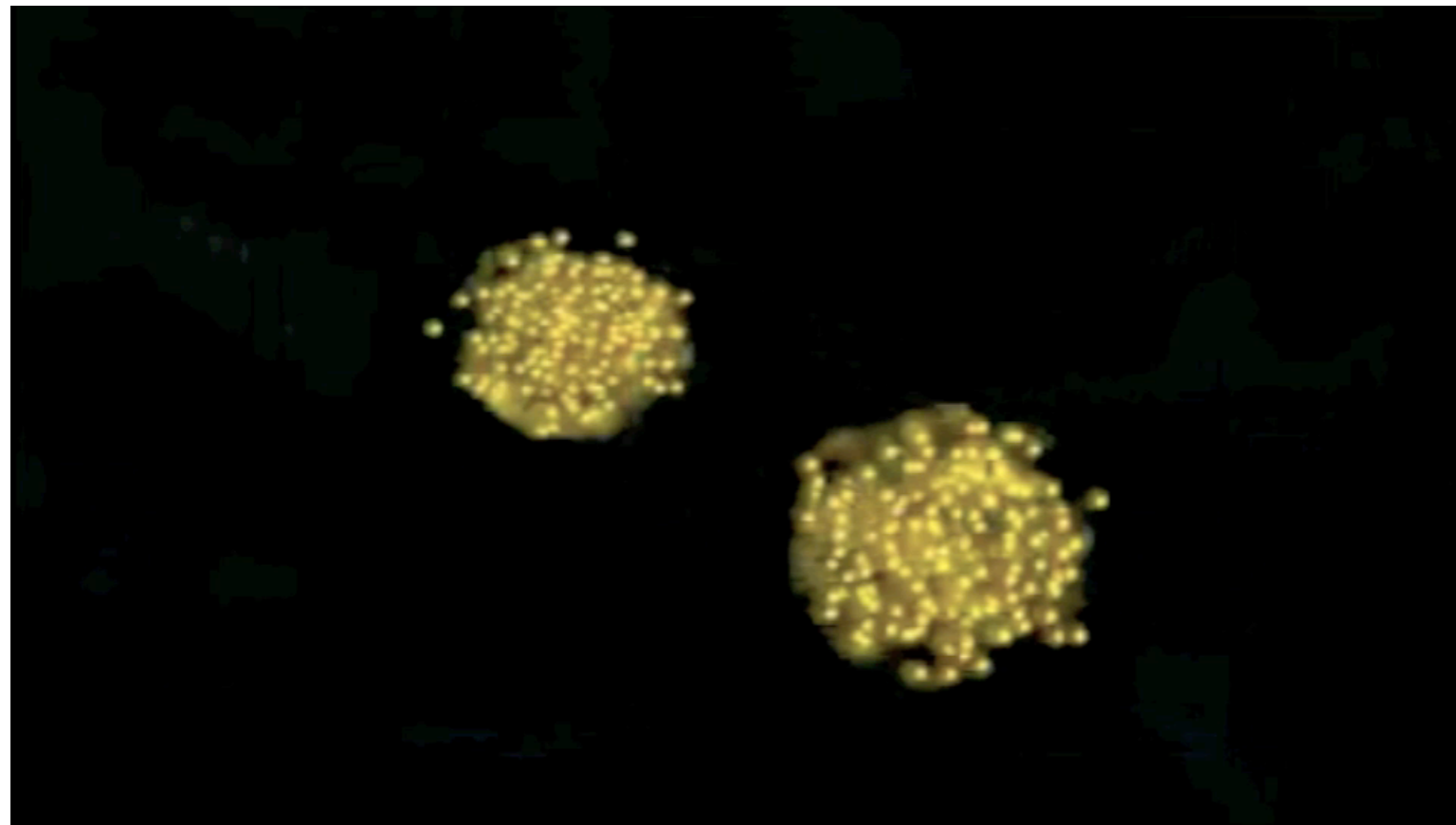
UN LIQUIDO CASI “PERFECTO”

plasma de quarks y gluones generado en colisiones:



UN LIQUIDO CASI "PERFECTO"

plasma de quarks y gluones generado en colisiones:

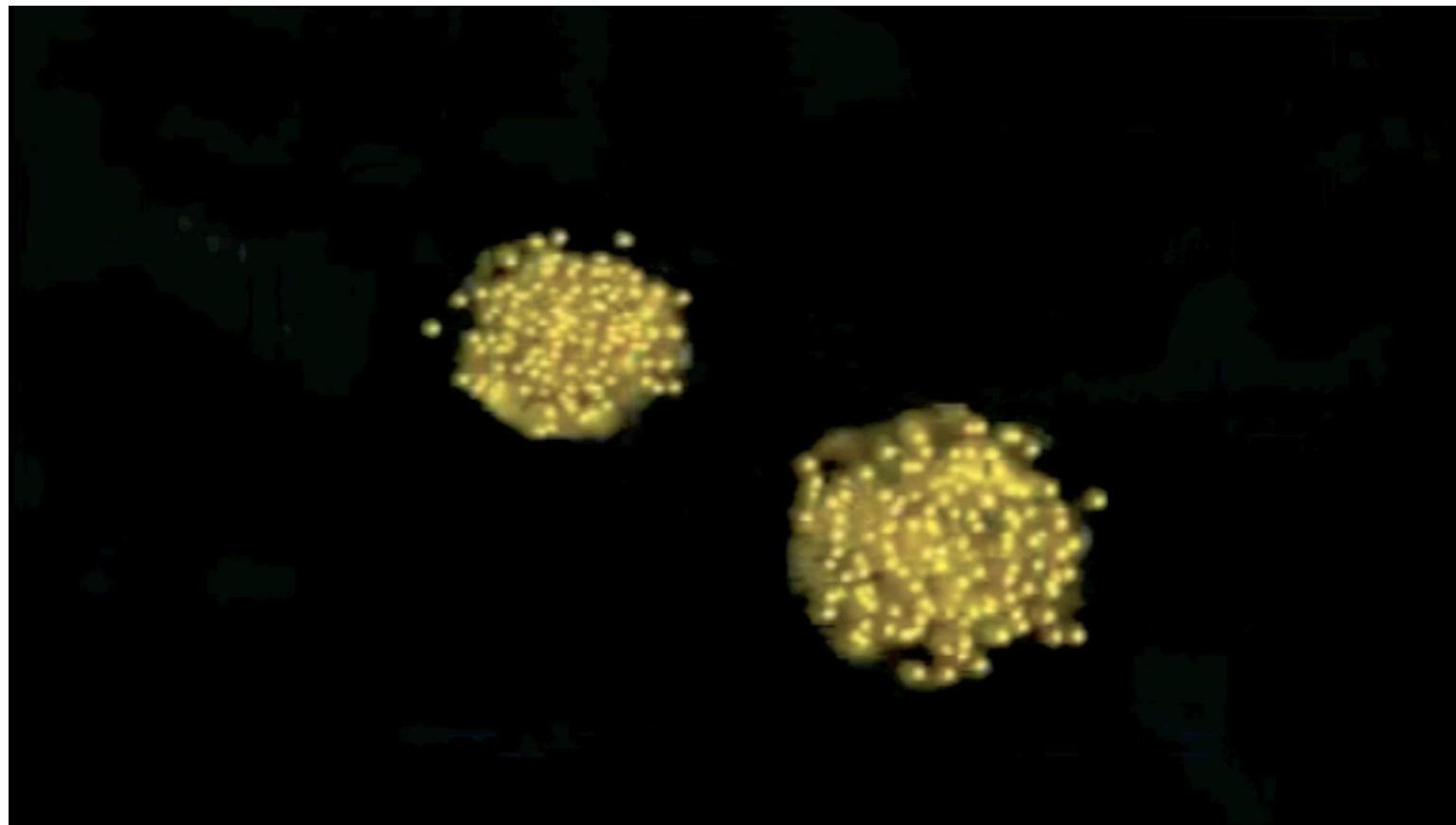


viscosidad

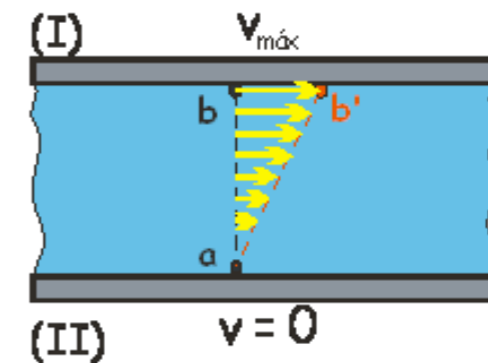


UN LIQUIDO CASI "PERFECTO"

plasma de quarks y gluones generado en colisiones:

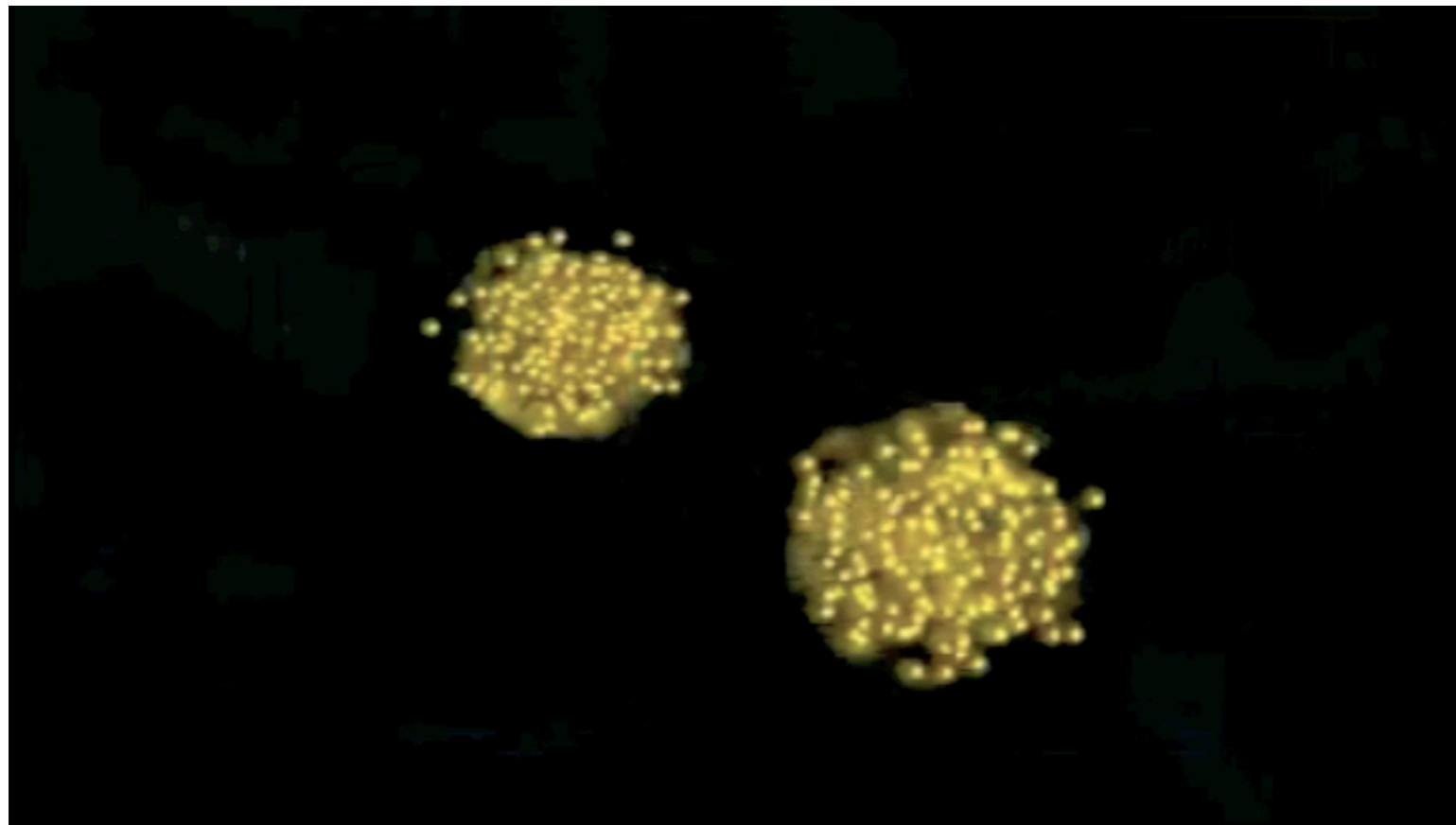


viscosidad



UN LIQUIDO CASI "PERFECTO"

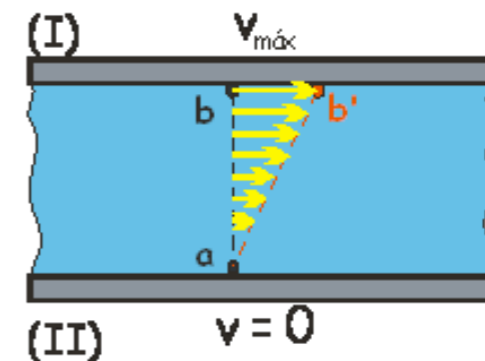
plasma de quarks y gluones generado en colisiones:



el fluido con menor viscosidad conocido



viscosidad



COMO DERIVARLO DE QCD?

métodos numéricos

COMO DERIVARLO DE QCD?

~~métodos numéricos~~

COMO DERIVARLO DE QCD?

~~métodos numéricos~~

holografía

COMO DERIVARLO DE QCD?

~~métodos numéricos~~

holografía

la teoría dual a gravedad en



no es QCD

COMO DERIVARLO DE QCD?

~~métodos numéricos~~

holografía

la teoría dual a gravedad en

es invariante de escala



no es QCD

COMO DERIVARLO DE QCD?

~~métodos numéricos~~

holografía

la teoría dual a gravedad en



no es QCD

es invariante de escala

diferente contenido
de materia

COMO DERIVARLO DE QCD?

~~métodos numéricos~~

holografía

la teoría dual a gravedad en

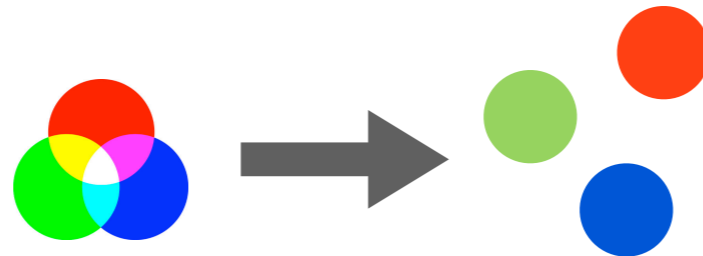


no es QCD

es invariante de escala

diferente contenido de materia

no confina



COMO DERIVARLO DE QCD?

~~métodos numéricos~~

holografía

la teoría dual a gravedad en



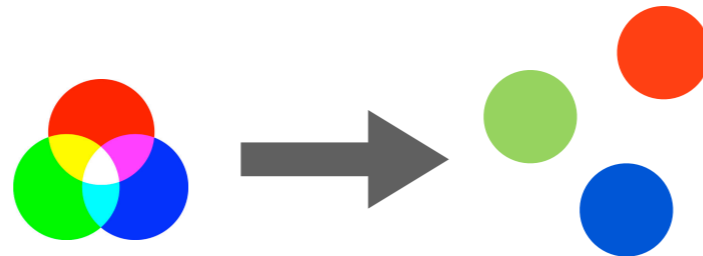
no es QCD

es invariante de escala

diferente contenido
de materia

no confina

mal candidato para
la materia ordinaria



COMO DERIVARLO DE QCD?

~~métodos numéricos~~

holografía

la teoría dual a gravedad en



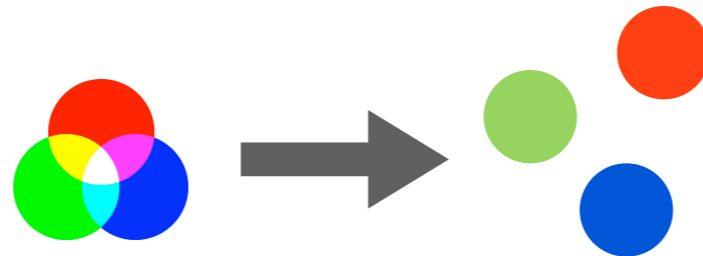
no es QCD

es invariante de escala

diferente contenido
de materia

no confina

mal candidato para
la materia ordinaria



modelo cualitativo del
plasma de quarks y gluones

COMO DERIVARLO DE QCD?

