

Em busca de uma teoria final

MAURÍCIO TUFFANI

Pesquisa pretende unificar as forças básicas da natureza

Um dos maiores desafios da Física moderna é desenvolver uma teoria que descreva de forma unificada todos os fenômenos do Universo. O grande obstáculo é a incompatibilidade entre duas das principais teorias físicas deste século, a relatividade geral e a mecânica quântica. Esse desafio é o tema da pesquisa de Victor de Oliveira Rivelles, profes-

sor do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (Ifusp) e dedicado ao problema desde os anos 80.

Cada uma dessas teorias desempenha perfeitamente seu papel quando é aplicada no contexto em que foi criada. Mas cada uma fracassa ao ser aplicada aos fenômenos descritos pela outra. Por que, então, modificá-las em vez de deixá-las como estão?

A idéia de unificação é a mola propulsora dos principais avanços da Física desde seus primórdios. Até o século 17, o movimento dos corpos terrestres e celestes era considerado distintamente. Os corpos terrestres tenderiam a parar depois de se movimentar por algum tempo, devido à sua natureza terrena. Já os corpos celestes, como o sol, a lua e os planetas, se moveriam eternamente – o que seria uma demonstração de seu caráter divino.

A mecânica clássica, formulada pelo físico inglês Isaac Newton (1642-1727), mostrou que os corpos terrestres e celestes obedecem às mesmas leis de movimento, ao dar uma descrição unificada para ambos. Suas idéias causaram uma mudança filosófica e religiosa profunda, pois mostraram, matematicamente, que o movimento dos corpos nos céus era puramente material.

Isaac Newton:
unificador
das leis do
movimento

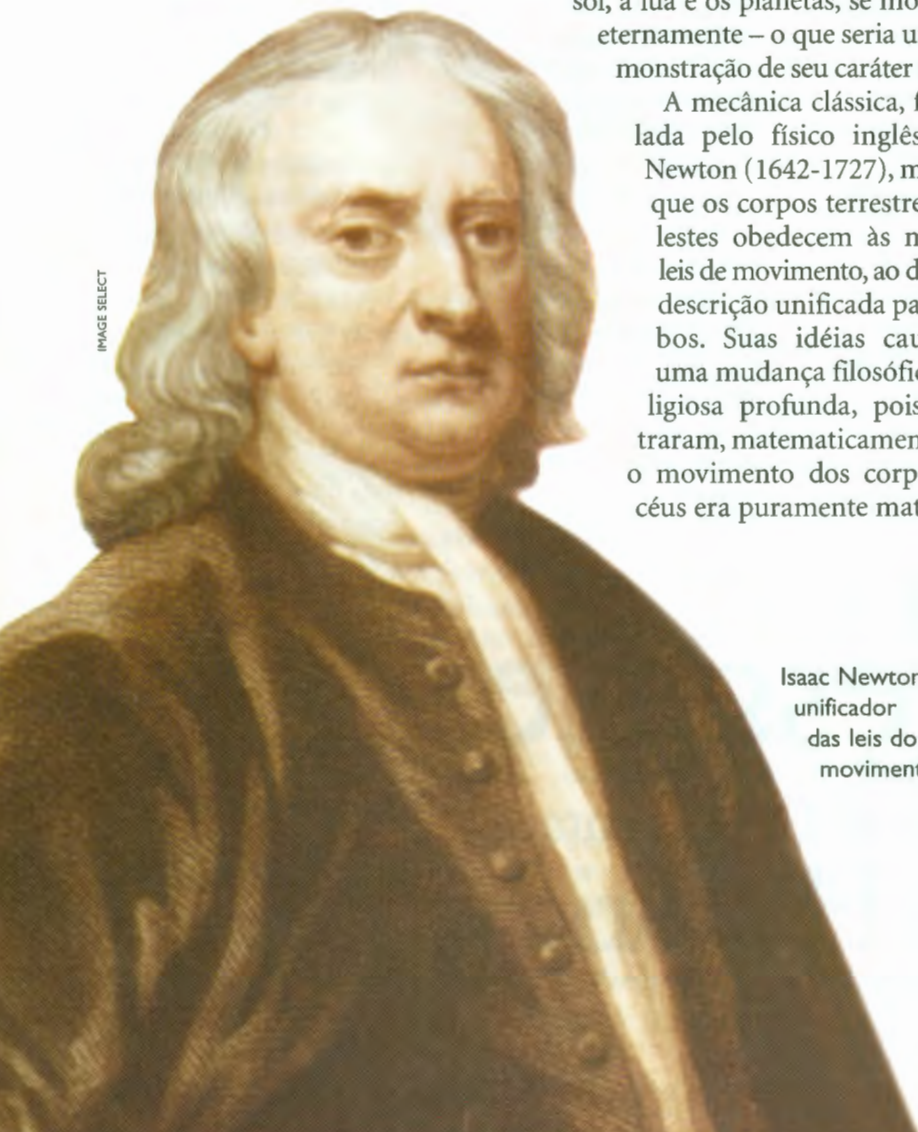
Ao sintetizar teorias que pareciam antagônicas, os cientistas conseguem descrever um número maior de fenômenos com menos hipóteses e também prever fenômenos futuros. Newton, por exemplo, baseado em sua teoria, previu a data exata do retorno do cometa Halley.

