Un voyage dans l'espace et le temps

L. Gallot, J.P. Guillet, E. Pilon, E. Ragoucy, R. Taillet

Plan de l'exposé

1/ l'espace et le temps

2/ l’espace-temps en relativité restreinte

3/ l’espace-temps en relativité générale

4/ des dimensions supplémentaires ?

L'espace: une définition

Intuitivement : cadre de nos déplacements

Plus généralement: planètes, étoiles, galaxies...
objets du quotidiens
molécules, atomes, particules...

Mathématicien: nombreux espaces
dimension, rigidité, platitude ou courbure...

Physicien: cherche un espace adapté à la modélisation d'une situation

Dimensions

Espace de dimension 1 (1D)

Dimensions

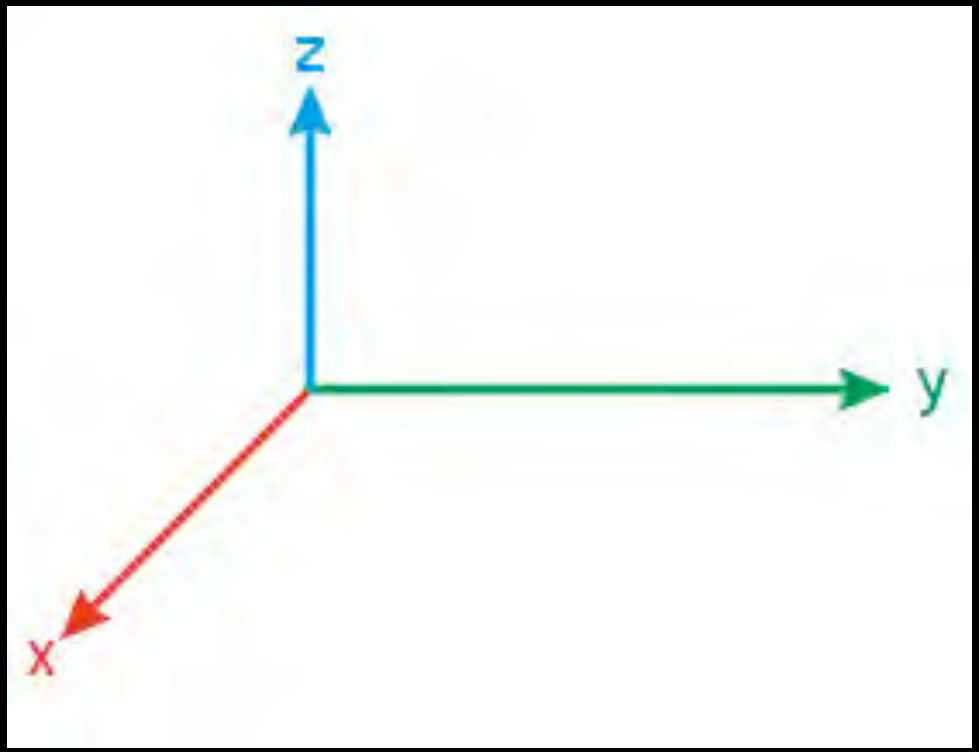
Espace de dimension 2: *le plan*

Dimensions

Espace de dimension 2 (2D): *surface d'une sphère*

Dimensions

Espace de dimension 3 (3D)



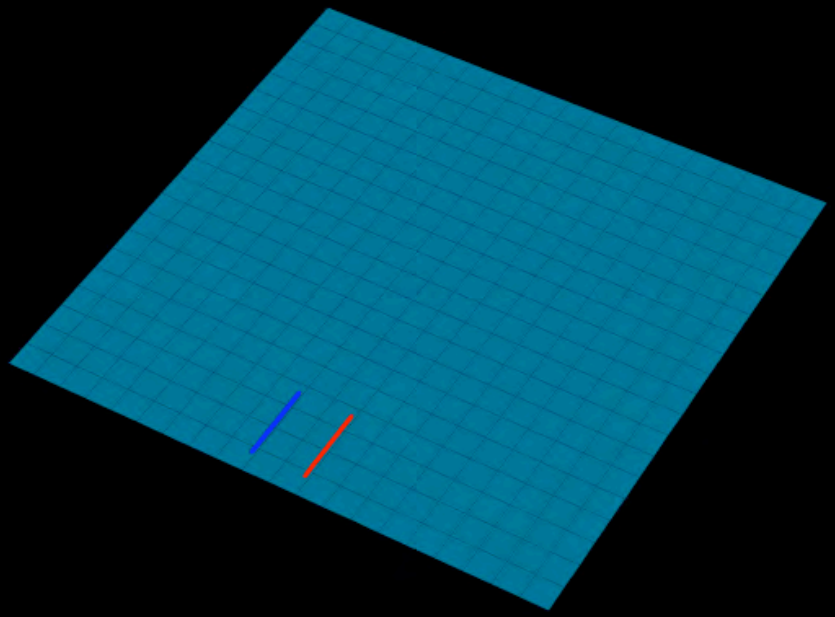
Dimensions

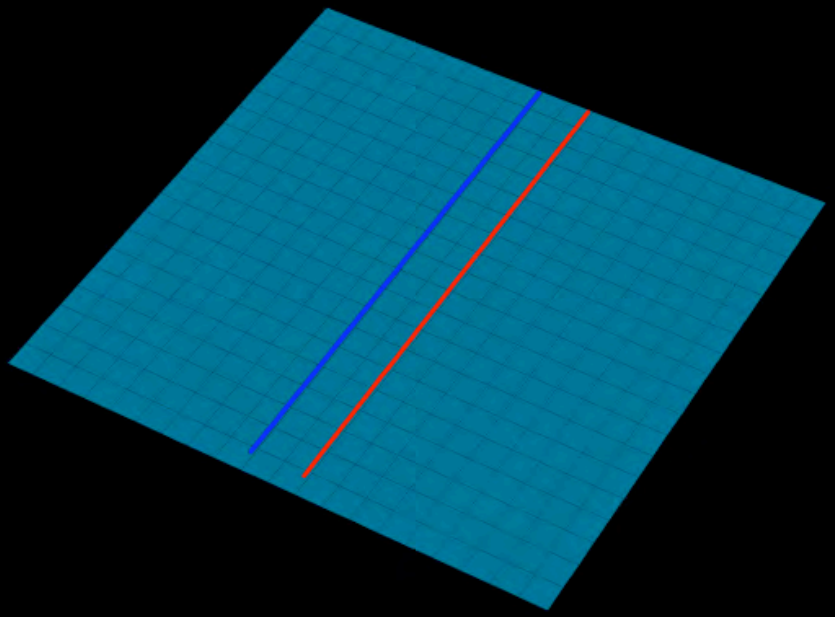
Espace de dimension 3

Courbure

Espace plat :