~~métodos numéricos~~

holografía

la teoría dual a gravedad en

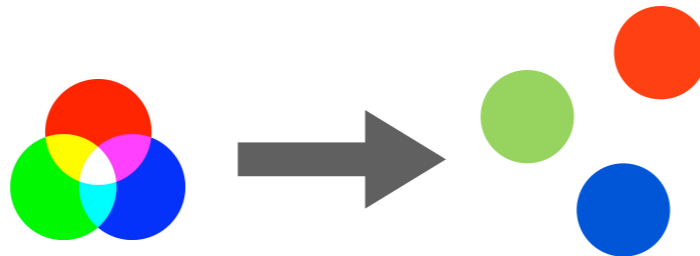


no es QCD

es invariante de escala

diferente contenido
de materia

no confina



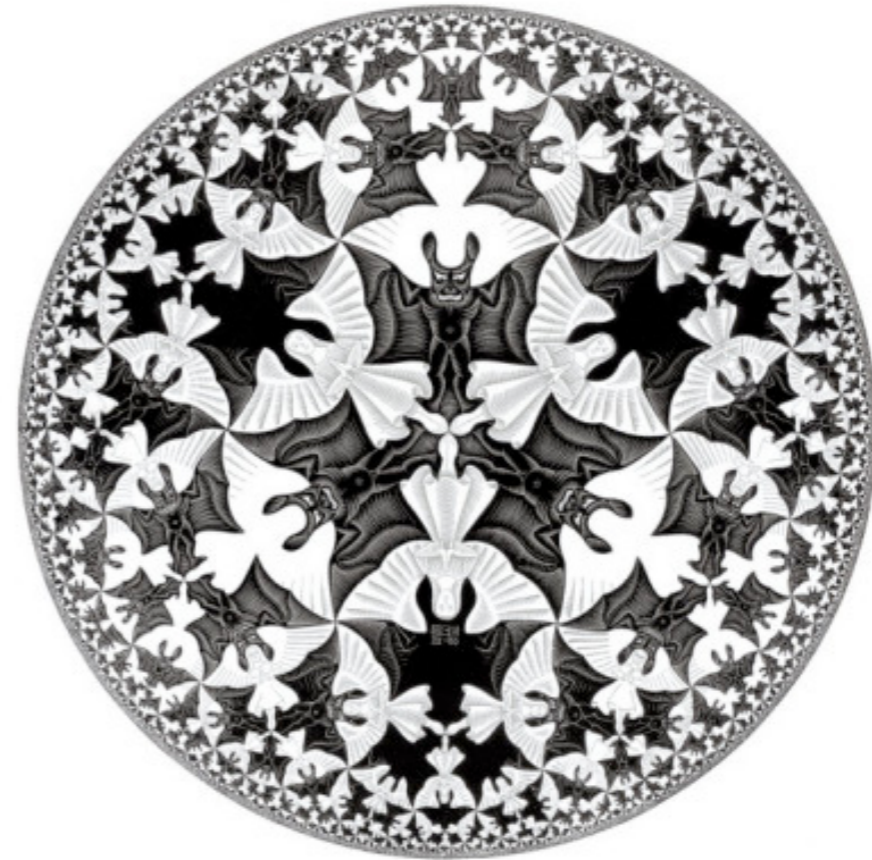
mal candidato para
la materia ordinaria

modelo cualitativo del
plasma de quarks y gluones



HOLOGRAFIA + TEMPERATURA

“QCD” dual a temperatura cero



HOLOGRAFIA + TEMPERATURA

“QCD” dual a temperatura ~~cero~~ ?



HOLOGRAFIA + TEMPERATURA

“QCD” dual a temperatura ~~cero~~ ?

