
Um Sonho de Einstein: *A Unificação da Leis da Física*

Victor O. Rivelles

`rivelles@fma.if.usp.br`

Instituto de Física

Universidade de São Paulo

Einstein e Teorias Unificadas

- De 1925 à 1955 Einstein buscou uma teoria unificada sem sucesso.

Einstein e Teorias Unificadas

- De 1925 à 1955 Einstein buscou uma teoria unificada sem sucesso.
- Quais eram suas motivações? Porque do fracasso?

Einstein e Teorias Unificadas

- De 1925 à 1955 Einstein buscou uma teoria unificada sem sucesso.
- Quais eram suas motivações? Porque do fracasso?
- Einstein foi vítima de seu próprio sucesso: procurou estender a vitória obtida com a relatividade geral (RG) para toda a física.

Einstein e Teorias Unificadas

- De 1925 à 1955 Einstein buscou uma teoria unificada sem sucesso.
- Quais eram suas motivações? Porque do fracasso?
- Einstein foi vítima de seu próprio sucesso: procurou estender a vitória obtida com a relatividade geral (RG) para toda a física.
- É necessário compreender como obteve a RG.

Relatividade Geral

- Gravitação Newtoniana tem ação instantânea.
- Relatividade restrita não permite ação instantânea.

Relatividade Geral

- Gravitação Newtoniana tem ação instantânea.
- Relatividade restrita não permite ação instantânea.
- Compatibilização => **RELATIVIDADE GERAL**
- Teoria da gravitação compatível com a relatividade restrita.

Relatividade Geral

- Gravitação Newtoniana tem ação instantânea.
- Relatividade restrita não permite ação instantânea.
- Compatibilização => **RELATIVIDADE GERAL**
- Teoria da gravitação compatível com a relatividade restrita.
- Não havia motivação experimental. Einstein resolveu um problema de **CONSISTÊNCIA** entre a relatividade restrita e a gravitação.

Relatividade Geral

- Gravitação Newtoniana tem ação instantânea.
- Relatividade restrita não permite ação instantânea.
- Compatibilização => **RELATIVIDADE GERAL**
- Teoria da gravitação compatível com a relatividade restrita.
- Não havia motivação experimental. Einstein resolveu um problema de **CONSISTÊNCIA** entre a relatividade restrita e a gravitação.
- Esse foi o método aplicado para a busca das teorias unificadas.

Teorias unificadas de Einstein

- Na década de 20 as partículas conhecidas: fótons, elétrons e prótons. Os neutrons não haviam sido descobertos.
- Interações conhecidas: gravitação e eletromagnetismo.

Teorias unificadas de Einstein

- Na década de 20 as partículas conhecidas: fótons, elétrons e prótons. Os neutrons não haviam sido descobertos.
- Interações conhecidas: gravitação e eletromagnetismo.
- Teriam uma origem comum? Proposta: unificar a gravitação com o eletromagnetismo.
- A teoria unificada deve reproduzir as equações da relatividade geral e do eletromagnetismo.

Teorias unificadas de Einstein

- Na década de 20 as partículas conhecidas: fótons, elétrons e prótons. Os neutrons não haviam sido descobertos.
- Interações conhecidas: gravitação e eletromagnetismo.
- Teriam uma origem comum? Proposta: unificar a gravitação com o eletromagnetismo.
- A teoria unificada deve reproduzir as equações da relatividade geral e do eletromagnetismo.
- Como consequência esperava obter a mecânica quântica à partir da teoria unificada.

Teorias unificadas de Einstein

- Na década de 20 as partículas conhecidas: fótons, elétrons e prótons. Os neutrons não haviam sido descobertos.
- Interações conhecidas: gravitação e eletromagnetismo.
- Teriam uma origem comum? Proposta: unificar a gravitação com o eletromagnetismo.
- A teoria unificada deve reproduzir as equações da relatividade geral e do eletromagnetismo.
- Como consequência esperava obter a mecânica quântica à partir da teoria unificada.
- “Não creio que a mecânica quântica seja o ponto de partida para a procura desta base (teoria unificada), tal como não se pode chegar aos fundamentos da mecânica a partir da termodinâmica ou da mecânica estatística” (J.Franklin Inst., 221, 313 (1936))

Teorias unificadas de Einstein

- “Todas tentativas de se obter um conhecimento mais profundo dos fundamentos da física parecem condenados a menos que os conceitos básicos estejam de acordo com a relatividade geral desde a partida” (Sci. Am., Abril 1950, p.13)
- Razão do fracasso: hoje sabemos que a mecânica quântica é fundamental e existem outras forças fundamentais a serem levadas em conta: forças forte e fraca que são de natureza quântica.

