

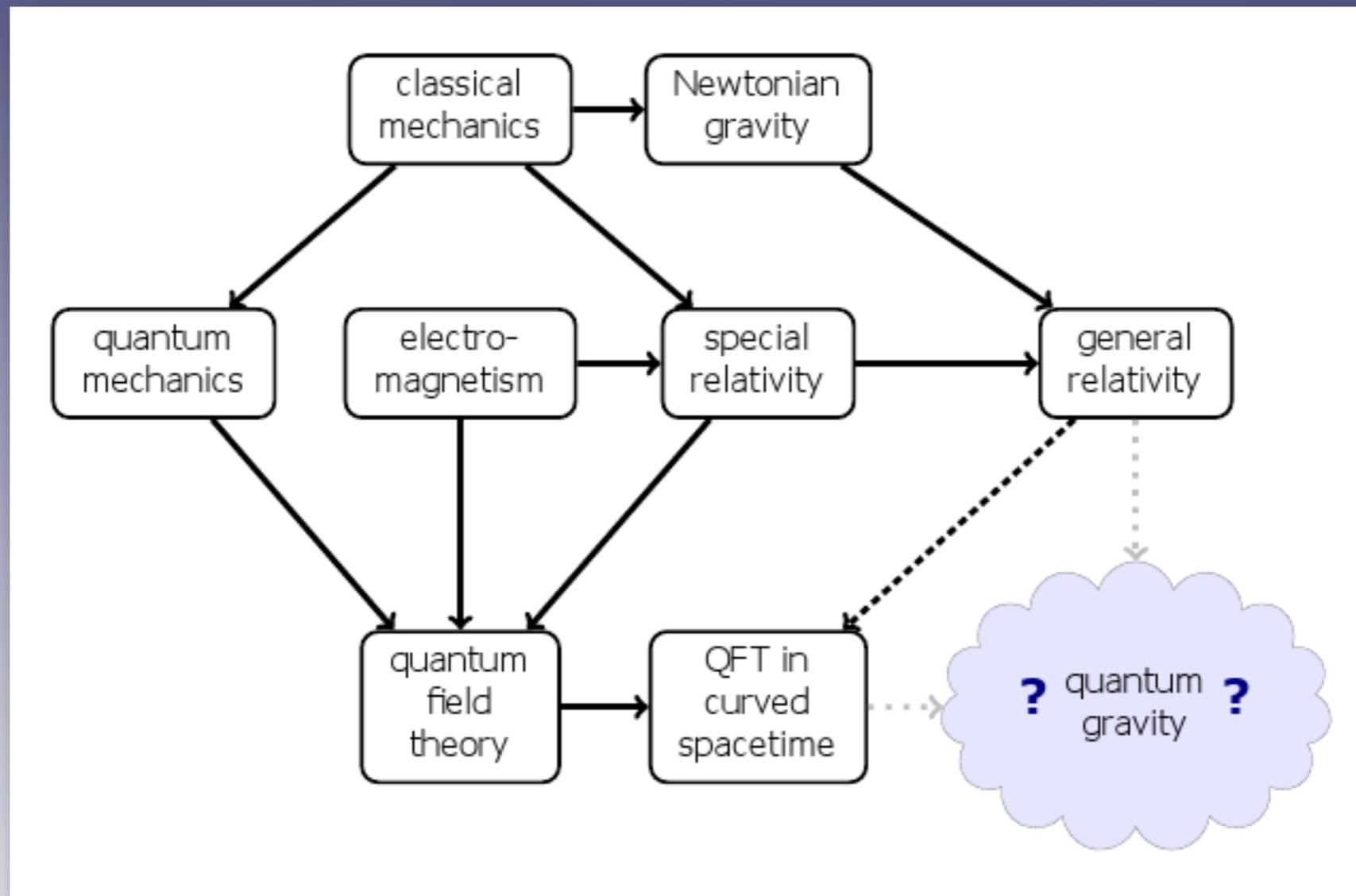
# IX FÍSICA NAS FÉRIAS VII ESCOLA AVANÇADA DE FÍSICA