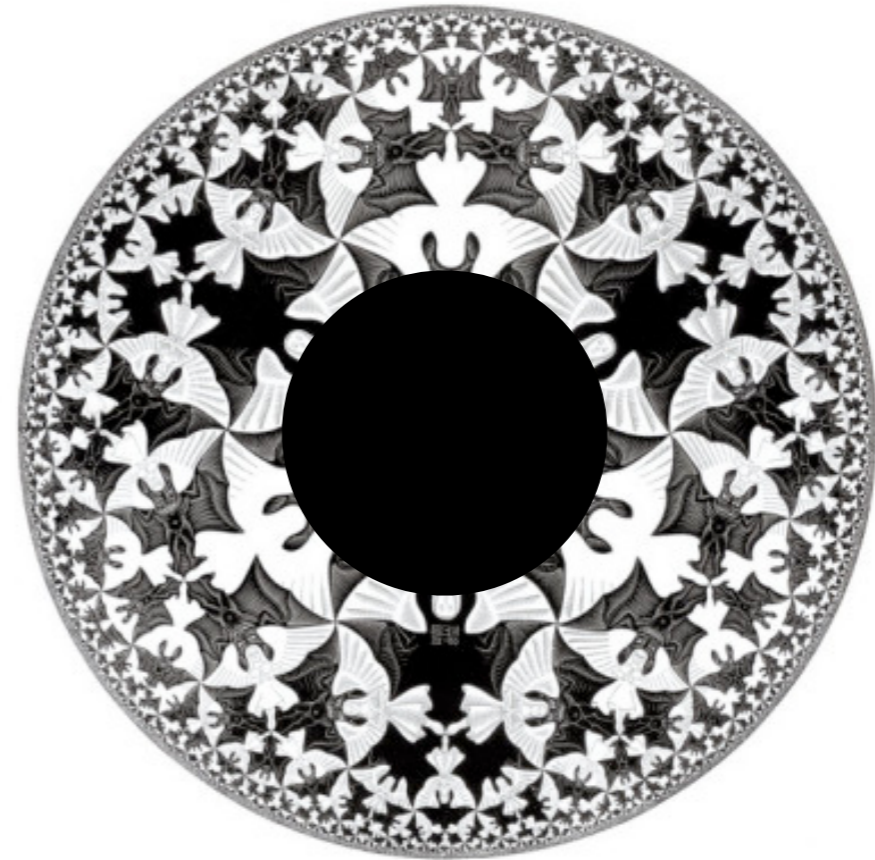
agujero negro



HOLOGRAFIA + TEMPERATURA

“QCD” dual a temperatura ~~cero~~ ?

agujero negro

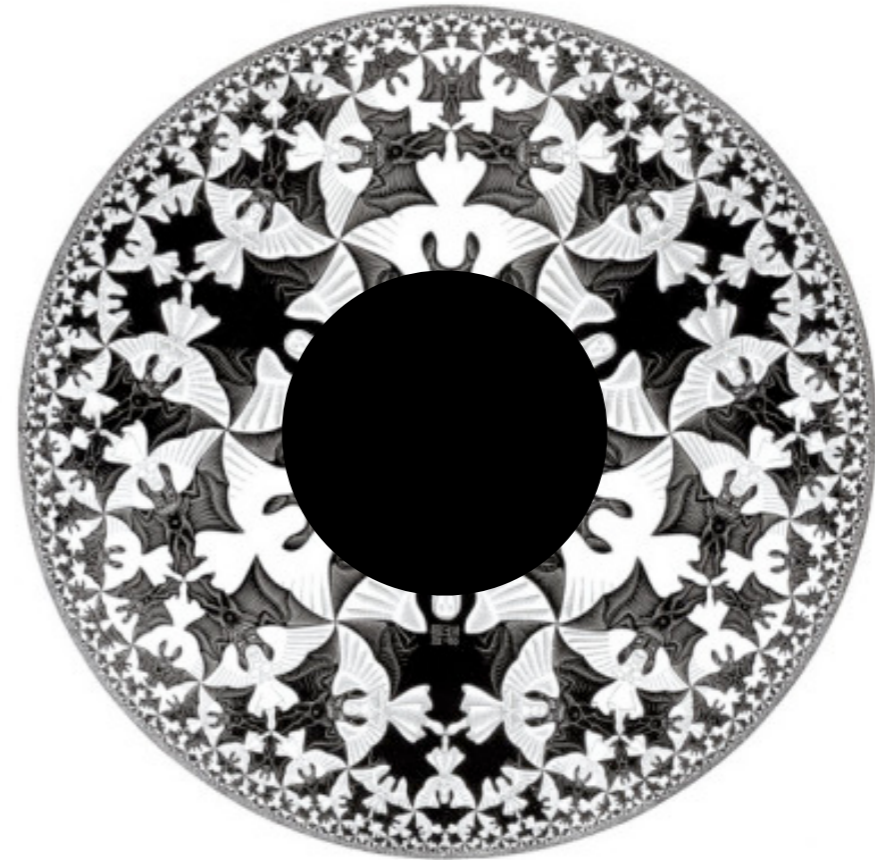


HOLOGRAFIA + TEMPERATURA

“QCD” dual a temperatura ~~cero~~ ?

agujero negro

radia como un cuerpo caliente



HOLOGRAFIA + TEMPERATURA

“QCD” dual a temperatura ~~cero~~ ?

agujero negro

radia como un cuerpo caliente



HOLOGRAFIA + TEMPERATURA

“QCD” dual a temperatura ~~cero~~ ?

agujero negro

radia como un cuerpo caliente

temperatura



HOLOGRAFIA + TEMPERATURA

“QCD” dual a temperatura ~~cero~~ ?