Teorias unificadas de Einstein

- “Todas tentativas de se obter um conhecimento mais profundo dos fundamentos da física parecem condenados a menos que os conceitos básicos estejam de acordo com a relatividade geral desde a partida” (Sci. Am., Abril 1950, p.13)
- Razão do fracasso: hoje sabemos que a mecânica quântica é fundamental e existem outras forças fundamentais a serem levadas em conta: forças forte e fraca que são de natureza quântica.
- Apesar do fracasso, Einstein deixou um novo legado: a busca das teorias unificadas à partir da consistência de princípios fundamentais.

O que é unificar?

- Reduccionismo na ciência: explicar o maior número possível de fenômenos com o menor número possível de hipóteses.

O que é unificar?

- Reduccionismo na ciência: explicar o maior número possível de fenômenos com o menor número possível de hipóteses.
- Escolásticos: movimento nos céus é diferente do movimento na Terra.

O que é unificar?

- Reduccionismo na ciência: explicar o maior número possível de fenômenos com o menor número possível de hipóteses.
- Escolásticos: movimento nos céus é diferente do movimento na Terra.
- Kepler, Galileo e Newton: unificaram o movimento dos corpos celestes e terrestres.

O que é unificar?

- Reduccionismo na ciência: explicar o maior número possível de fenômenos com o menor número possível de hipóteses.
- Escolásticos: movimento nos céus é diferente do movimento na Terra.
- Kepler, Galileo e Newton: unificaram o movimento dos corpos celestes e terrestres.
- Fenômenos elétricos e magnéticos têm naturezas diferentes.

O que é unificar?

- Reduccionismo na ciência: explicar o maior número possível de fenômenos com o menor número possível de hipóteses.
- Escolásticos: movimento nos céus é diferente do movimento na Terra.
- Kepler, Galileo e Newton: unificaram o movimento dos corpos celestes e terrestres.
- Fenômenos elétricos e magnéticos têm naturezas diferentes.
- Faraday e Maxwell: unificaram o campo elétrico e magnético.

Notação Covariante

● Relatividade Restrita

$$x^0 = ct, \quad x^1 = x, \quad x^2 = y, \quad x^3 = z$$

$$x^\mu = (x^0, x^1, x^2, x^3), \quad \mu = 0, 1, 2, 3$$

Notação Covariante

● Relatividade Restrita

$$x^0 = ct, \quad x^1 = x, \quad x^2 = y, \quad x^3 = z$$

$$x^\mu = (x^0, x^1, x^2, x^3), \quad \mu = 0, 1, 2, 3$$

● Eletromagnetismo: campo eletromagnético $F_{\mu\nu}$ (antisimétrico)

$$F_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & E^1 & E^2 & E^3 \\ -E^1 & 0 & B^3 & -B^2 \\ -E^2 & -B^3 & 0 & B^1 \\ -E^3 & B^2 & -B^1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$F_{0i} = E^i, \quad F_{ij} = B^k, \quad i, j, k = 1, 2, 3$$

Notação Covariante

- Relatividade Restrita

$$x^0 = ct, \quad x^1 = x, \quad x^2 = y, \quad x^3 = z$$

$$x^\mu = (x^0, x^1, x^2, x^3), \quad \mu = 0, 1, 2, 3$$

- Eletromagnetismo: campo eletromagnético $F_{\mu\nu}$ (antisimétrico)

$$F_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & E^1 & E^2 & E^3 \\ -E^1 & 0 & B^3 & -B^2 \\ -E^2 & -B^3 & 0 & B^1 \\ -E^3 & B^2 & -B^1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$F_{0i} = E^i, \quad F_{ij} = B^k, \quad i, j, k = 1, 2, 3$$