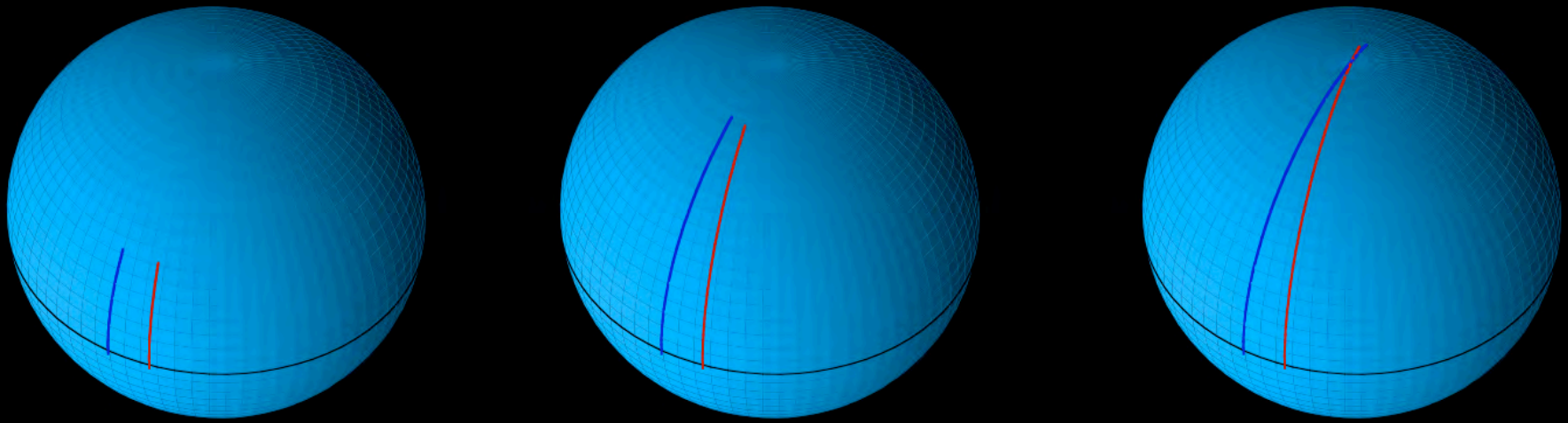
deux parallèles ne se croisent pas





Courbure

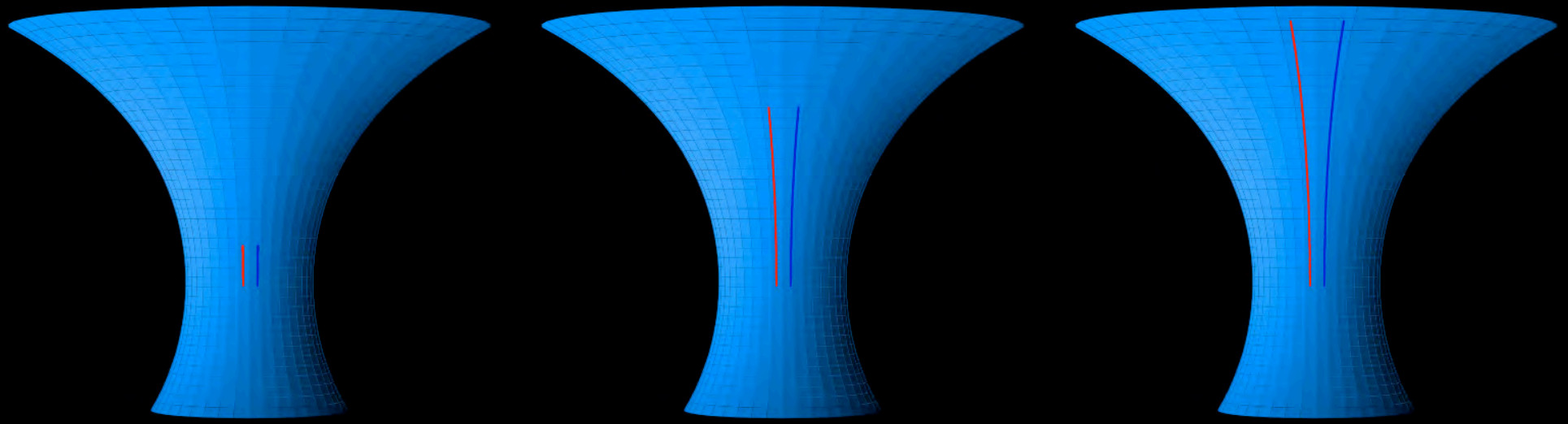
Sphère : deux parallèles se croisent



Courbure

Hyperboloide :

deux parallèles ne se croisent pas et s'écartent



Rigidité

indépendance du contenu

Distances absolues

Accord sur les mesures entre observateurs

Le temps

Le temps

paramètre l'évolution d'un système

Le temps

paramètre le mouvement

Mécanique newtonienne (XVIIème siècle)

objets soumis à des forces se déplacent dans un espace à 3 dimensions (3D).

le temps absolu sert à repérer le mouvement.

Propriétés

plat et rigide
espace absolu
temps absolu
3D + 1T

L'énigme des muons “cosmiques”

Propriétés

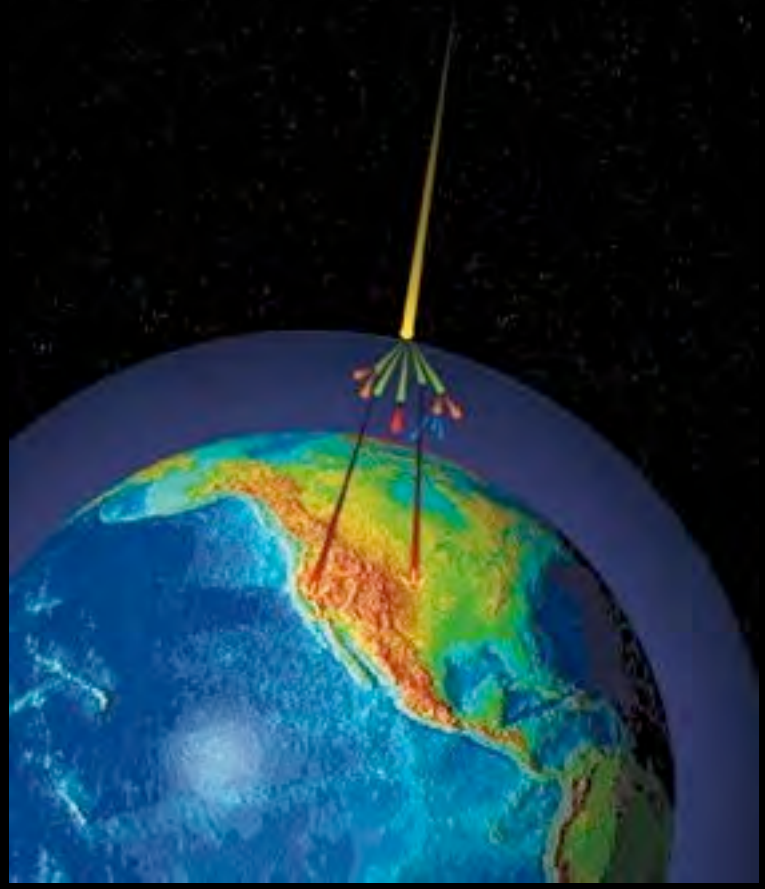
plat et rigide
espace absolu
temps absolu
3D + 1T

Temps de vie mesuré : 2 microsecondes

Vitesse : ~300 000 *km/s*

Distance de vol : 600 *mètres*

Distance de vol observée : 60 *km!!!*



Les muons cosmiques

Propriétés

???

plat et rigide
espace absolu
temps absolu
3D + 1T

le point de vue de l'observateur terrestre :

le muon a une durée de vie plus longue

parce que le temps s'écoule différemment

Les muons cosmiques

Propriétés

???

plat et rigide
espace absolu
temps absolu
3D + 1T

le point de vue du muon :

l'atmosphère lui paraît moins épaisse

parce que les longueurs sont contractées

La relativité restreinte (Einstein 1905)

Propriétés

non →
- plat et rigide
- espace absolu
- temps absolu
- 3D + 1T

distances et durées ne sont pas absolues

espace-temps 4D, rigide et plat

La relativité restreinte (Einstein 1905)

Propriétés

plat et rigide
espace-temps
4D

distances et durées ne sont pas absolues

espace-temps 4D, rigide et plat

La relativité restreinte

Propriétés

plat et rigide
espace-temps
4D

vérifications expérimentales:

horloge du Concorde

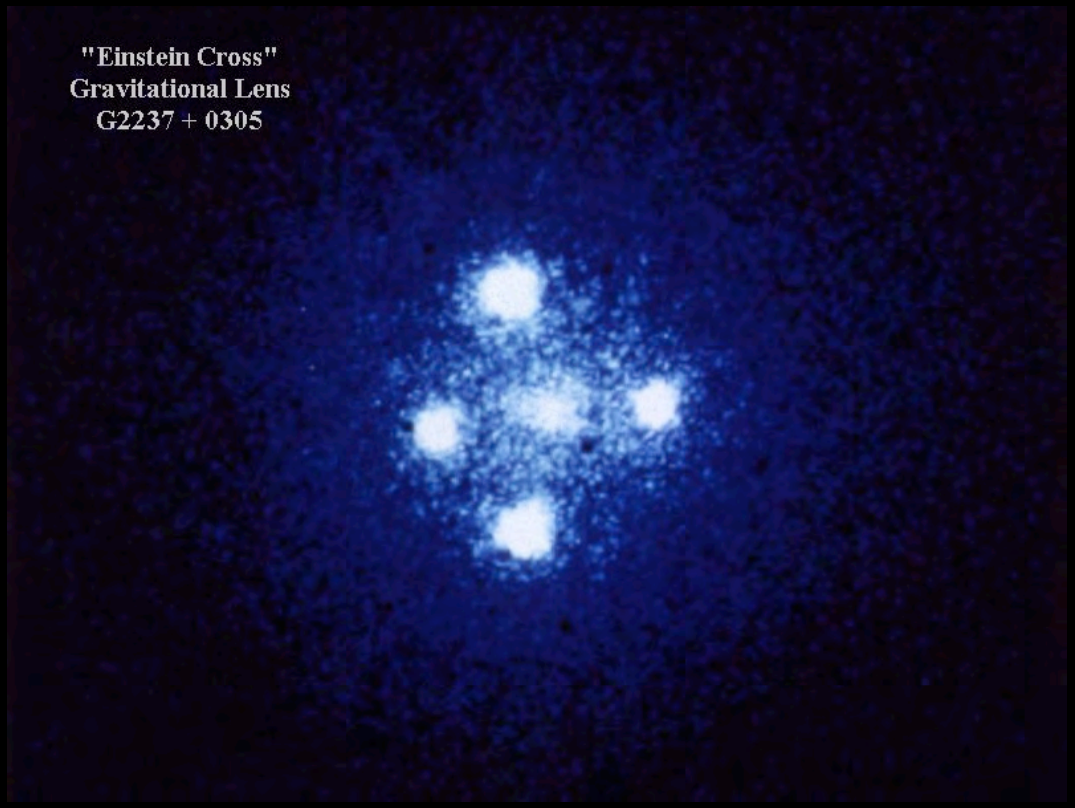
accélérateurs de particules

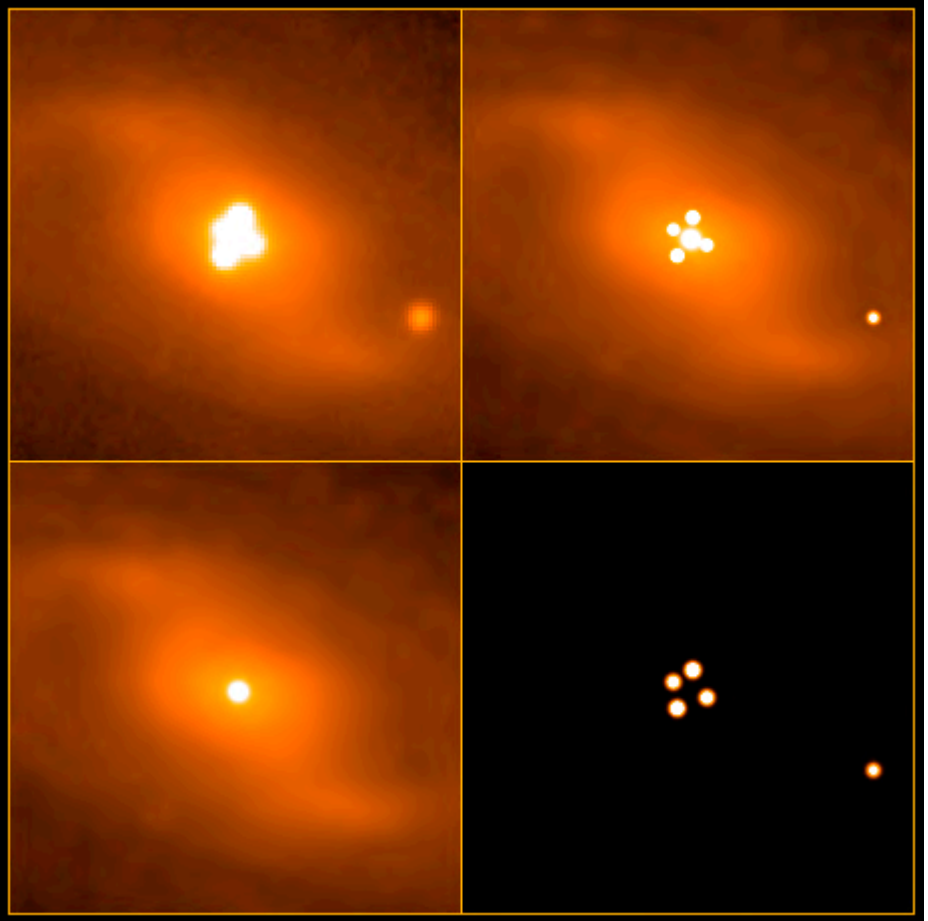
La croix d'Einstein (1979)

Propriétés

???

- plat
- espace-temps
- 4D
- rigide



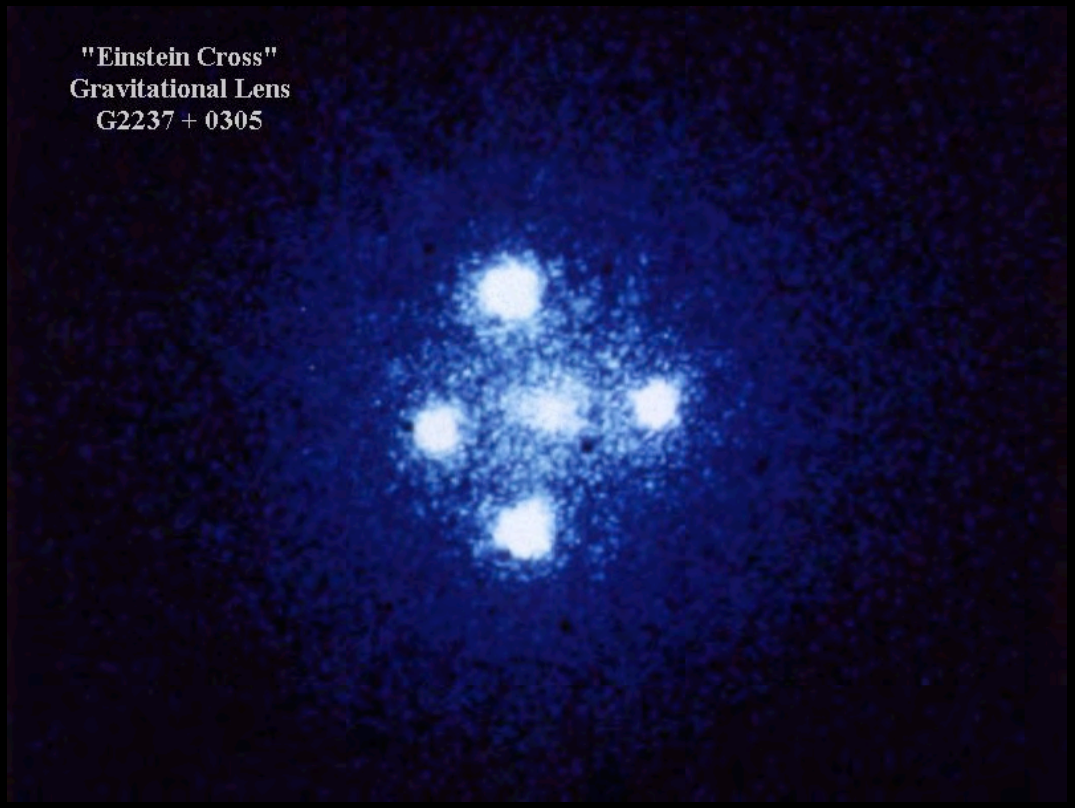


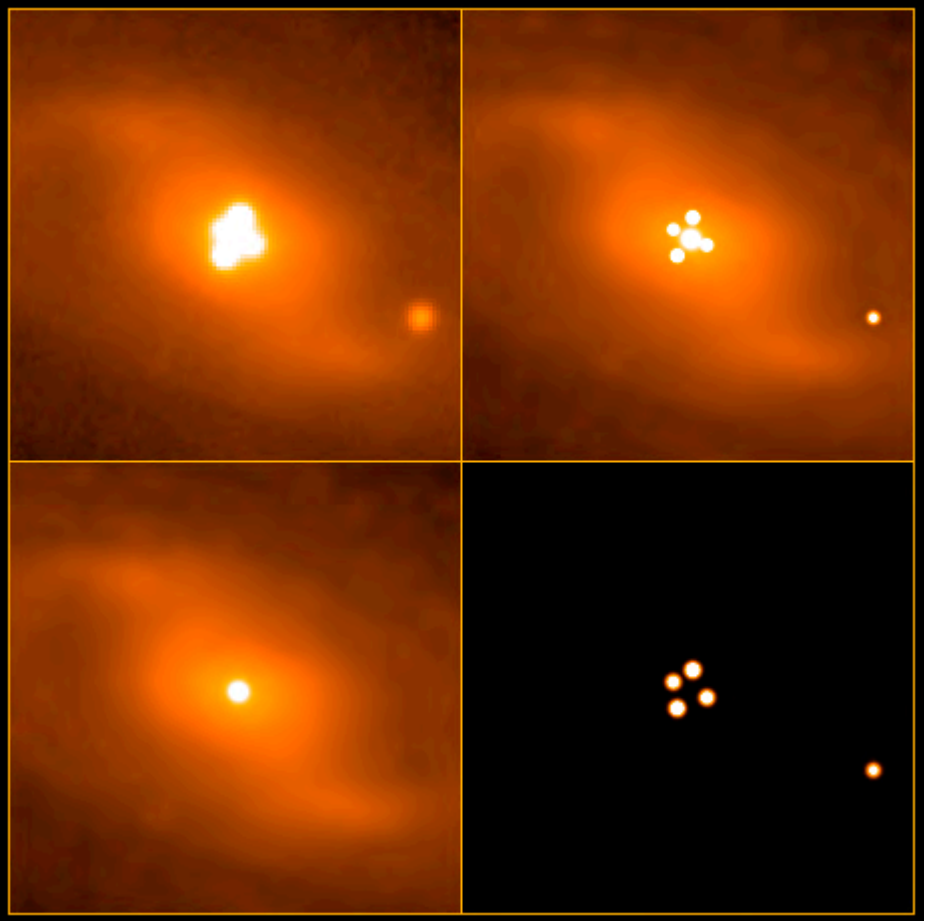
La croix d'Einstein (1979)