O QUE EXISTE ALÉM DE PRÓTONS, ELÉTRONS E  
NÊUTRONS?  
UMA INTRODUÇÃO ÀS PARTÍCULAS  
ELEMENTARES

Teoria das Cordas

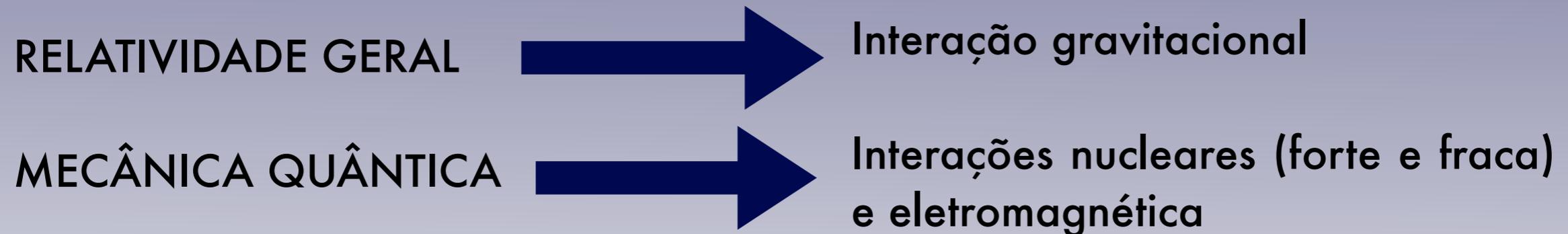
RAFAEL ALVES BATISTA

# Um problema

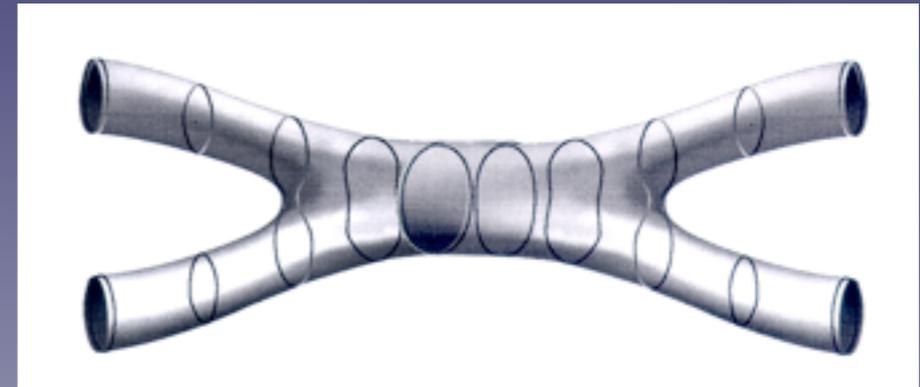
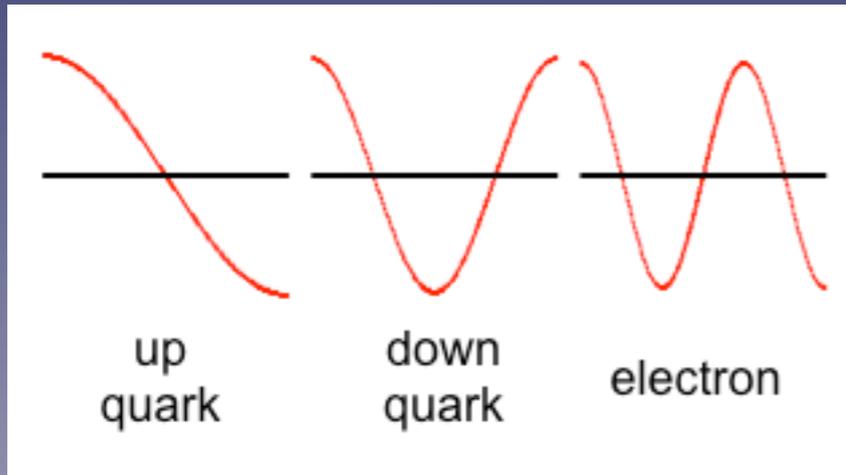


# O Sonho de Einstein...

- Einstein sonhava com uma teoria unificada das interações da natureza.
- A princípio, ele queria unir gravitação e eletromagnetismo.
- Apesar de ser um dos desenvolvedores da Mecânica Quântica, ele não se sentia confortável com ela e não tentou unificar as interações nucleares forte e fraca (que na época eram pouco compreendidas).



# O que são as tais cordas?



- Diferentes vibrações estão associadas a diferentes partículas.
- A combinação entre cordas é uma interação (figura à direita).
- Quando a possibilidade de cordas foi levantada, em 1968, elas teriam dimensões da ordem de  $10^{-13}$  m; no contexto da teoria da cordas elas têm dimensões da ordem de  $10^{-35}$  m.
- À parte as cordas bosônicas, que requerem 26 dimensões, as teorias de cordas requerem 9 dimensões espaciais e uma temporal.