- Potencial escalar ϕ e potencial vetor \vec{A}

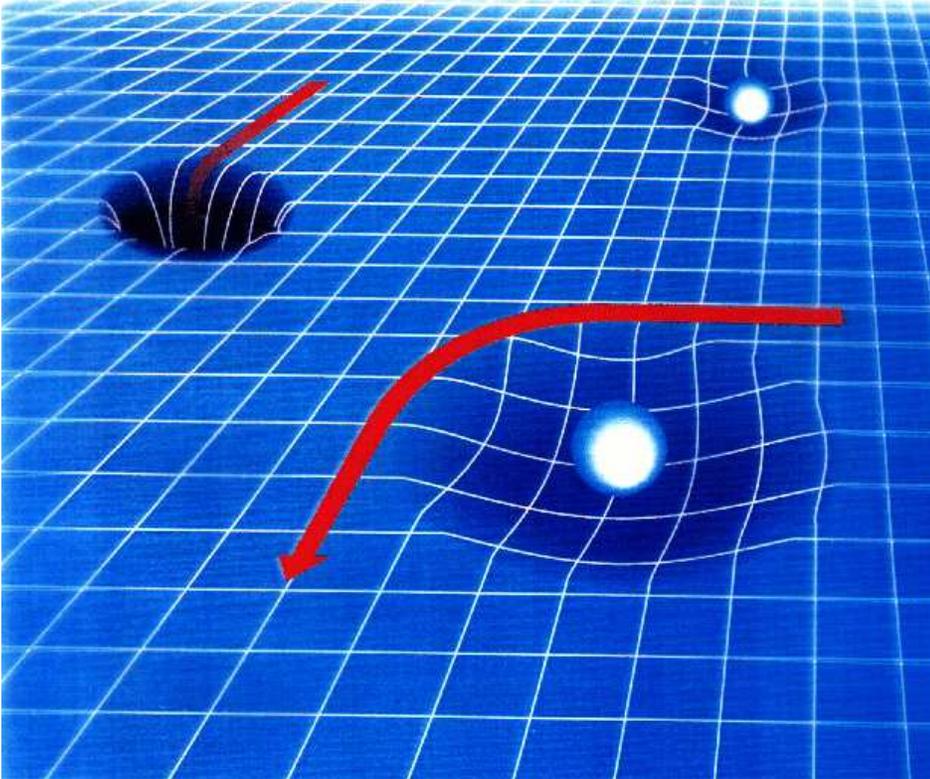
- Potencial eletromagnético $A_\mu = (\phi, \vec{A})$ é um quadri-vetor

Relatividade Geral

Relatividade geral = teoria da gravitação relativística

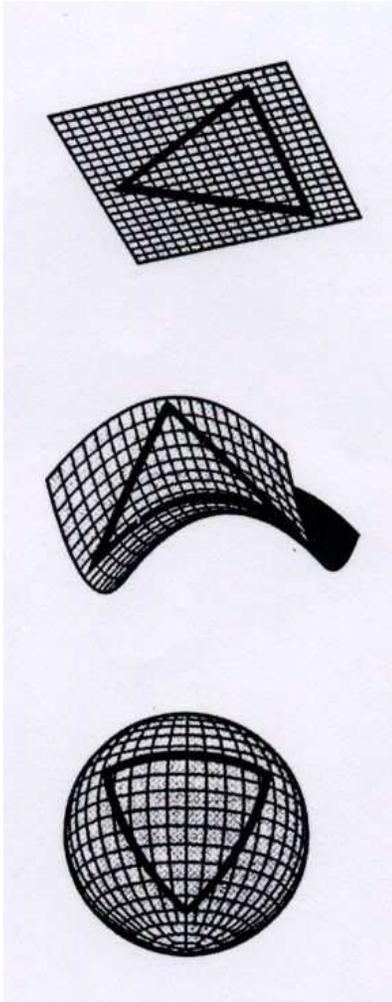
Relatividade Geral

Relatividade geral = teoria da gravitação relativística



- Nenhuma força gravitacional.
- Gravitação devido à curvatura do espaço.
- Matéria causa a curvatura do espaço.
- A curvatura determina o movimento da matéria.
- Objeto fundamental: *métrica* $g_{\mu\nu}$
- Determina todas as propriedades locais do espaço curvo.