Propriétés

non

plat
espace-temps
4D
rigide





La croix d'Einstein (1979)

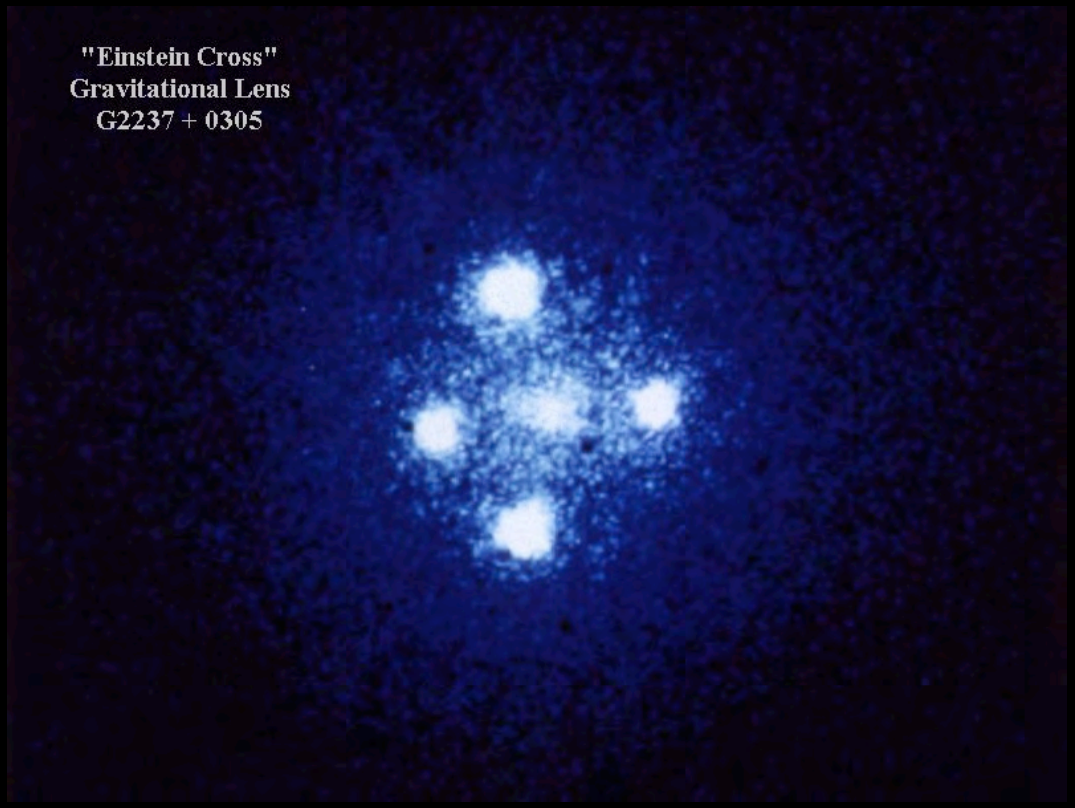
Propriétés

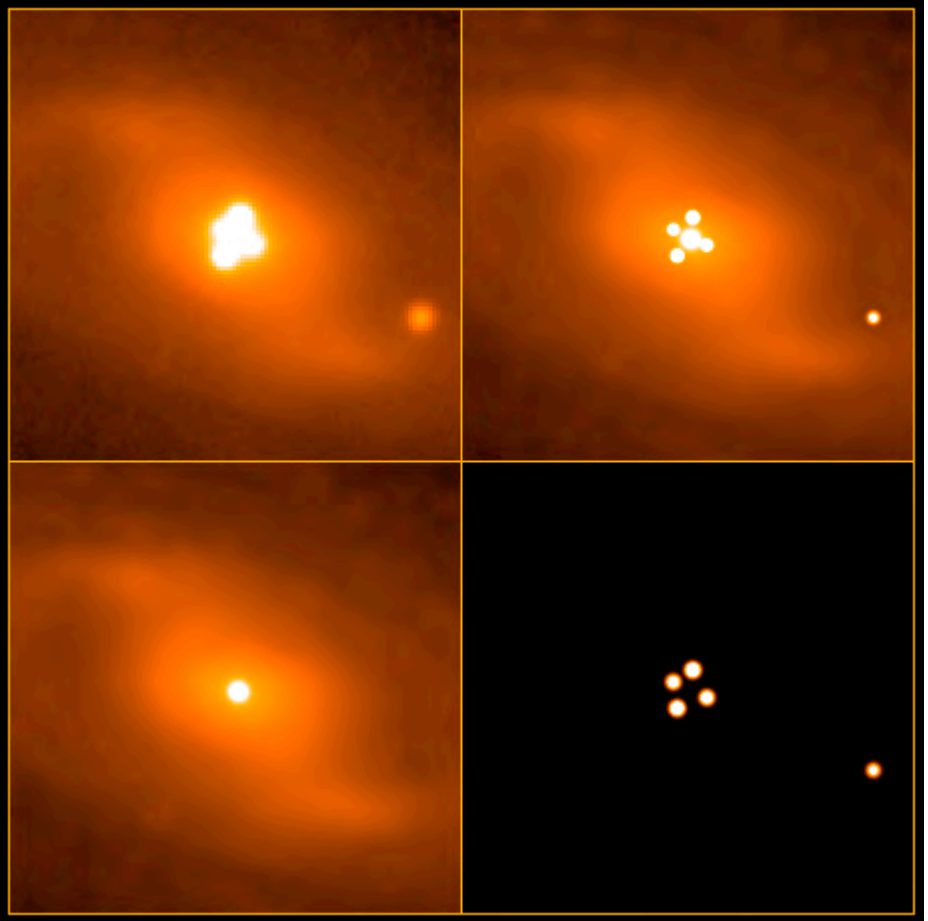
courbe

espace-temps

4D

rigide





Déviation des rayons lumineux

Propriétés

courbe

espace-temps

4D

rigide

???

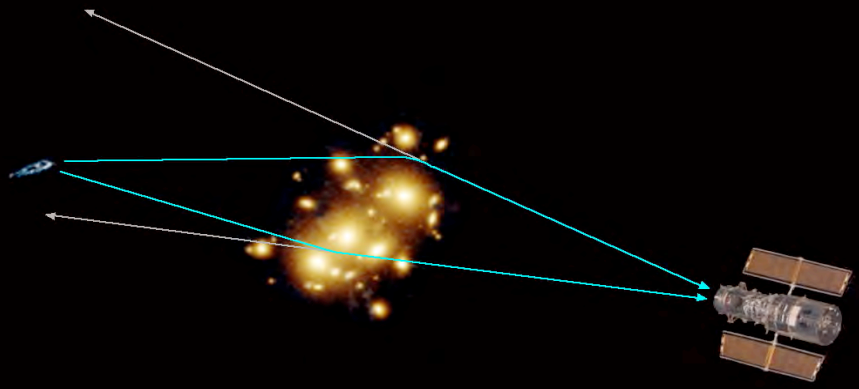
Déviation des rayons lumineux

due à la déformation de l'espace

Propriétés

non

courbe
espace-temps
4D
rigide



Déviation des rayons lumineux

due à la déformation de l'espace

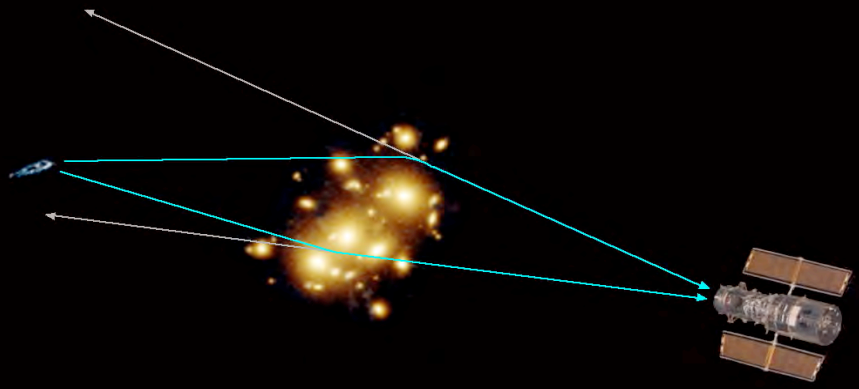
Propriétés

courbe

espace-temps

4D

souple



Les distortions du temps

Propriétés

courbe

espace-temps

4D

souple

décalage des fréquences atomiques :

expérience de Pound & Rebka (1960)