# Grande Unificação

- As teoria de grande unificação (GUT) postulam que a altas energias há somente um campo de gauge mediado por uma família de partículas fundamentais. A baixas energias esta simetria entre as forças é quebrada e temos as três interações não-gravitacionais.
- Problema da hierarquia: se várias forças em uma teoria unificam-se a altas energias, então esta escala de energia parece “natural”. Então porque a escala de energia das partículas que conhecemos é mais baixa?

# Superssimetria

- As teoria de grande unificação (GUT) postulam que a altas energias há somente um campo de gauge mediado por uma família de partículas fundamentais. A baixas energias esta simetria entre as forças é quebrada e temos as três interações não-gravitacionais.
- Problema da hierarquia: se várias forças em uma teoria unificam-se a altas energias, então esta escala de energia parece “natural”. Então porque a escala de energia das partículas que conhecemos é mais baixa?
- Se para cada partícula existente postularmos a existência de um parceiro superssimétrico com todos os números quânticos e massas idênticos, e com spin diferindo de  $1/2$ , isto resolve o problema da hierarquia.
- Superssimetria é quebrada a baixas energias, i.e., os parceiros superssimétricos de uma partícula não precisam ter necessariamente as mesmas características (massas) da partícula original.

# Um pouco sobre a teoria das cordas

- A teoria de cordas existe em 5 tipos, todos estes contendo 10 dimensões.
- Tipo IA: Superssimetria, cordas abertas e fechadas.
- Tipo IIA: Superssimetria, cordas fechadas, cordas abertas conectadas a D-branas, férmions com dois modos de spin.
- Tipo IIB: Superssimetria, cordas fechadas, cordas abertas conectadas a D-branas, férmions com um modo de spin.
- Tipo HO: Superssimetria, cordas fechadas, heteróticas (comportamentos diferentes se a corda se move para a direita ou esquerda), grupo de simetria  $SO(32)$ .
- Tipo HE: Superssimetria, cordas fechadas, heteróticas (comportamentos diferentes se a corda se move para a direita ou esquerda), grupo de simetria  $E_8 \times E_8$ .