O físico alemão Albert Einstein (1879-1955), segundo seu biógrafo Abraham Pais (em *Einstein Viveu Aqui*, Nova Fronteira, 1997, Rio de Janeiro), disse que a teoria física tem dois anseios: “Englobar o máximo possível de fenômenos e suas conexões” e “alcançar isso com base no

Duas teorias incompatíveis

A mecânica quântica nasceu em 1900, com a teoria de Max Planck (1858-1947), segundo a qual a energia não se propaga num fluxo contínuo, mas por meio de pequenos pacotes de energia, os quanta. Isso permitiu dois avanços: a proposição de Albert Einstein, em 1905, de que a luz também se propagaria por meio de pacotes de energia e o modelo atômico do dinamarquês Niels Bohr (1892-1987).

Ainda em 1905, Einstein formulou a teoria da relatividade restrita, baseada na proposição de que nenhum corpo pode alcançar velocidade superior à da luz no vácuo (300 mil km/s). Depois, mostrou a equação $E=mc^2$ (energia é igual à massa multiplicada pelo quadrado da velocidade da luz). E, em 1915, lançou a teoria da relatividade geral, mostrando que a gravidade de um corpo deforma o espaço e o tempo a seu redor. Essa



menor número possível de conceitos independentes e relações arbitrariamente pressupostas”.

O objetivo fundamental da unificação de teorias físicas é, portanto, obter modelos mais eficazes para explicar e controlar a natureza. Foi o que Einstein obteve em 1915 ao formular a relatividade geral: uma teoria da gravitação mais abrangente que a de Newton.

No Departamento de Física Matemática do Instituto de Física da USP, Rivelles e mais oito físicos (pós-doutores e pós-graduandos) trabalham há três anos e meio no projeto *Gravitação Quântica*, com financiamento de R\$ 3,4 mil da FAPESP. Além da USP, há estudos nessa área nas universidades estaduais Paulista (Unesp) e do Rio de Janeiro (UERJ), nas federais do Rio de Janeiro (UFRJ) e do Rio

Grande do Sul (UFRGS) e no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF).

Eles não têm dúvidas: o resultado a ser obtido pode revolucionar a Física. Mas não é fácil chegar lá. Afinal, os dois extremos dessa conciliação são justamente os principais pilares da Física moderna.

Micro versus macro - A mecânica quântica pode parecer para o leigo um amontoado de conceitos que ferem o bom senso: aquilo que ora parece ser uma partícula, comporta-se como uma onda e vice-versa. Além desse aparente contra senso, há uma perda definitiva do que restava da Física clássica. Após séculos de tranqüilidade com as equações deterministas do movimento, os cientistas tiveram de encarar o terrível princípio da incerteza, formulado pelo físico alemão

Werner Heisenberg (1901-1976), para o qual é impossível determinar simultaneamente a posição e a velocidade de uma partícula. “Quando tentamos aplicar os conceitos da mecânica quântica à relatividade geral, somos conduzidos a resultados absurdos, que contradizem os próprios fundamentos dessas teorias”, diz Rivelles.

Deus joga dados? - Apesar de ter contribuído para o nascimento da mecânica quântica, Einstein jamais aceitou sua interpretação probabilística. Na Física clássica, toda quantidade física tem um valor determinado. No mundo quântico, passou a vigorar a probabilidade. “Deus não joga dados com o Universo”, disse Einstein. O físico britânico Stephen Hawking (1942-), que ocupa o mesmo posto de Newton na Universidade de Cambridge, rebate Einstein: “Deus joga dados, sim!”.

Instaurou-se assim o conflito entre mecânica quântica e relatividade

tese foi comprovada alguns anos depois num eclipse solar em Sobral, no Ceará: comparando-se posições de estrelas ao redor do sol antes e durante o eclipse, constatou-se que, vistas daqui, elas pareciam estar mais próximas devido à passagem dos raios de luz delas perto do campo gravitacional do sol.