La relativité générale (Einstein 1917)

Propriétés

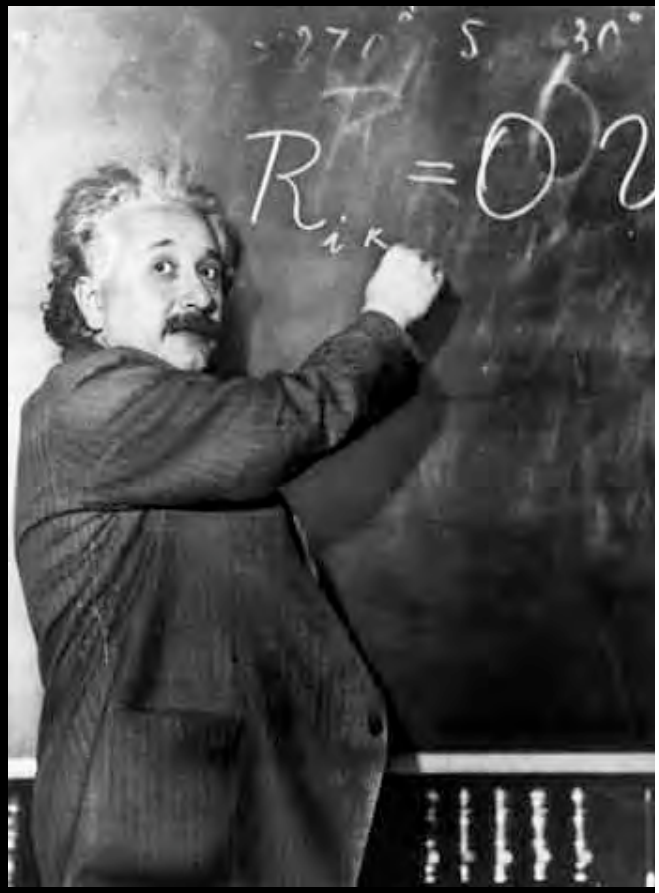
espace-temps
courbe/souple
4D

Lien entre gravitation et géométrie :

l'espace-temps est (faiblement) élastique et courbé par la masse

Newton : force gravitationnelle

Einstein : mouvement libre dans un espace courbé par la masse



Précession du périhélie de Mercure

Propriétés

espace-temps
courbe/souple
4D

observation : Le Verrier (1859)
(1 tour pour 13 millions de révolutions)

explication : Einstein (1915)

Coalescence du pulsar binaire

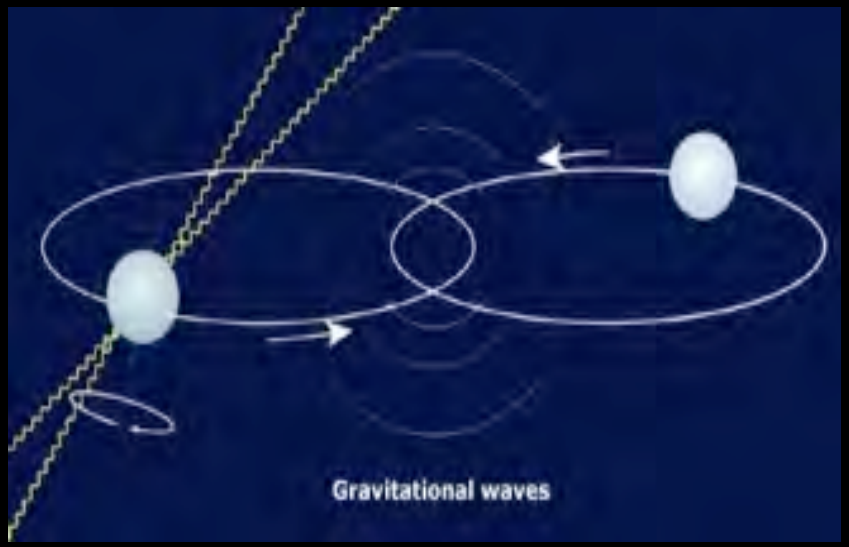
(Hulse & Taylor 1974, Nobel 1993)

Propriétés

espace-temps

courbe/souple

4D



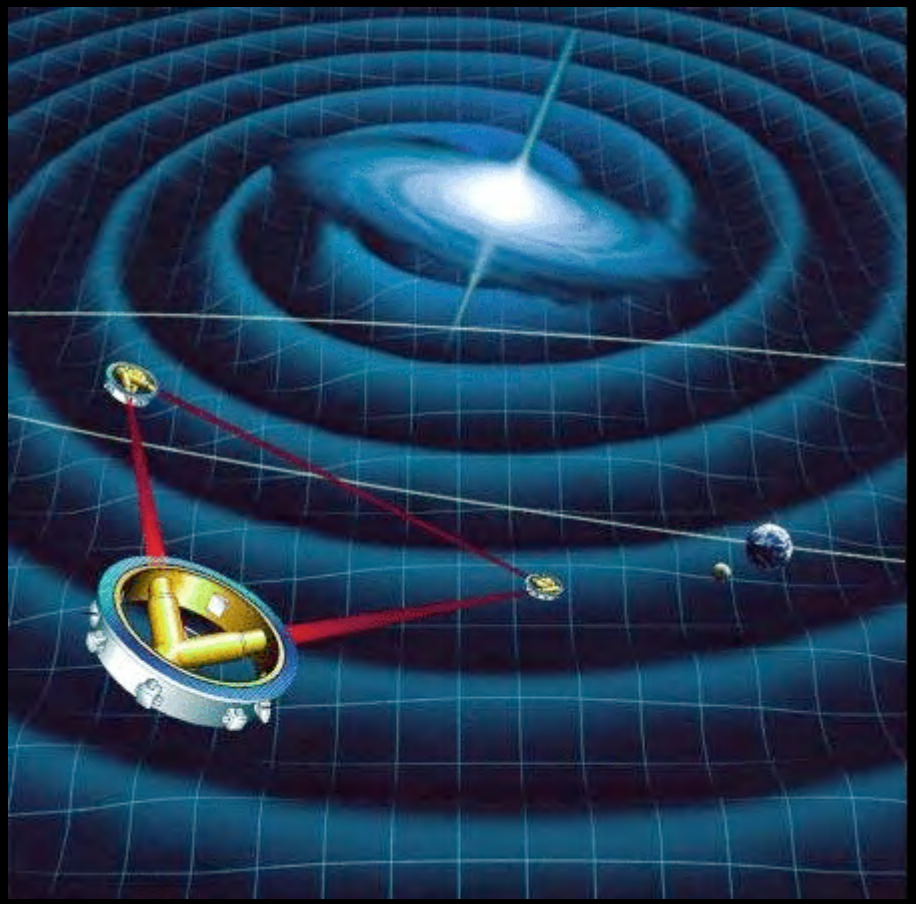
Ondes gravitationnelles

Propriétés

espace-temps

courbe/souple

4D



Dimensions supplémentaires

Propriétés

espace-temps

courbe/souple

4D

La situation :

- particules et interactions :

espace-temps 4D, plat et rigide

- astres et gravitation :

espace-temps 4D courbe et souple

Rapprocher, voire unifier, les deux descriptions?

L'espace-temps est-il 4D?