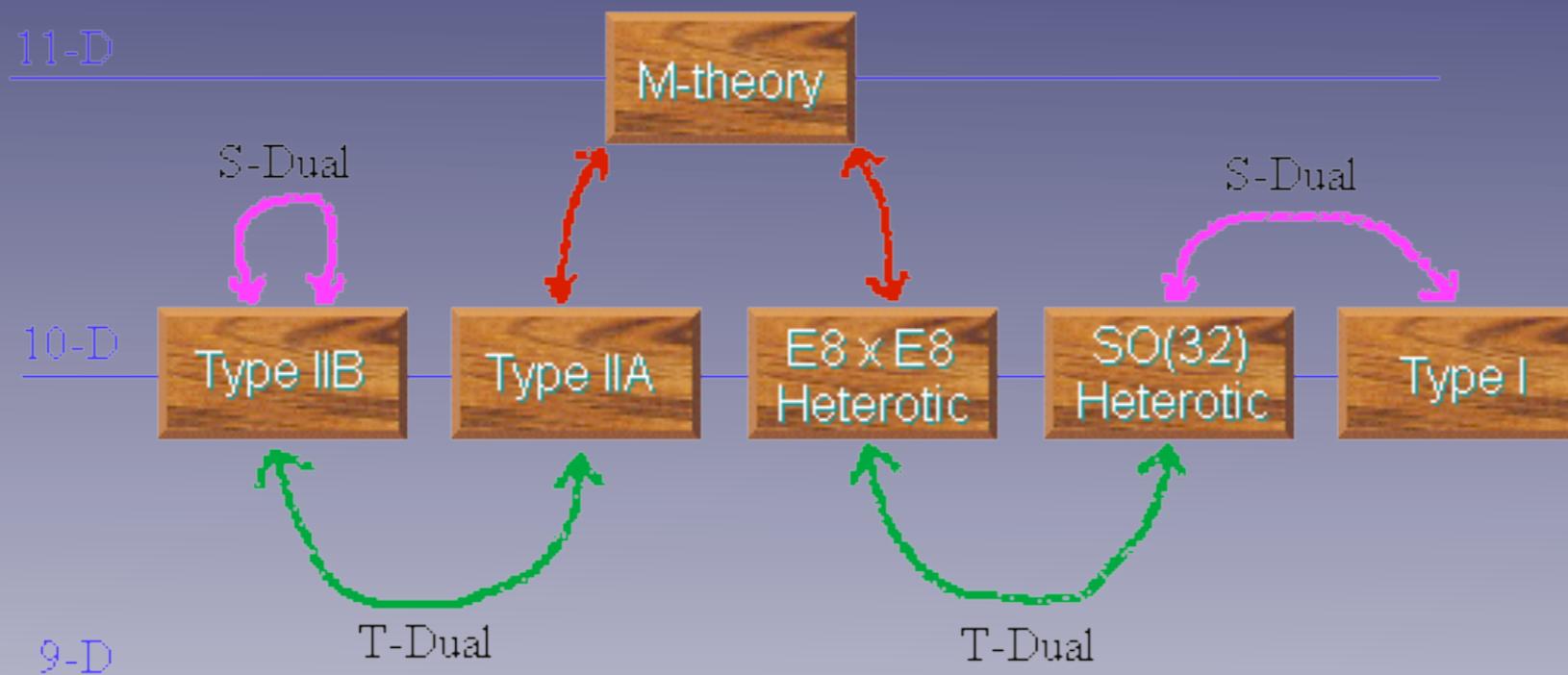
# Teoria-M

Créditos: John Pierre

- Edward Witten unificou as 5 teorias.
- Para a unificação, é necessário adicionar uma dimensão.
- Marcou a “Segunda Revolução das Cordas”



# Teoria-M



Créditos: John Pierre



- Edward Witten unificou as 5 teorias.
- Para a unificação, é necessário adicionar uma dimensão.
- Marcou a “Segunda Revolução das Cordas”