agujero negro

radia como un cuerpo caliente

temperatura



plasma dual

holografía

agujero negro

CALCULO DE LA VISCOSIDAD



CALCULO DE LA VISCOSIDAD

acción que destruye el
estado de equilibrio



CALCULO DE LA VISCOSIDAD

acción que destruye el estado de equilibrio



la perturbación se redistribuye



CALCULO DE LA VISCOSIDAD

acción que destruye el estado de equilibrio



se recupera el equilibrio

la perturbación se redistribuye



CALCULO DE LA VISCOSIDAD

acción que destruye el estado de equilibrio



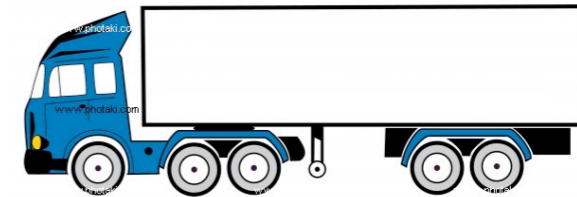
la perturbación se redistribuye



se recupera el equilibrio



coeficientes de transporte



CALCULO DE LA VISCOSIDAD

acción que destruye el estado de equilibrio



la perturbación se redistribuye



se recupera el equilibrio



coeficientes de transporte



CALCULO DE LA VISCOSIDAD

acción que destruye el estado de equilibrio



se recupera el equilibrio

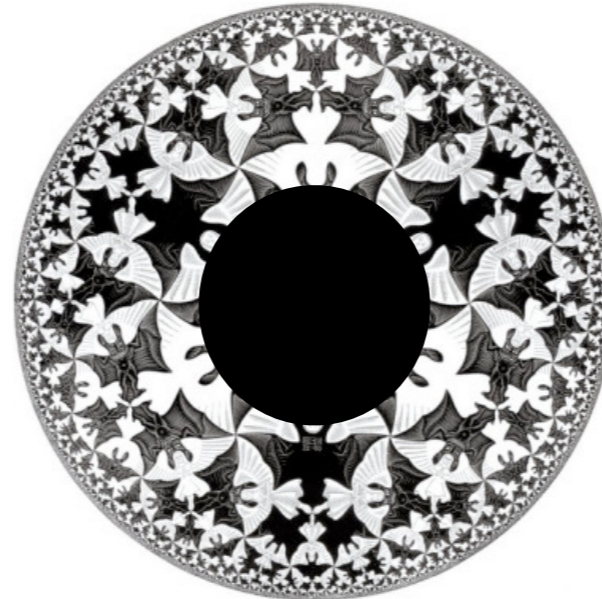
la perturbación se redistribuye



coeficientes de transporte



descripción holográfica



CALCULO DE LA VISCOSIDAD

acción que destruye el estado de equilibrio



se recupera el equilibrio

la perturbación se redistribuye

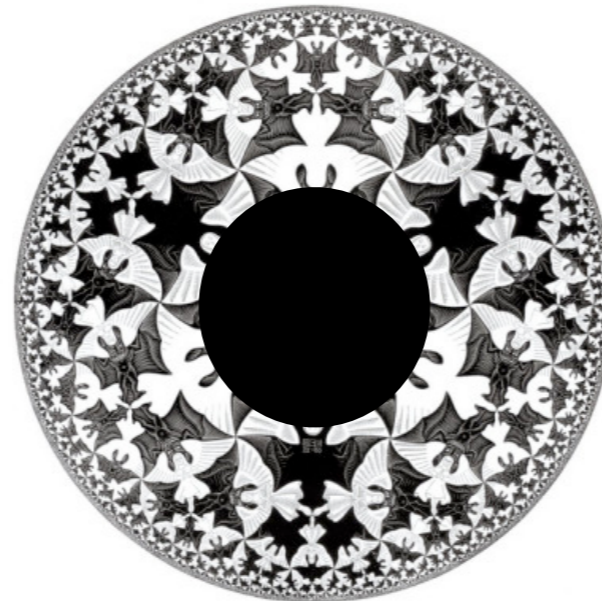


coeficientes de transporte



descripción holográfica

acción sobre el agujero negro



CALCULO DE LA VISCOSIDAD

acción que destruye el estado de equilibrio



se recupera el equilibrio



la perturbación se redistribuye

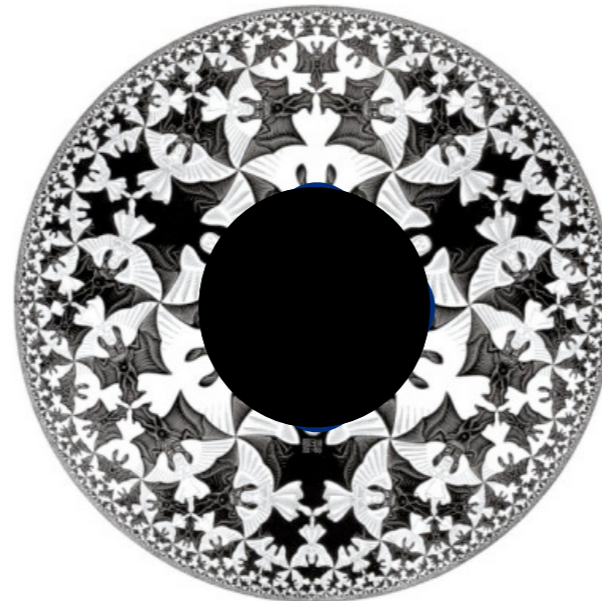