A relatividade geral inspirou outras teorias, como a da expansão do Universo, pelo norte-americano Edwin Hubble (1889-1953), em 1929, e a da formação dos buracos negros pelo indiano-norte-americano Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995), em 1931. Em 1997, Wei Cui, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, e colaboradores da Nasa, a agência espacial dos Estados Unidos, anunciaram a descoberta de buracos negros arrastando o espaço-tempo ao seu redor, o que comprovava previsões feitas a partir da relatividade geral 80 anos antes, quando ainda não havia incompatibilidade com a teoria quântica. Em 1924, o francês Louis-Victor de Broglie (1892-1987) propôs a dualidade onda-partícula, o que lhe va-

leu o Prêmio Nobel de Física cinco anos depois: mostrou que o elétron pode apresentar comportamento de onda e também de partícula.

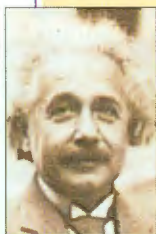
Três anos depois foi a vez de Werner Heisenberg, com o princípio da incerteza. Contrariando toda a tradição da mecânica clássica, em que a posição e a velocidade de um corpo sempre poderiam ser determinadas precisamente, Heisenberg mostrou que no domínio quântico é impossível determinar ambas com precisão simultaneamente. Einstein jamais aceitou essa formulação.

Einstein: rejeição permanente ao princípio da incerteza



Os vários conceitos para explicar a natureza

MANNI MASON'S PICTURES



1915

A relatividade geral

Albert Einstein demonstra que a gravidade dos corpos deforma o espaço e o tempo ao seu redor e que a teoria da gravitação de Isaac Newton não explica completamente fenômenos envolvendo campos gravitacionais muito fortes.

NOBEL FOUNDATION



1924

A dualidade

O físico francês Louis-Victor de Broglie (1892-1987) mostra que o elétron pode apresentar características tanto de um corpúsculo quanto de uma onda. Foi um avanço essencial

para a formulação da mecânica quântica.

AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS

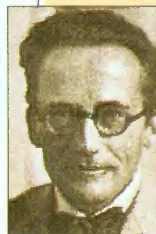


1927

A incerteza

Werner Heisenberg propõe seu princípio da incerteza, mostrando ser impossível medir com precisão, simultaneamente, a posição e a velocidade de uma partícula.

UNIVERSITY OF KENTUCKY



1928

A mecânica quântica

Um grupo de físicos – entre eles o austríaco Erwin Schrodinger (1887-1961), ao lado, e o alemão Max Born (1882-1970, Nobel de Física de 1954) – finaliza os métodos matemáticos de

interpretação da mecânica quântica, enunciada em 1900 por Max Planck.

IFURG



1970

O nascimento da teoria de cordas

Os físicos chegam ao consenso de que a relatividade geral não é compatível com a mecânica quântica. O físico japonês Yoichiro Nambu, hoje no Enrico

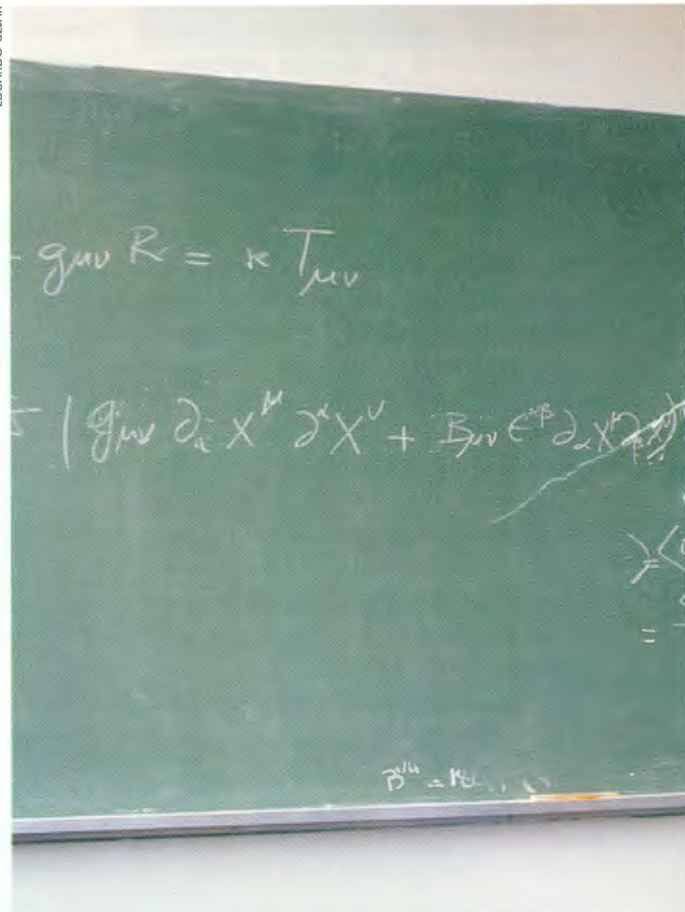
Fermi Institute, da Universidade de Chicago, propõe a teoria de cordas dentro do contexto das partículas elementares. Ainda não se suspeitava que as cordas descrevessem a gravitação.