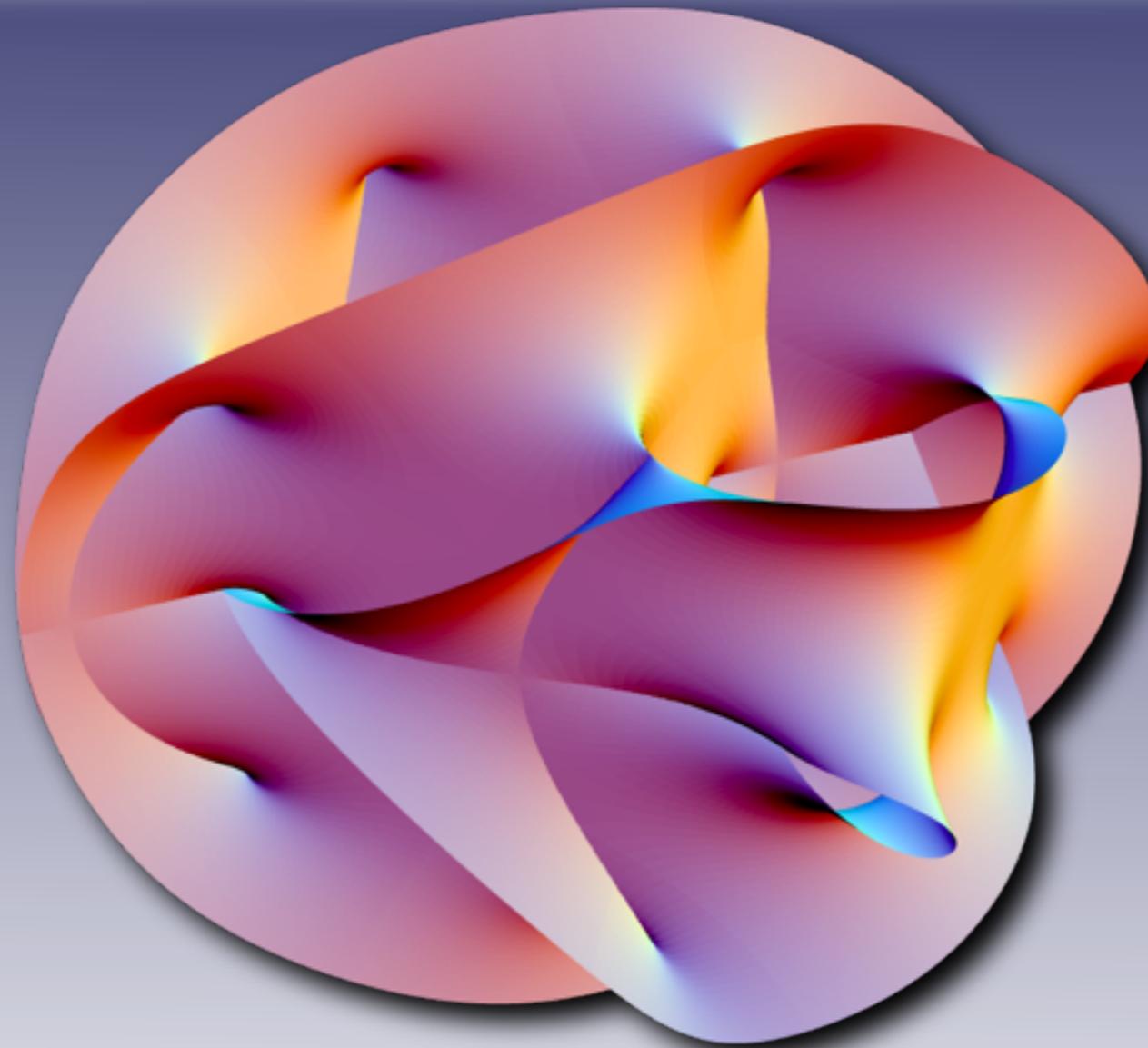
# Dimensões extras



Pense em uma formiga andando sobre um fio. Para nós o fio tem apenas uma dimensão, se olharmos de longe. Se olharmos de perto vemos que a formiga pode ir para frente/trás ou girar no sentido anti-horário/horário. Assim, em pequena escala o fio que parecia ser unidimensional tem, na verdade, duas dimensões.

- As dimensões extras podem ser estendidas ou compactas.
- As dimensões extras estão compactadas e são pequenas, invisíveis para nós.

# Dimensões extras



- No contexto da teoria das cordas, as dimensões espaciais extras aparecem compactadas em espaços de Calabi-Yau.