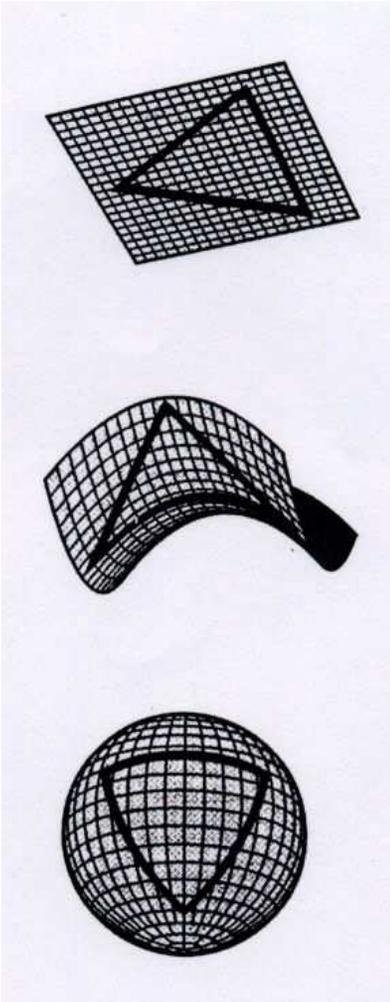
Espaços Curvos



Espaços Curvos

- Plano: comprimento infinitesimal

$$ds^2 = dx^2 + dy^2$$



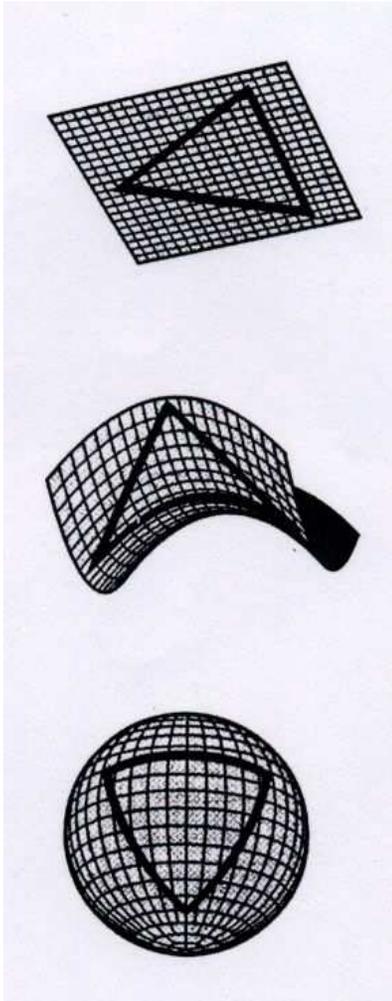
Espaços Curvos

- Plano: comprimento infinitesimal

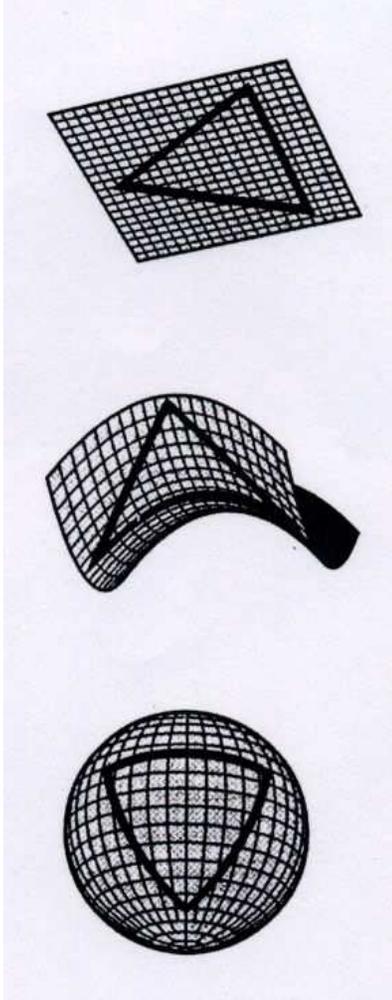
$$ds^2 = dx^2 + dy^2$$

- Esfera: comprimento infinitesimal

$$ds^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2$$



Espaços Curvos



- Plano: comprimento infinitesimal

$$ds^2 = dx^2 + dy^2$$

- Esfera: comprimento infinitesimal

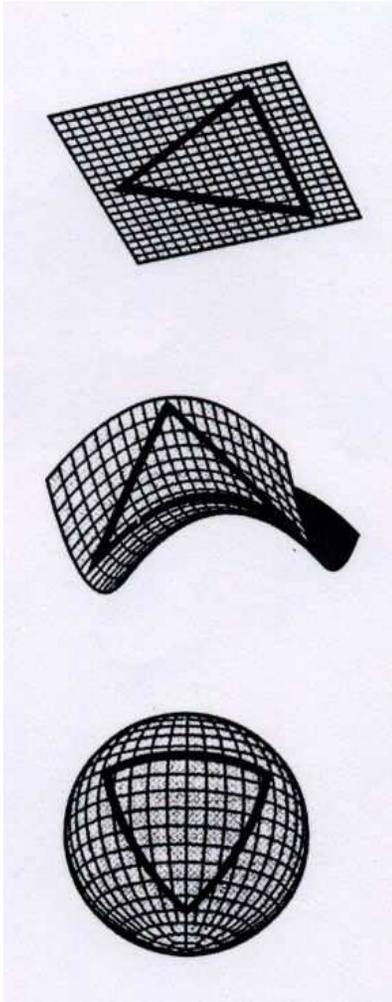
$$ds^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2$$

- Superfície curva geral:

$$ds^2 = \sum_{i,j=1}^2 g_{ij} dx^i dx^j$$

- g_{ij} é a métrica do espaço curvo

Espaços Curvos



- Plano: comprimento infinitesimal

$$ds^2 = dx^2 + dy^2$$

- Esfera: comprimento infinitesimal

$$ds^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2$$

- Superfície curva geral:

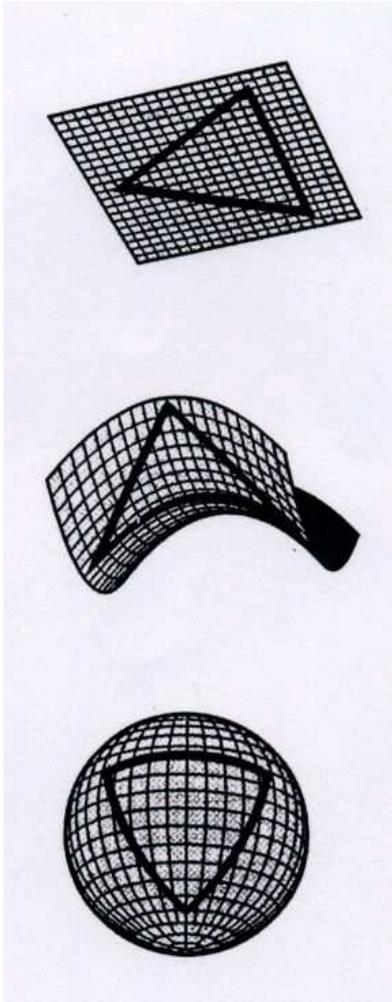
$$ds^2 = \sum_{i,j=1}^2 g_{ij} dx^i dx^j$$

- g_{ij} é a métrica do espaço curvo

- Relatividade restrita:

$$ds^2 = -(dx^0)^2 + (dx^1)^2 + (dx^2)^2 + (dx^3)^2$$

Espaços Curvos



- Plano: comprimento infinitesimal

$$ds^2 = dx^2 + dy^2$$

- Esfera: comprimento infinitesimal

$$ds^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2$$

- Superfície curva geral:

$$ds^2 = \sum_{i,j=1}^2 g_{ij} dx^i dx^j$$

- g_{ij} é a métrica do espaço curvo

- Relatividade restrita:

$$ds^2 = -(dx^0)^2 + (dx^1)^2 + (dx^2)^2 + (dx^3)^2$$

- Relatividade geral:

$$ds^2 = \sum_{\mu,\nu=0}^3 g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$$

- $g_{\mu\nu}$ é a métrica do **ESPAÇO-TEMPO**

- Eqs. de Einstein: $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = T_{\mu\nu}$

Teorias Unificadas de Einstein

Teoria de Kaluza-Klein em 5 dimensões em 1921 !!!

$$ds^2 = \sum_{A,B=0}^4 G_{AB} dx^A dx^B, \quad A, B = 0, 1, 2, 3, 4$$

- Assuma que G_{AB} não dependa de x^4 e $G_{44} = 1$.

Teorias Unificadas de Einstein

Teoria de Kaluza-Klein em 5 dimensões em 1921 !!!

$$ds^2 = \sum_{A,B=0}^4 G_{AB} dx^A dx^B, \quad A, B = 0, 1, 2, 3, 4$$

- Assuma que G_{AB} não dependa de x^4 e $G_{44} = 1$.

$$G_{AB} = \begin{pmatrix} G_{\mu\nu} & G_{\mu,4} \\ G_{4,\nu} & G_{4,4} \end{pmatrix}$$

- $G_{\mu\nu} = g_{\mu\nu}$ é a métrica em 4 dimensões
- $G_{\mu,4} = A_\mu$ é o potencial eletromagnético em 4 dimensões

Teorias Unificadas de Einstein

Teoria de Kaluza-Klein em 5 dimensões em 1921 !!!

$$ds^2 = \sum_{A,B=0}^4 G_{AB} dx^A dx^B, \quad A, B = 0, 1, 2, 3, 4$$

- Assuma que G_{AB} não dependa de x^4 e $G_{44} = 1$.

$$G_{AB} = \begin{pmatrix} G_{\mu\nu} & G_{\mu,4} \\ G_{4,\nu} & G_{4,4} \end{pmatrix}$$

- $G_{\mu\nu} = g_{\mu\nu}$ é a métrica em 4 dimensões
- $G_{\mu,4} = A_\mu$ é o potencial eletromagnético em 4 dimensões
- Eqs. de Einstein para G_{AB} em 5D => Eqs. Einstein mais Eqs. Maxwell em 4D !!!

Teorias Unificadas de Einstein

- Einstein achava que se $G_{44} \neq 1$ poderia haver alguma conexão com a Eq. de Schrödinger.
- Se G_{AB} depende de x^4 , e x^4 forma um círculo, então há uma infinidade de campos em 4D $\phi(x^\mu, x^4) = \sum_n \exp(ip_4 x^4) \phi_n(x^\mu)$.
Momento $p_4 = n/R$ é quantizado.

Teorias Unificadas de Einstein

- Einstein achava que se $G_{44} \neq 1$ poderia haver alguma conexão com a Eq. de Schrödinger.
- Se G_{AB} depende de x^4 , e x^4 forma um círculo, então há uma infinidade de campos em 4D $\phi(x^\mu, x^4) = \sum_n \exp(ip_4 x^4) \phi_n(x^\mu)$.
Momento $p_4 = n/R$ é quantizado.
- Se a carga é identificada com a carga elétrica então a massa obtida é 10^{18} vezes maior que a massa do elétron.