geral. Muitos físicos seguiram os passos de Einstein e propuseram mudanças na mecânica quântica. O próprio Hawking deu os primeiros passos nessa direção. O holandês Gerard't Hooft (1946-) – prêmio Nobel de Física de 1999 por seu trabalho sobre a unificação das forças fraca e eletromagnética – e o norte-americano Leonard Susskind (1940-) – cujo aniversário foi comemorado no final de maio na Universidade de Stanford, nos Estados Unidos, onde leciona, com um seminário sobre gravitação quântica – propõem a manutenção da mecânica quântica e modificações na relatividade geral. As primeiras evidências de que a relatividade geral deveria mesmo ser modificada vieram com a proposta das supercordas, em meados de 80.

A motivação para as supercordas baseia-se na constatação de que o conceito de uma partícula idealizada como um ponto material é inadequado para formular a quantização da relatividade geral. “As teorias de cordas são radicalmente diferentes das teorias usuais. Os objetos fundamentais não são mais partículas pontuais, mas sim objetos estendidos, unidimensionais, que são as chamadas cordas”, diz Rivelles. “Por terem tamanho muito pequeno, elas parecem comportar-se como partículas.” A teoria de cordas é objeto de estudo, em São Paulo, dos pesquisadores Nathan Berkovits, do Instituto de Física Teórica da Unesp, e Élcio Abdalla, do Instituto de Física da USP.

As teorias de cordas, no entanto, precisam ser formuladas de modo a descrever todos os tipos de partículas elementares conhecidos. Uma das teorias de cordas considera a existência de uma partícula com todas as propriedades do gráviton e que, embora

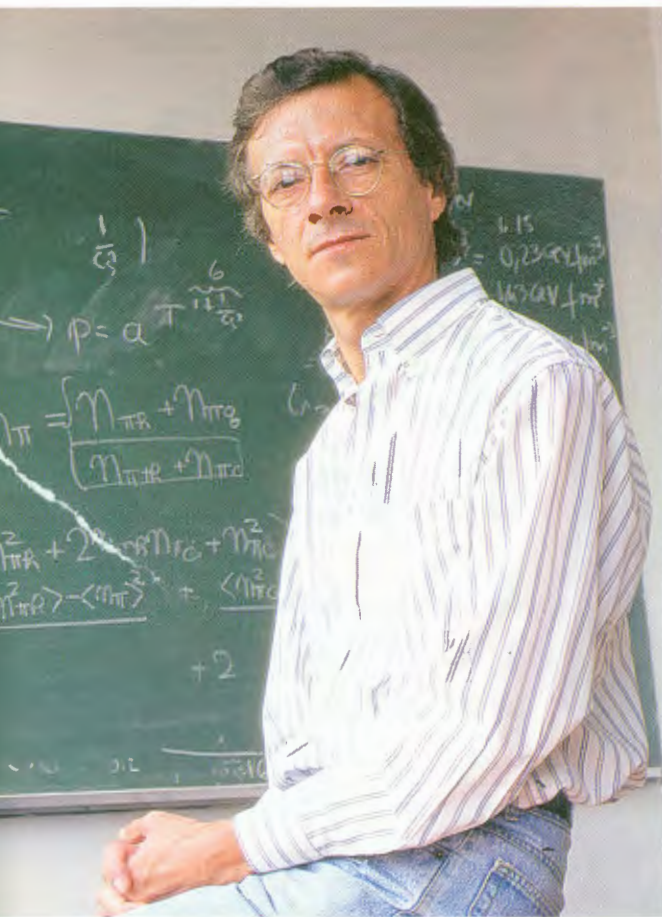
EDUARDO CESAR



ainda não comprovada experimentalmente, seria capaz de conduzir a força da gravidade. É um resultado que Rivelles considera surpreendente. Outra partícula prevista pela teoria de cordas tem a propriedade de mover-se com velocidade superior à da luz. A existência dessa partícula, o táquion, é proibida pela relatividade especial de Einstein.