Dimensions supplémentaires

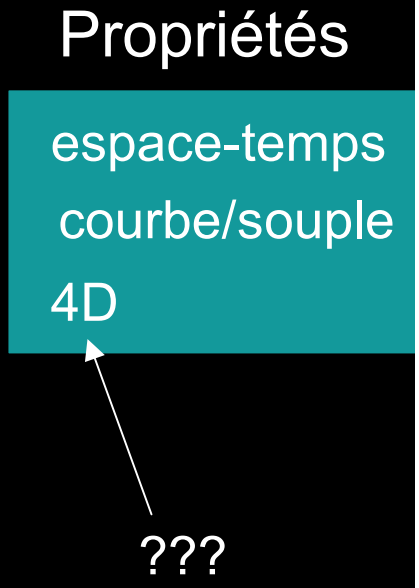
La situation :

- particules et interactions :
espace-temps 4D, plat et rigide

- astres et gravitation :
espace-temps 4D courbe et souple

Rapprocher, voire unifier, les deux descriptions?

L'espace-temps est-il 4D?



Modèle de Kaluza et Klein

Propriétés

espace-temps
courbe/souple
4D + 1D ?

L'idée de Kaluza (1917) :

gravité en (4+1)D =

gravité 4D

ET

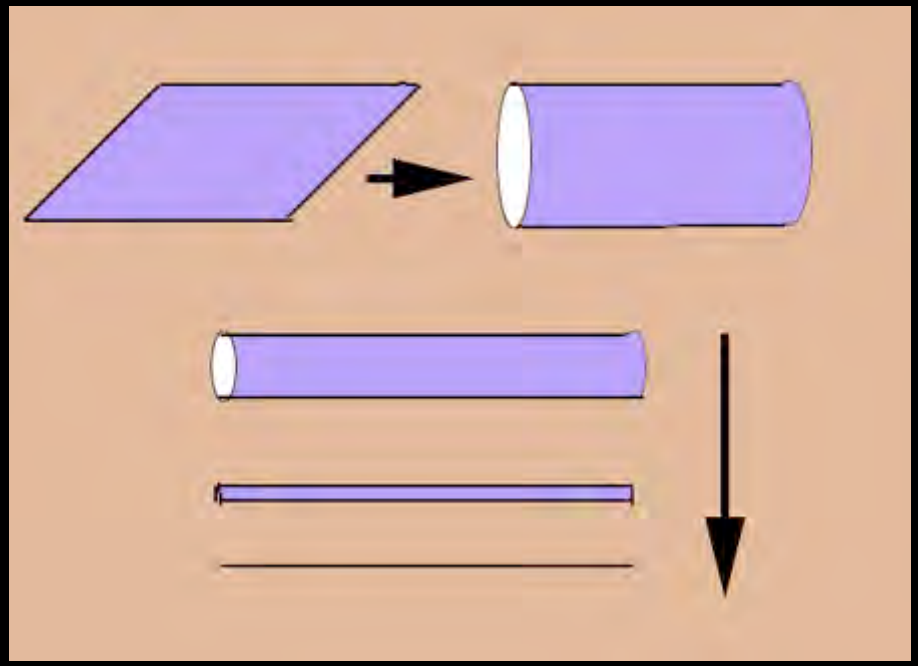
électromagnétisme 4D

Modèle de Kaluza et Klein

Propriétés

espace-temps
courbe/souple
4D + 1D ?

Le raffinement de Klein (1926) :
pour rendre la dimension supplémentaire inobservable, on la compactifie

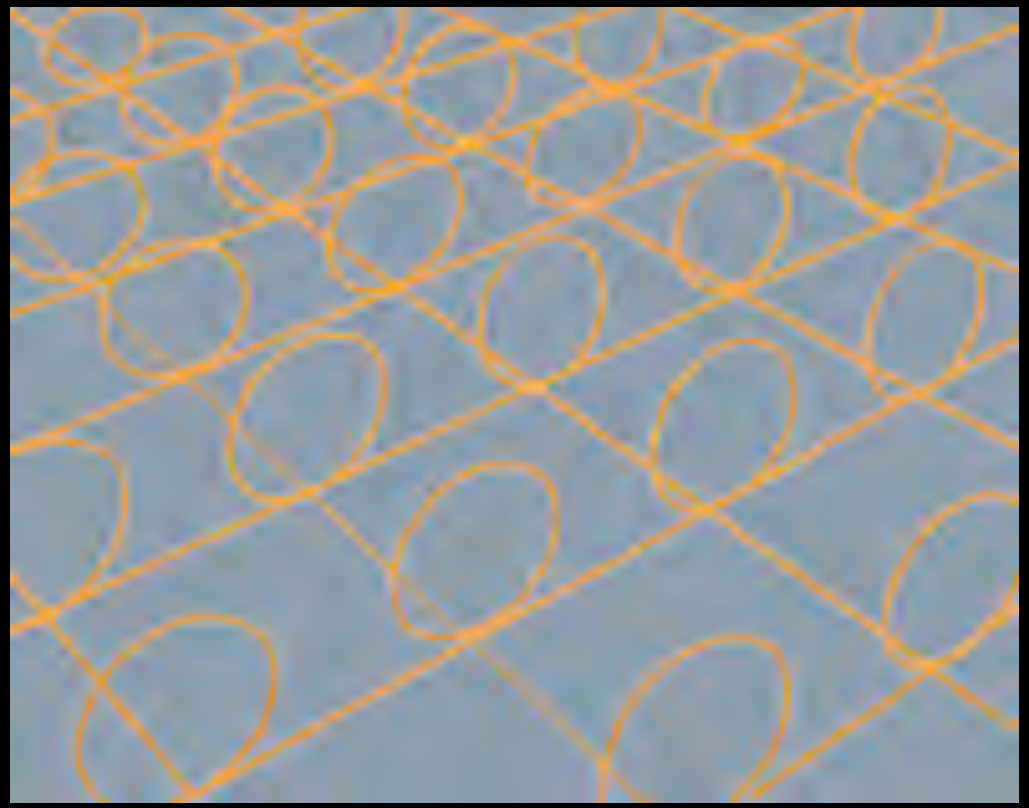


Modèle de Kaluza et Klein

Propriétés

espace-temps
courbe/souple
4D + 1D ?

Le raffinement de Klein (1926):



Conséquence:
quantification de la charge électrique

Modèle de Kaluza et Klein

Propriétés

espace-temps

courbe/souple

4D + 1D ?

Extension possible aux autres interactions avec plus de dimensions :

nombre non contraint

Finalement, l'idée est abandonnée sous cette forme :

désaccord avec la matière observée

Modèles de cordes

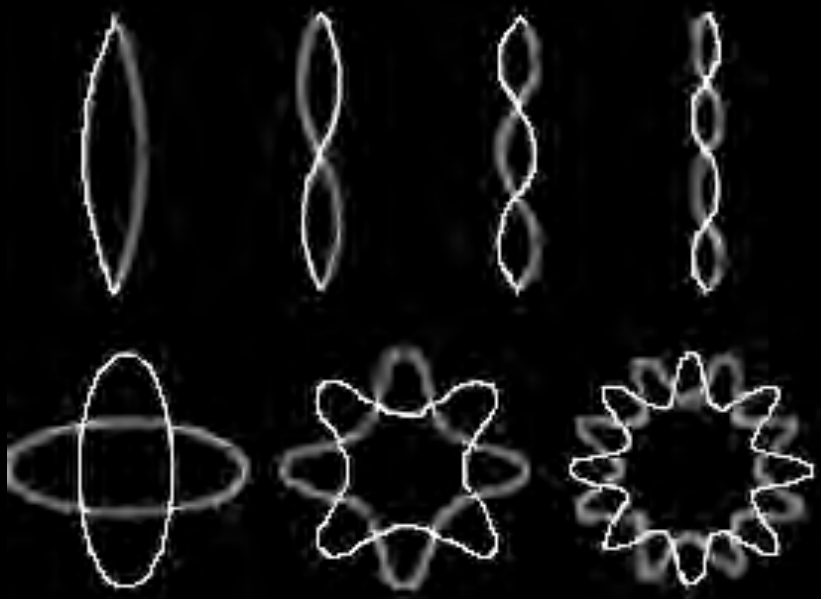
Propriétés

espace-temps
courbe/souple
10D ?