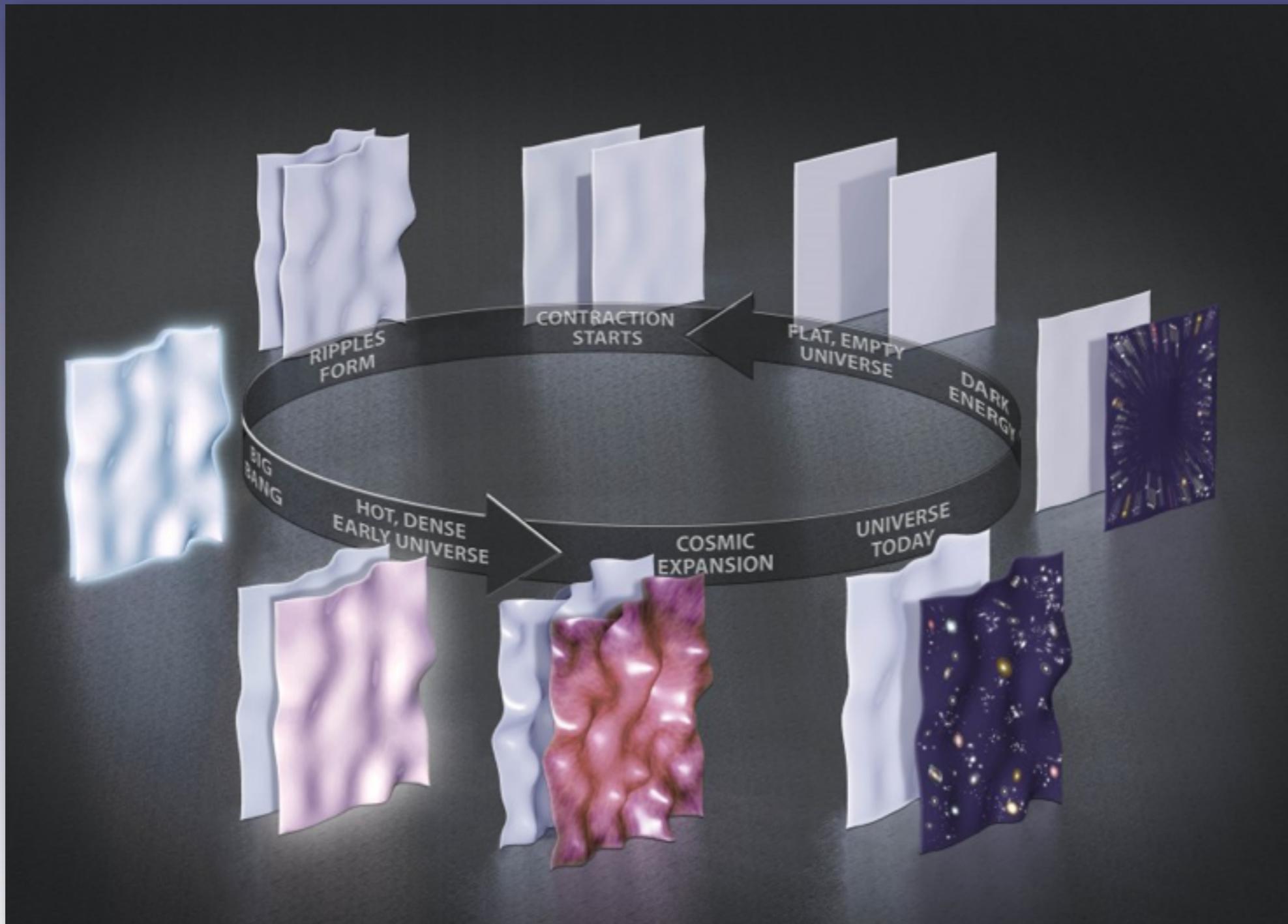
# p-branas

- Por que a interação gravitacional é muito mais fraca que as outras?
- As teorias das cordas prevêem a existência de alguns objetos chamados p-branas, onde  $p$  é a dimensão que o objeto ocupa.
- Algumas p-branas são chamadas de D-branas.
- A “ponta” das cordas pode começar/terminar em D-branas.
- Cordas fechadas podem atravessar as branas (grávitons).



<http://www.fysast.uu.se/>

# Um universo cíclico

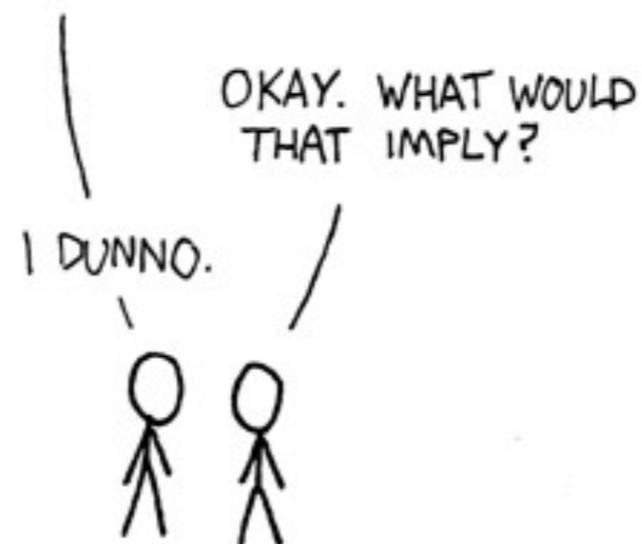


[hans.wyrdweb.eu](http://hans.wyrdweb.eu)