Teorias Unificadas de Einstein

- Einstein achava que se $G_{44} \neq 1$ poderia haver alguma conexão com a Eq. de Schrödinger.
- Se G_{AB} depende de x^4 , e x^4 forma um círculo, então há uma infinidade de campos em 4D $\phi(x^\mu, x^4) = \sum_n \exp(ip_4 x^4) \phi_n(x^\mu)$.
Momento $p_4 = n/R$ é quantizado.
- Se a carga é identificada com a carga elétrica então a massa obtida é 10^{18} vezes maior que a massa do elétron.
- Pode-se considerar mais de 1 dimensão extra. Se tivermos n dimensões extras então teremos n campos do tipo eletromagnético $G_{\mu,n} = A_\mu^n$ que são campos não-Abelianos.
- Einstein poderia ter descoberto as teorias não-Abelianas!!!
- Einstein trabalhou em outras propostas de unificação sem sucesso.
Métrica não simétrica $G_{\mu\nu} = g_{\mu\nu} + F_{\mu\nu}$

Teorias Unificadas

- Vários físicos trabalharam nas teorias unificadas: Schöedinger, Weyl, Pauli ...

Teorias Unificadas

- Vários físicos trabalharam nas teorias unificadas: Schöedinger, Weyl, Pauli ...
- Teoria de Weyl de 1918
- Há uma classe de teorias que necessitam além da métrica $g_{\mu\nu}$, um quadri-vetor A_μ .
- Quando se reescala a métrica, o quadri-vetor tem que ser recalibrado :

$$g'_{\mu\nu} = e^\Lambda g_{\mu\nu} \quad A'_\mu = A_\mu - \frac{\partial \Lambda}{\partial x^\mu}$$

- É natural identificar A_μ com o potencial eletromagnético.

Teorias Unificadas

- Vários físicos trabalharam nas teorias unificadas: Schöedinger, Weyl, Pauli ...
- Teoria de Weyl de 1918
- Há uma classe de teorias que necessitam além da métrica $g_{\mu\nu}$, um quadri-vetor A_μ .
- Quando se reescala a métrica, o quadri-vetor tem que ser recalibrado :

$$g'_{\mu\nu} = e^\Lambda g_{\mu\nu} \quad A'_\mu = A_\mu - \frac{\partial \Lambda}{\partial x^\mu}$$

- É natural identificar A_μ com o potencial eletromagnético.
 - Weyl cunhou o nome transformações de calibre (ou de gauge).
 - Em 1920 deu a interpretação moderna de transformação de fase na função de onda.
-

Teorias Unificadas Modernas

- Apesar do insucesso de Einstein muita coisa ficou.

Teorias Unificadas Modernas

- Apesar do insucesso de Einstein muita coisa ficou.
- É necessário considerar a mecânica quântica.

Teorias Unificadas Modernas

- Apesar do insucesso de Einstein muita coisa ficou.
- É necessário considerar a mecânica quântica.
- Década de 60: eletromagnetismo e forças fracas foram unificadas na teoria eletro-fracas

Teorias Unificadas Modernas

- Apesar do insucesso de Einstein muita coisa ficou.
- É necessário considerar a mecânica quântica.
- Década de 60: eletromagnetismo e forças fracas foram unificadas na teoria eletro-fracas
- Situação atual: teorias de calibre (gauge) não-Abelianas

BOSONS			force carriers spin = 0, 1, 2, ...		
Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0	g gluon	0	0
W^-	80.4	-1			
W^+	80.4	+1			
Z^0	91.187	0			

Teorias Unificadas Modernas

- Apesar do insucesso de Einstein muita coisa ficou.
- É necessário considerar a mecânica quântica.
- Década de 60: eletromagnetismo e forças fracas foram unificadas na teoria eletro-fracas
- Situação atual: teorias de calibre (gauge) não-Abelianas

BOSONS			force carriers spin = 0, 1, 2, ...		
Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0	g gluon	0	0
W^-	80.4	-1			
W^+	80.4	+1			
Z^0	91.187	0			

- Força forte não está unificada com a eletro-fracas!

Propostas de teorias unificadas

- Forças eletro-fraca e forte -> Teorias de grande unificação (GUT).

Propostas de teorias unificadas

- Forças eletro-fraca e forte -> Teorias de grande unificação (GUT).
- As GUT's mais simples preveem o decaimento do próton, o que não é observado.