Idée : *abandonner la notion de particule ponctuelle pour celle de corde*

Gravitation et autres interactions entre particules

(Scherk-Schwarz, 1975)



Modèles de cordes

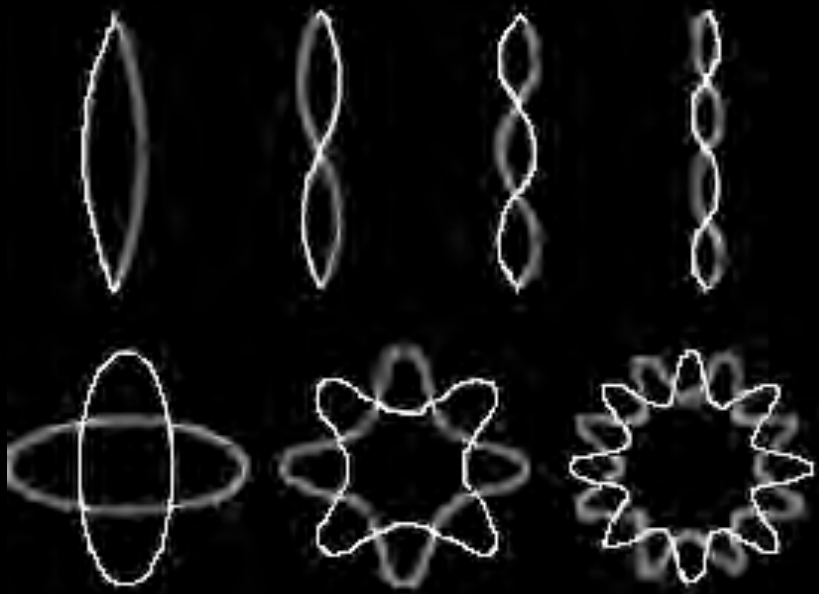
Idée : abandonner la notion de particule ponctuelle pour celle de corde

Propriétés

espace-temps

courbe/souple

10D ?



Modèles de cordes

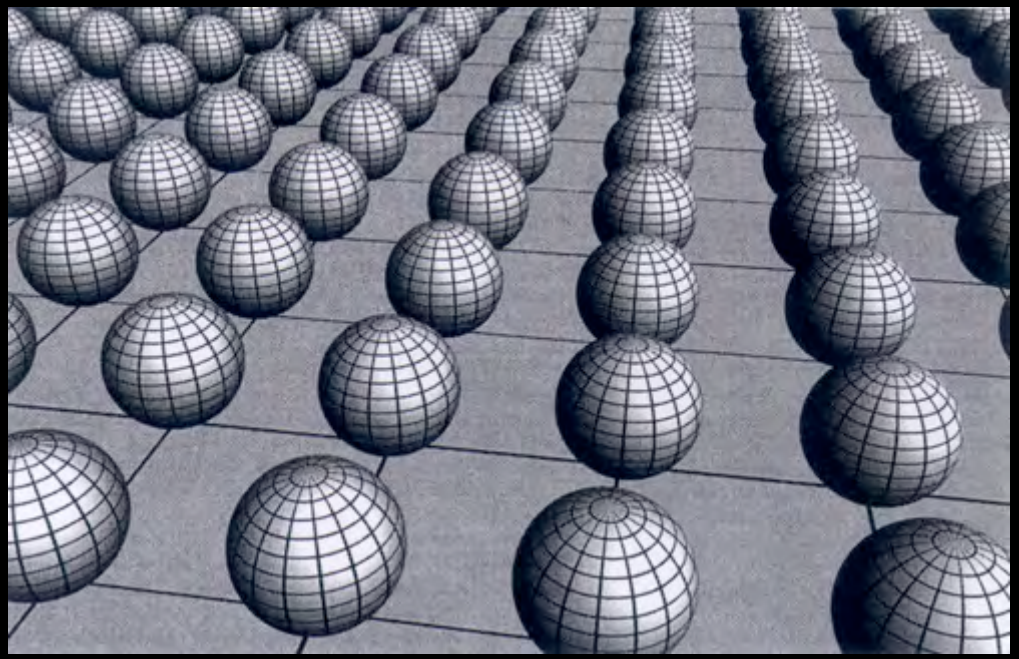
Propriétés

espace-temps
courbe/souple
10D ?

Les cordes vivent en 10 dimensions :

les six dimensions supplémentaires sont une contrainte mathématique!

Problème :
comment les concilier avec le monde observé?

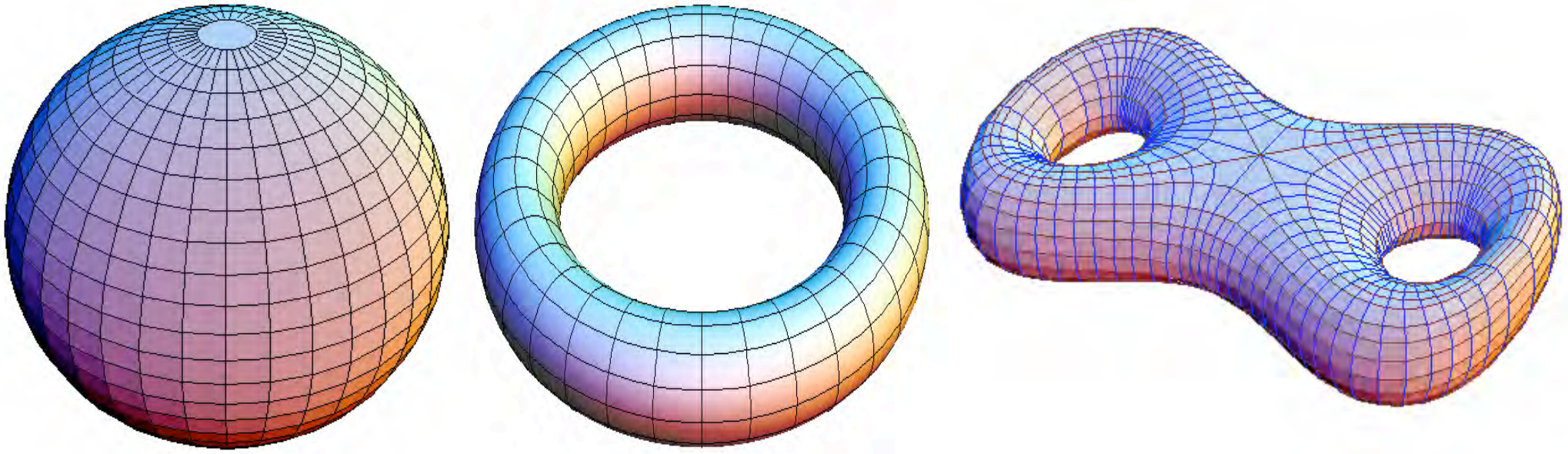


Modèles de cordes

Propriétés

espace-temps
courbe/souple
10D ?

Réponse:
la forme des six dimensions supplémentaires
modifie la physique observée à quatre dimensions



Modèles de cordes

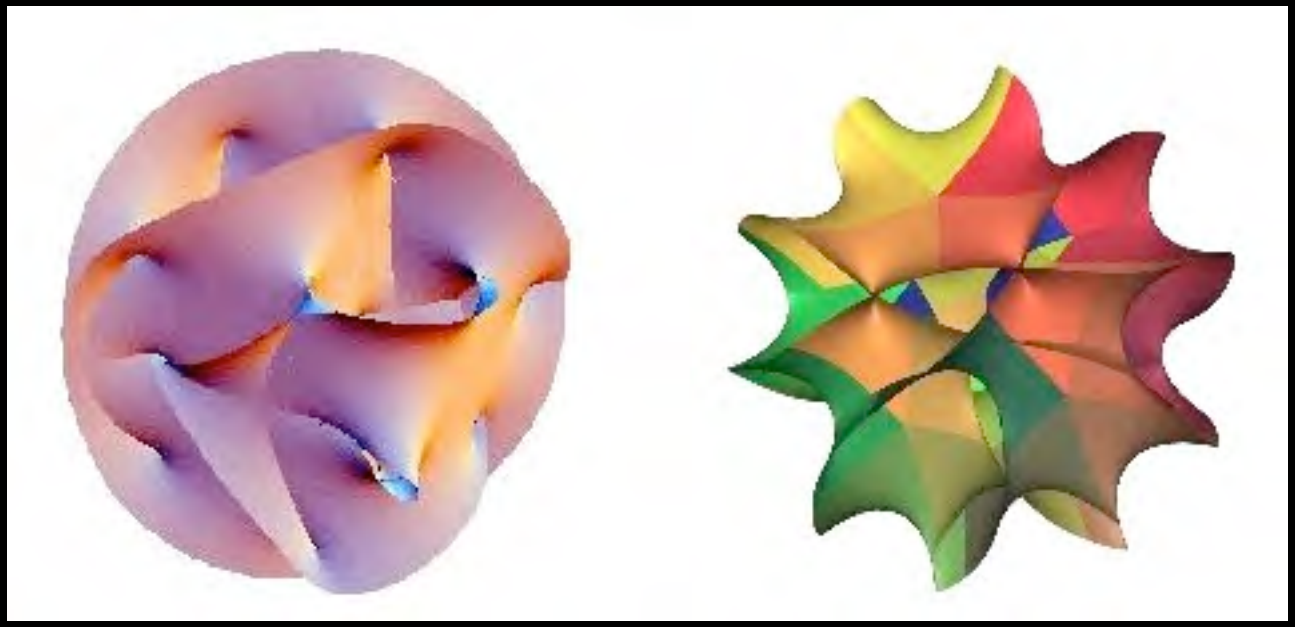
Propriétés

espace-temps

courbe/souple

10D ?