coeficientes de transporte



descripción holográfica

acción sobre el agujero negro



CALCULO DE LA VISCOSIDAD

acción que destruye el estado de equilibrio



se recupera el equilibrio

la perturbación se redistribuye



coeficientes de transporte

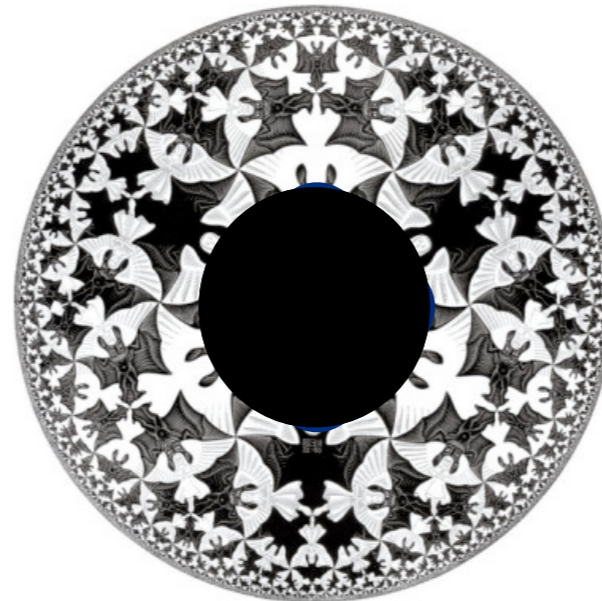


descripción holográfica

acción sobre el agujero negro



absorbe la perturbación y recupera el equilibrio



CALCULO DE LA VISCOSIDAD

acción que destruye el estado de equilibrio
se recupera el equilibrio



la perturbación se redistribuye



coeficientes de transporte

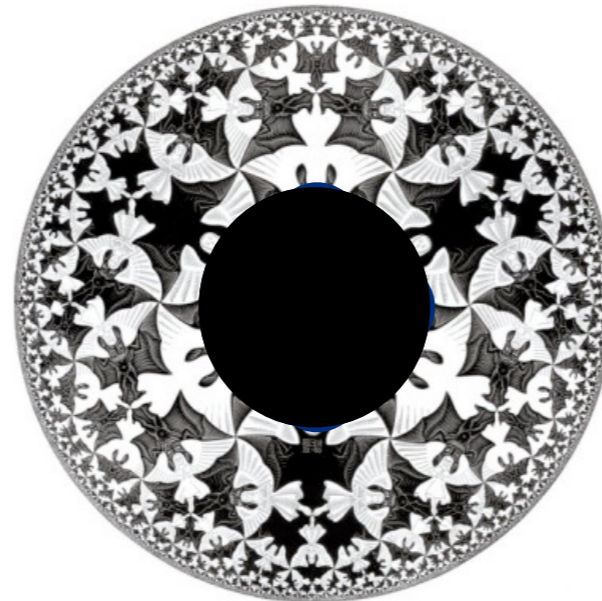


descripción holográfica

acción sobre el agujero negro



absorbe la perturbación y recupera el equilibrio



$$\text{viscosidad} = 1/4\pi$$
$$1/4\pi < \text{visc}_{\text{ex}} < 2/4\pi$$

RESUMIENDO...

Holografía se conoce también como **correspondencia AdS/CFT**

RESUMIENDO...

Holografía se conoce también como **correspondencia AdS/CFT**



Anti-de Sitter

RESUMIENDO...

Holografía se conoce también como **correspondencia AdS/CFT**



Anti-de Sitter

invariancia de escala

“QCD dual”: super Yang-Mills

RESUMIENDO...

Holografía se conoce también como **correspondencia AdS/CFT**



Anti-de Sitter

invariancia de escala

“QCD dual”: super Yang-Mills

J. Maldacena, 1997

RESUMIENDO...

Holografía se conoce también como **correspondencia AdS/CFT**

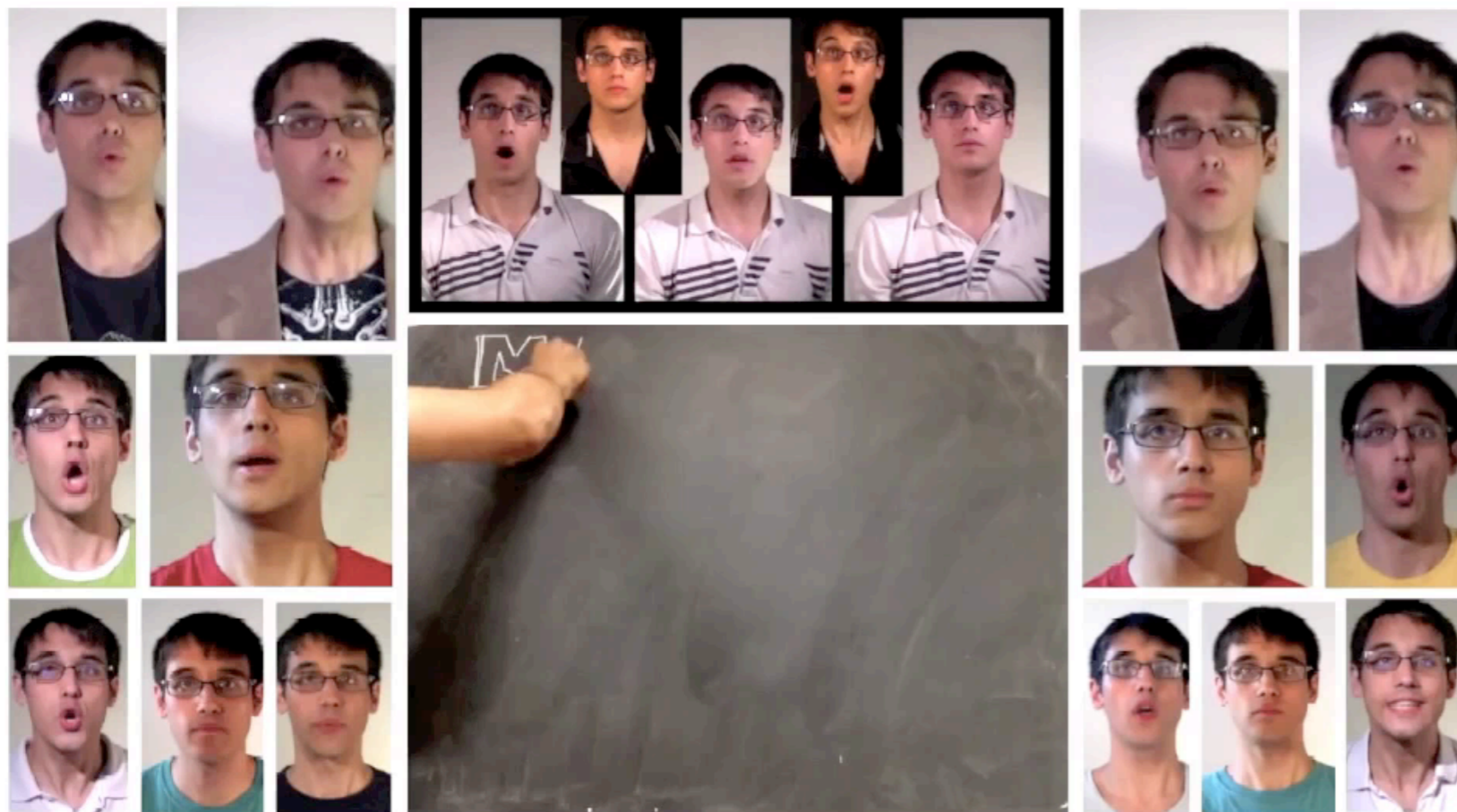


Anti-de Sitter

invariancia de escala

“QCD dual”: super Yang-Mills

J. Maldacena, 1997



RESUMIENDO...