Propostas de teorias unificadas

- Forças eletro-fracas e forte -> Teorias de grande unificação (GUT).
- As GUT's mais simples preveem o decaimento do próton, o que não é observado.
- Também falta incorporar a matéria:

FERMIONS			matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...		
Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	u up	0.003	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0	C charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	S strange	0.1	-1/3
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3

Propostas de teorias unificadas

- Forças eletro-fracas e forte -> Teorias de grande unificação (GUT).
- As GUT's mais simples preveem o decaimento do próton, o que não é observado.
- Também falta incorporar a matéria:

FERMIONS			matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...		
Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	u up	0.003	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0	C charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	S strange	0.1	-1/3
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3

- Simetria entre bósons e férmions: SUPERSIMETRIA

Propostas de teorias unificadas

- Forças eletro-fracas e forte -> Teorias de grande unificação (GUT).
- As GUT's mais simples preveem o decaimento do próton, o que não é observado.
- Também falta incorporar a matéria:

FERMIONS			matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...		
Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	u up	0.003	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0	C charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	S strange	0.1	-1/3
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3

- Simetria entre bósons e férmions: SUPERSIMETRIA
- Prevê que a cada partícula existe uma companheira supersimétrica, o que não é observado.

Gravitação Quântica

- E o sonho de Einstein de unificar a gravitação com as outras forças?

Gravitação Quântica

- E o sonho de Einstein de unificar a gravitação com as outras forças?
- Existe uma teoria quântica para o eletromagnetismo, força fraca e força forte.
- **NÃO** existe uma teoria quântica para a gravitação !!!

Gravitação Quântica

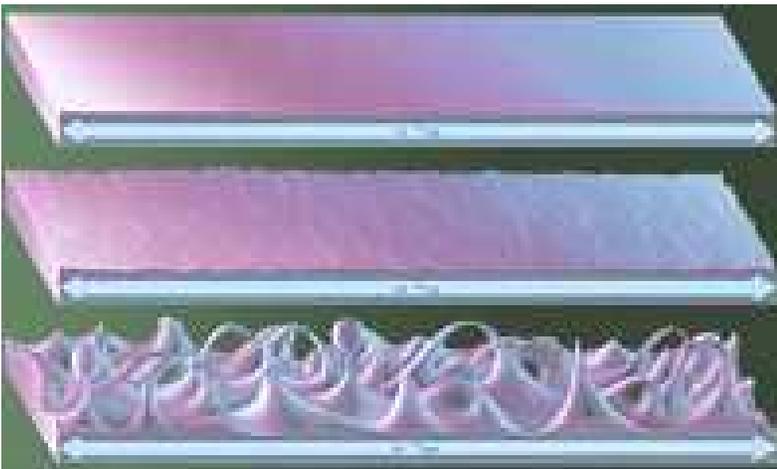
- E o sonho de Einstein de unificar a gravitação com as outras forças?
- Existe uma teoria quântica para o eletromagnetismo, força fraca e força forte.
- **NÃO existe uma teoria quântica para a gravitação !!!**
- A relatividade geral não pode ser quantizada!

Gravitação Quântica

- E o sonho de Einstein de unificar a gravitação com as outras forças?
- Existe uma teoria quântica para o eletromagnetismo, força fraca e força forte.
- **NÃO existe uma teoria quântica para a gravitação !!!**
- A relatividade geral não pode ser quantizada!
- Propostas para uma teoria quântica da gravitação:

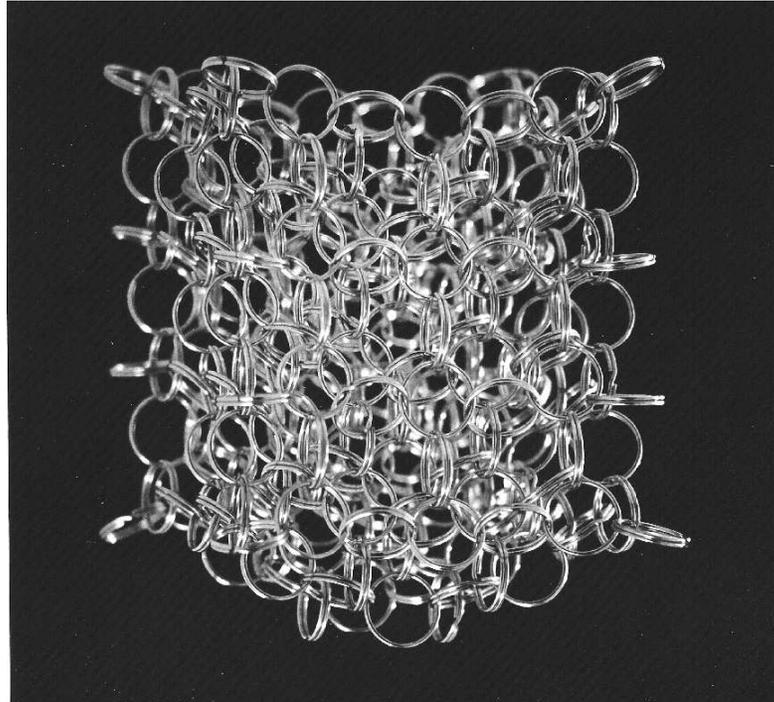
Gravitação Quântica

- E o sonho de Einstein de unificar a gravitação com as outras forças?
- Existe uma teoria quântica para o eletromagnetismo, força fraca e força forte.
- **NÃO existe uma teoria quântica para a gravitação !!!**
- A relatividade geral não pode ser quantizada!
- Propostas para uma teoria quântica da gravitação:



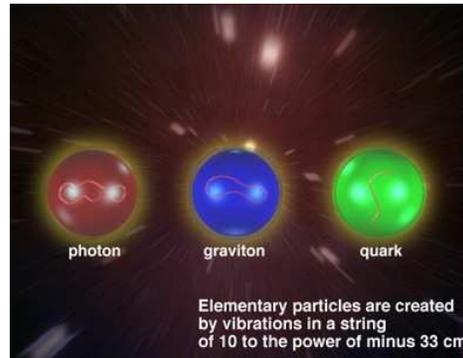
- Loop quantum gravity
- Teoria de supercordas

Loop Quantum Gravity



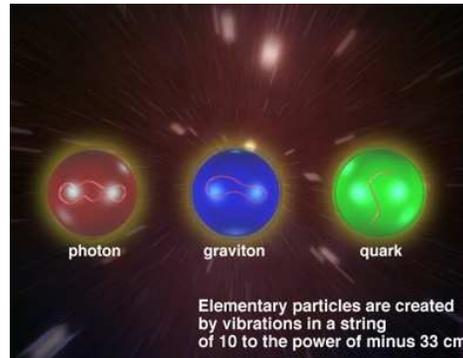
- Objetos fundamentais são laços (loops) numa teoria quântica.
- Levam à quantização da área.
- Não é claro como obter a relatividade geral.

Supercordas

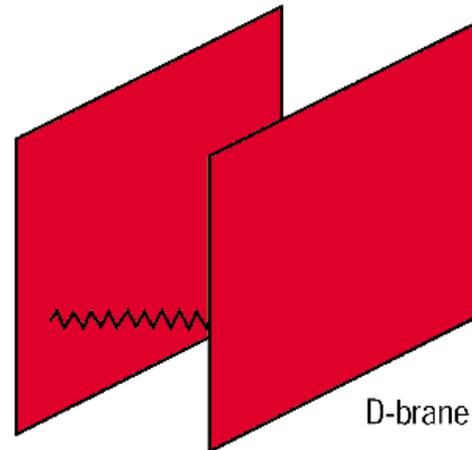


- As partículas do modelo padrão são modos de vibração das supercordas.

Supercordas



- As partículas do modelo padrão são modos de vibração das supercordas.



- Existem outros objetos extensos: membranas, p-branas ...

Supercordas

- Inclui a relatividade geral e o modelo padrão.

Supercordas

- Inclui a relatividade geral e o modelo padrão.
- Fornece uma teoria quântica perturbativa para a gravitação.

Supercordas

- Inclui a relatividade geral e o modelo padrão.
- Fornece uma teoria quântica perturbativa para a gravitação.
- Prevê que a dimensão do espaço-tempo é 10 !!!
- Kaluza-Klein revivido.

Supercordas

- Inclui a relatividade geral e o modelo padrão.
- Fornece uma teoria quântica perturbativa para a gravitação.
- Prevê que a dimensão do espaço-tempo é 10 !!!
- Kaluza-Klein revivido.
- Violação da lei da gravitação de Newton $F \sim 1/r^2$
- Num espaço-tempo em d dimensões $F \sim 1/r^{d-2}$.

Supercordas

- Inclui a relatividade geral e o modelo padrão.
- Fornece uma teoria quântica perturbativa para a gravitação.
- Prevê que a dimensão do espaço-tempo é 10 !!!
- Kaluza-Klein revivido.
- Violação da lei da gravitação de Newton $F \sim 1/r^2$
- Num espaço-tempo em d dimensões $F \sim 1/r^{d-2}$.
- Não se sabe o princípio geral que está por trás das supercordas!!!

Palavras de Einstein

“Creio que para fazermos progressos reais (na busca de uma teoria unificada) temos de arrancar novamente da natureza algum princípio geral.”

(carta à Weyl, 1922)

Referências

- A. Einstein, On the Generalized Theory of Gravitation, Scientific American, April 1950, p.13
- A. Pais, Sutil é o Senhor ... (Nova Fronteira, 1982)
- S. Weinberg, Sonhos de uma Teoria Final (Rocco, 1996)
- S. Weinberg, A Unified Physics by 2050?, Scientific American, December 1999, p.36
- <http://www.fma.if.usp.br/~rivelles>