Une pléthore de modèles possibles



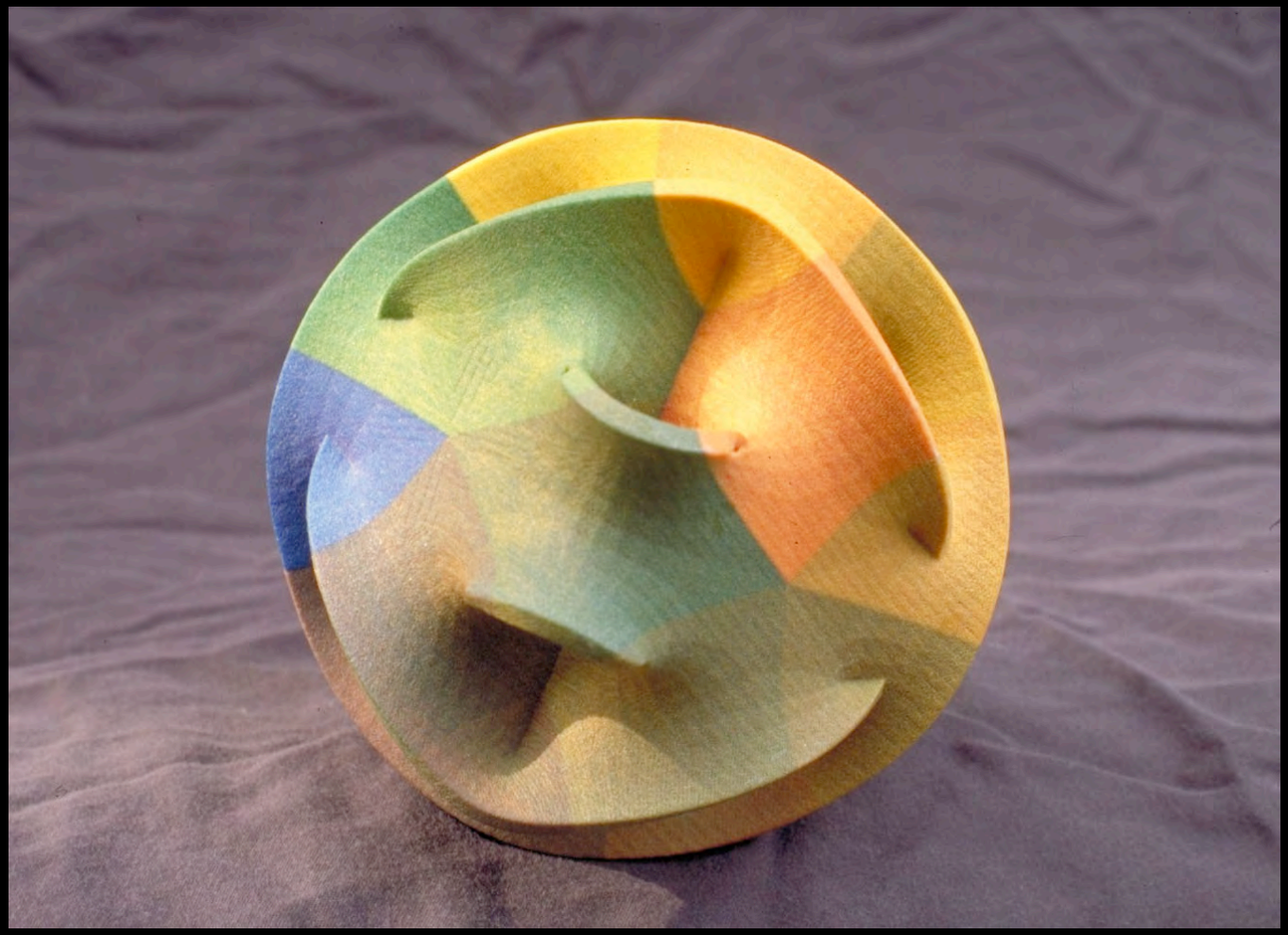
Modèles de cordes

Propriétés

espace-temps

courbe/souple

10D ?



Pour certains modèles, les dimensions supplémentaires ne sont pas toutes de petite taille (1/100ème de mm : c'est énorme !)

Finale 1

Résumé: évolution de la notion d'espace

- physique classique: espace 3D + temps

- Relativité restreinte: espace-temps 4D, rigide, plat

- Relativité générale: espace-temps 4D, élastique, courbe

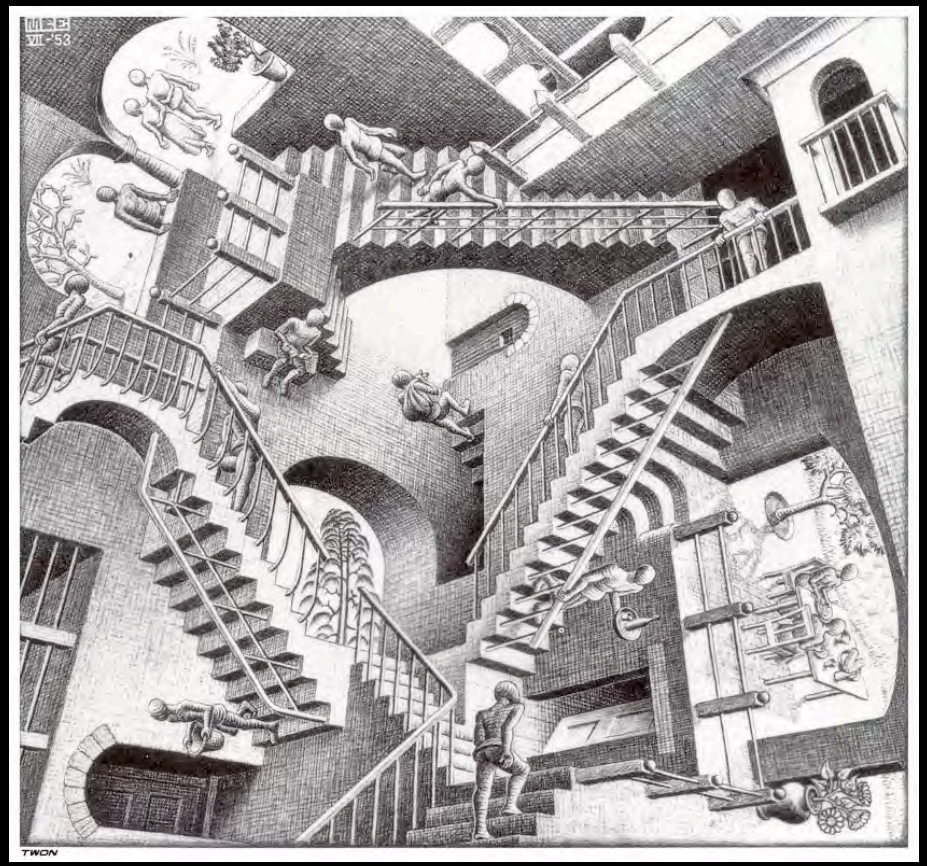
Il pourrait encore subir quelques avanies dont les dimensions supplémentaires

Finale 2 : *Tout ce à quoi vous avez échappé!*

topologie compliquée

dualité

espace « flou »



branes

modèles à la Randall-Sundrum

espace émergent

espace non commutatif

espace à deux temps

Références

Relativités restreinte et générale

www.futura-sciences.com

Kaluza et Klein, Supercordes

www.diffusion.ens.fr/vip

La page ouebe de la conference

lappweb.in2p3.fr/lapth-2005

?
ET ALORS ? J'A PLUS PERSONNE ?
BON... BEN SI C'EST ÇA, JE ME TIRE AUSSI...