Holografía se conoce también como **correspondencia AdS/CFT**

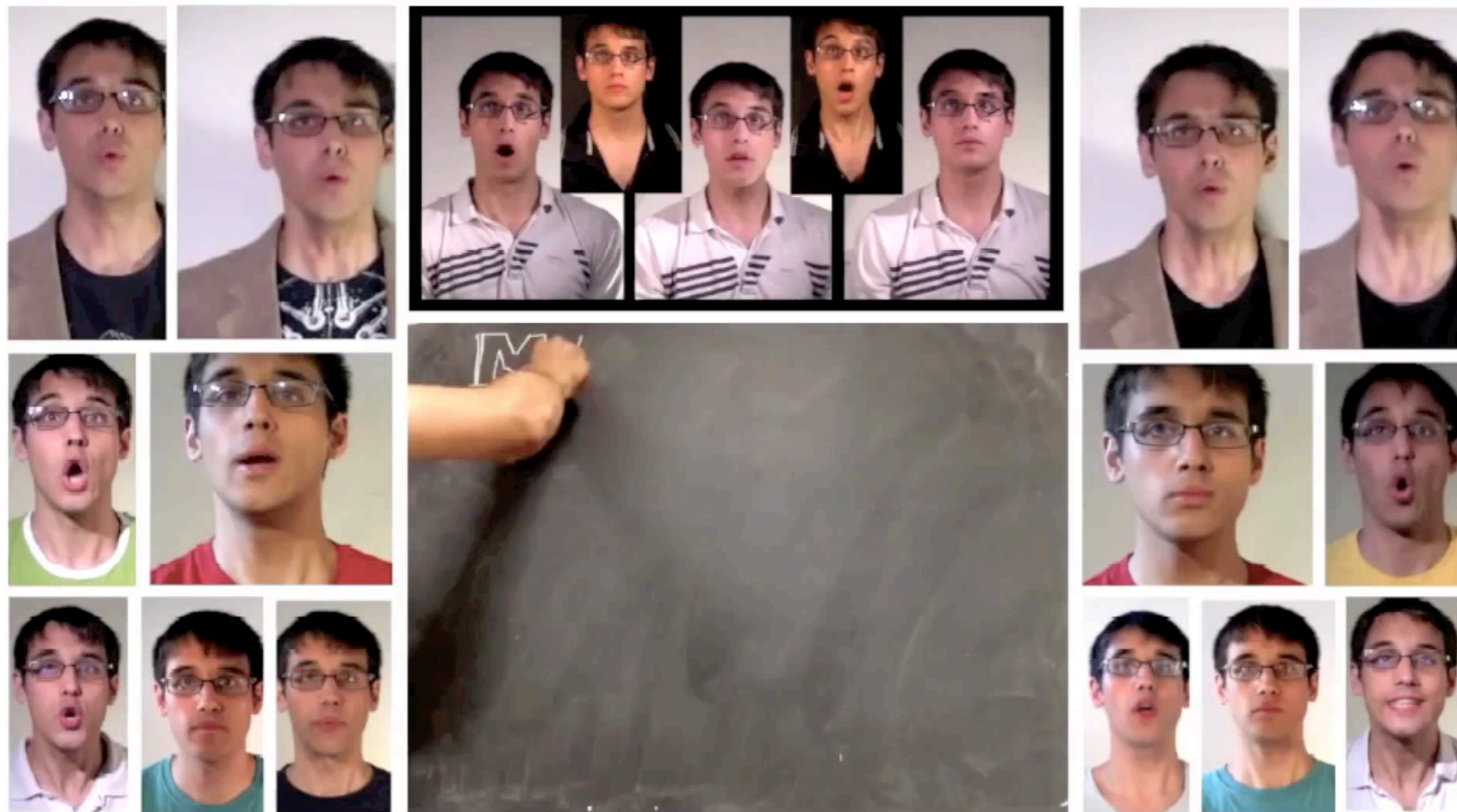


Anti-de Sitter

invariancia de escala

“QCD dual”: super Yang-Mills

J. Maldacena, 1997



Maldacena: super Yang-Mills y cuerdas son duales por la holografía AdS/CFT

moléculas y átomos, luz y energía,
tiempo y espacio y materia
todos derivan de una teoría unificada

“ciencia a capella”, Tim Blaist

RESUMIENDO...

Holografía se conoce también como **correspondencia AdS/CFT**



Anti-de Sitter

invariancia de escala

“QCD dual”: super Yang-Mills

J. Maldacena, 1997



Maldacena: super Yang-Mills y cuerdas son duales por la holografía AdS/CFT

moléculas y átomos, luz y energía,
tiempo y espacio y materia
todos derivan de una teoría unificada

“ciencia a capella”, Tim Blaist