É aí que entra o conceito de supersimetria, que resolve o problema ao eliminar essa partícula indesejada. A supersimetria – tema que Rivelles abordou em sua tese de doutoramento de 1982 no King's College de Londres, Reino Unido – é um artifício teórico que unifica todas as partículas e forças da natureza simplesmente por considerar em pé de igualdade dois tipos de partícula bastante distintos, os bósons e os férmions.

Com a aplicação da supersimetria, as teorias de cordas se transformam em teorias de supercordas, unificando de forma adequada todos os tipos de partículas fundamentais.



Rivelles: persistente na busca da teoria geral das forças do Universo

las e, portanto, de forças ainda não detectadas. À medida que a teoria de supercordas se for consolidando, poderá até resolver questões que intrigam físicos e filósofos, tais como: por que o Universo existe em quatro dimensões (as três dimensões espaciais de comprimento, largura e altura, mais a dimensão temporal) e não em mais ou em menos dimensões? Por que a matéria só aparece na forma de quarks e léptons?

Rivelles não desanima ao lembrar que só se conhecem alguns pedaços da teoria de supercordas. As dúvidas se acumulam, mas essa teoria, que deve

Uma das surpresas da teoria das supercordas, segundo Rivelles, é que ela pressupõe um espaço de dez dimensões, sendo nove de espaço e uma de tempo. A explicação para o fato de nosso espaço-tempo só revelar quatro dimensões é que no início da formação do Universo, logo após o Big Bang, seis dessas dimensões se tornaram extremamente pequenas.

Nessa área, a comprovação prática é considerada praticamente impossível, por lidar com distâncias ínfimas, bilhões de bilhões de vezes menores que as distâncias investigadas nos mais modernos aceleradores de partículas em uso (nos quais se chega à distância de um bilionésimo de um bilionésimo de centímetro). É uma situação análoga à do Big Bang, a explosão que teria originado o Universo e igualmente não é passível de comprovação.

A teoria de supercordas, segundo Rivelles, poderá prever relações desconhecidas entre as partículas ou mesmo a existência de novas partícu-

descrever todas as forças do Universo, ainda está na infância e sua formulação completa levará muito tempo, lembra o pesquisador. O próprio Einstein levou dez anos para formular a teoria da relatividade geral, que descreve apenas a gravitação. O físico norte-americano Edward Witten comentou há anos – e seus colegas do mundo todo concordam – que a teoria de supercordas é uma teoria do século 21 que, por acidente, foi descoberta no final do século 20.

PERFIL:

- VICTOR DE OLIVEIRA RIVELLES, 48 anos, graduado em 1974 pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP), com mestrado em 1977 na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), doutorado em 1982 no King's College de Londres, é professor do Instituto de Física desde 1987.

Projeto: *Gravitação Quântica*
Investimento: R\$ 3.452,00

1973

Supersimetria

O alemão Julius Wess, da Universidade de Munique (na foto), e o italiano Bruno Zumino, da Universidade da Califórnia, aplicam o conceito de supersimetria à teoria das partículas elementares. Embora a supersimetria tenha sido introduzida na teoria de cordas em 1971, era pouco conhecida pelos físicos.



KIRK T. McDONALD/PRINCETON

1974

Cordas e gravitação

O inglês John Schwarz (na foto), atualmente no California Institute of Technology (Caltech), e o norte-americano Joel Scherk (falecido no início dos anos 80) descobrem que a teoria de cordas inclui a relatividade geral. As teorias de cordas, ainda nos seus primórdios, mostram-se inconsistentes e são deixadas de lado. Poucos físicos continuam a estudá-las.



KIRK T. McDONALD/PRINCETON

1984

A primeira revolução: supercordas

As inconsistências da teoria de supercordas são superadas pelos ingleses Michael Green, da Universidade de Cambridge, e J. Schwarz. São encontradas cinco teorias de supercordas. Essa é a chamada primeira revolução das supercordas.



CLIFFORD V. JOHNSON

1995

A segunda revolução: Teoria M

O físico norte-americano Edward Witten, do Caltech, propõe que as teorias de supercordas formam uma pequena parte de uma teoria mais geral, a teoria M, que inclui cordas, membranas e teorias de gravitação supersimétricas. As membranas são uma das extensões mais simples do conceito de cordas, o equivalente à superfície de uma bolha de sabão.



KIRK T. McDONALD/PRINCETON