# Supercordas: Física ou Metafísica?

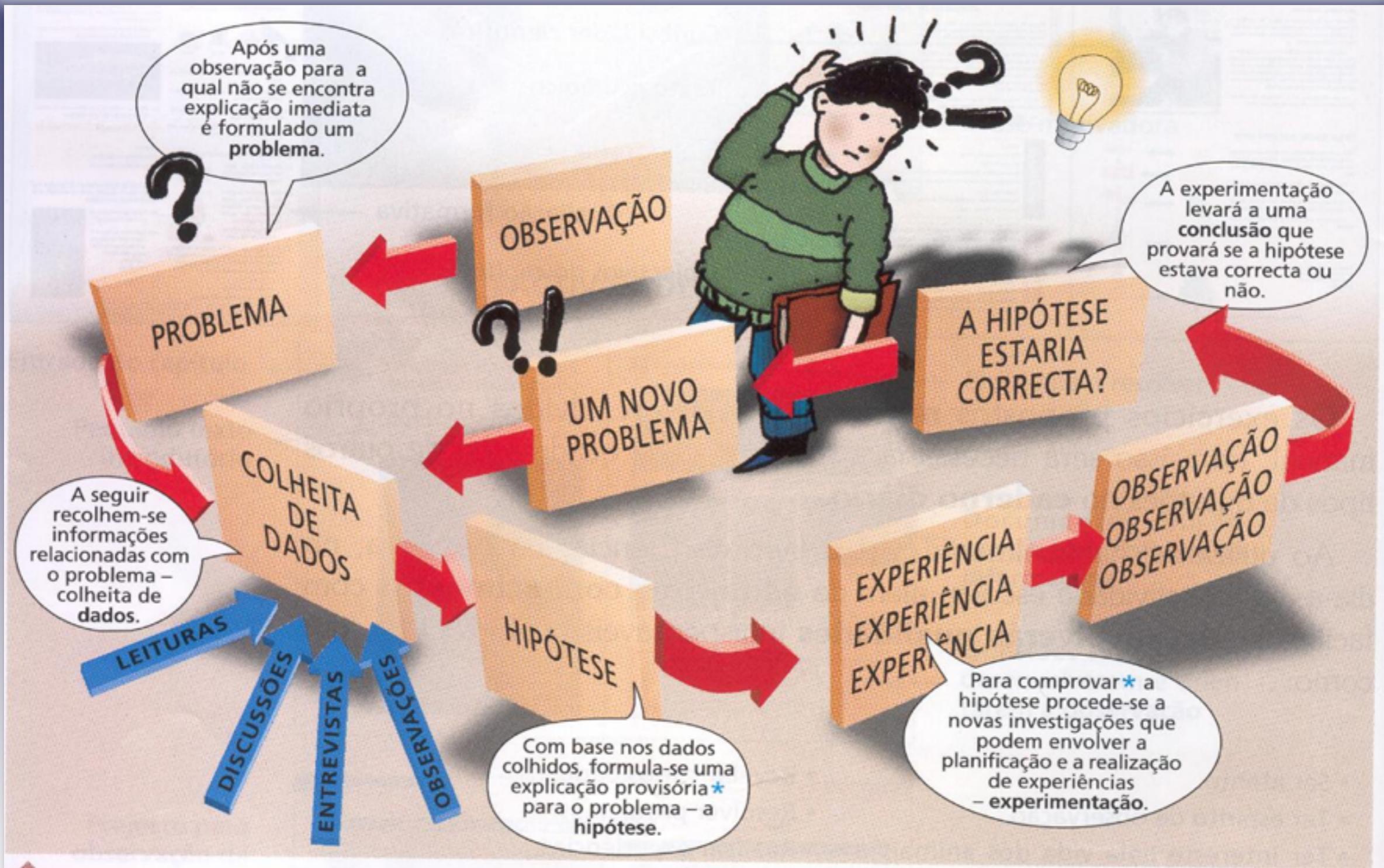
## STRING THEORY SUMMARIZED:

I JUST HAD AN AWESOME IDEA.  
SUPPOSE ALL MATTER AND ENERGY  
IS MADE OF TINY, VIBRATING "STRINGS."



[http://imgs.xkcd.com/comics/string\\_theory.png](http://imgs.xkcd.com/comics/string_theory.png)

# Supercordas: Física ou Metafísica?



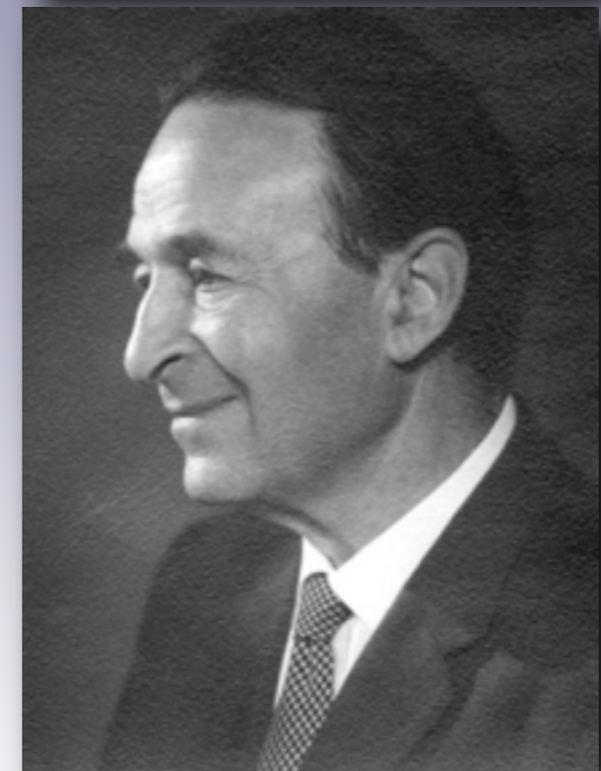
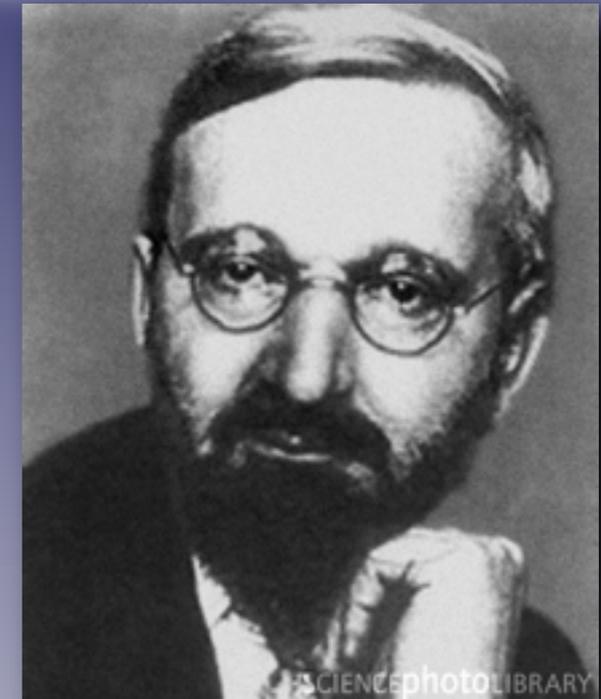
[http://teonismo.wikia.com/wiki/M%C3%A9todo\\_cient%C3%ADfico/](http://teonismo.wikia.com/wiki/M%C3%A9todo_cient%C3%ADfico/)

# Slides Extras

- Os slides a seguir são informações extras.

# Unificando a gravidade e o eletromagnetismo

- 1919: Kaluza e Klein notaram que adicionando uma dimensão espacial compacta, seria possível descrever o campo eletromagnético e gravitacional da mesma forma.
- Kaluza e Klein observaram também que neste contexto haveria uma partícula de spin 2 que em três dimensões espaciais daria origem a duas partículas não massivas de spin 2 e 1 (gráviton e fóton).



# O Início da Teoria das Cordas

- 1968: Gabriele Veneziano estudava a interação forte e encontrou uma equação (função beta de Euler) que parecia descrever bem a interação nuclear forte e cujo resultado podia ser interpretado como a interação entre cordas.
- Década de 60: Geoffrey Chew e Steven Frautschi descobriram uma relação entre a massa e o spin de alguns mésons. Posteriormente Nambu, Nielsen e Susskind interpretaram esta relação como cordas em rotação.
- 1968-1969: Primeira teoria das cordas (cordas bosônicas).
- No contexto de cordas bosônicas, que descrevem apenas bósons, existe um problema relacionado à existência de uma partícula de massa imaginária, o táquion, além de serem necessárias 26 dimensões.
- 1971: Primeira real teoria das cordas, que levou à formulação da superssimetria.
- 1974: Tamiaki Yoneya notou que as todas as teorias das cordas conhecidas continha uma partícula sem massa de spin 2: o gráviton.
- 1974: John Schwarz e Joel Scherk propõem que a teoria das cordas é uma teoria da gravidade, e não uma teoria de hádrons.

# O Início da Teoria das Cordas

- 1976: Superssimetria é adicionada à gravidade, criando a supergravidade.
- 1980: A teoria das cordas absorve o prefixo “super” ao nome.
- 1984: “Primeira revolução das cordas” - John Schwarz e Michael Green publicam trabalhos formalizando a teoria das cordas e resolvendo várias inconsistências.
- 1995: “Segunda revolução das cordas” - Edward Witten unifica as diversas teorias das cordas em uma única teoria: Teoria-M.

# Teoria de Yang-Mills

- 1953: Wolfgang Pauli generaliza a teoria de Kaluza-Klein para mais dimensões.
- Pauli desiste da sua teoria pois não consegue encontrar um mecanismo de geração de massa para os campos de gauge.
- Campo de gauge: um campo invariante sob transformações locais (o que isto significa?????)
- 1954: Cheng Yang e Robert Mills formulam uma teoria em que generalizam o conceito de campo de gauge às interações nucleares (forte e fraca) e eletromagnética.
- Problema com a teoria de Yang-Mills na época: assim como Pauli, não conseguem explicar a massa dos campos de gauge massivos.
- Na década de 1960 Goldstone, Nambu e outros desenvolvem o mecanismo de quebra espontânea de simetria, conseguindo explicar a massa dos campos de gauge e ressuscitando a teoria de Yang-Mills.