



**A**prendemos na escola a lidar com a mecânica, o eletromagnetismo e a óptica, ramos da física que fazem parte de nosso dia-a-dia, mas que foram desenvolvidos há mais de cem anos. Vez por outra, a imprensa noticia avanços tecnológicos e novas descobertas, e uma pergunta fica no ar: quais são as fronteiras da física hoje.

É com prazer que apresentamos neste folder alguns dos principais desafios que a física deverá enfrentar neste século que se inicia. A busca de resposta para essas questões deverá ser um trabalho não só de físicos, mas de uma parcela significativa da comunidade internacional de pesquisadores, dado o caráter cada vez mais interdisciplinar da atividade científica. O Brasil, incluindo o próprio CBPF, já desenvolve linhas de pesquisa na maioria desses tópicos.

A lista de temas abordados não se pretende exaustiva. A pesquisa atual em física vai muito além das questões que apresentamos aqui – daí a dificuldade em selecioná-las entre tantas outras perguntas interessantes ainda sem resposta.

Com este folder, damos prosseguimento às atividades de divulgação científica realizadas pelo CBPF. Esperamos que ele sirva para despertar vocações, mostrando a jovens estudantes que a carreira científica é uma profissão promissora e instigante e que muitos desafios permanecem sem solução à espera de novos cientistas dispostos a enfrentá-los.

Finalmente, para o leitor que quiser obter mais informações sobre as atividades de pesquisa desenvolvidas no CBPF, convidamos à leitura de nossa publicação de divulgação científica *CBPF – Na Vanguarda da Pesquisa*.

João dos Anjos

COORDENADOR DO PROJETO DESAFIOS DA FÍSICA

PRESIDENTE DA REPÚBLICA  
Luiz Inácio Lula da Silva

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
Sergio Machado Rezende

SUBSECRETÁRIO DE COORDENAÇÃO DAS UNIDADES DE PESQUISA  
Avílio Antônio Franco

DIRETOR DO CBPF  
Ricardo Magnus Osório Galvão

EDITORES CIENTÍFICOS  
João dos Anjos  
Ronald Cintra Shellard

REDAÇÃO E EDIÇÃO  
Cássio Leite Vieira

PROJETO GRÁFICO  
Ampersand Comunicação Gráfica  
(www.amperdesign.com.br)

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS  
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150  
22290-180 – Rio de Janeiro – RJ  
Tel: (21) 2141-7100  
Fax: (21) 2141-7400  
Internet: <http://www.cbpf.br>

\* Para receber gratuitamente pelo correio um exemplar deste folder, envie pedido com seu nome e endereço para [iva@cbpf.br](mailto:iva@cbpf.br). Este e outros folders, bem como a revista *CBPF – Na Vanguarda da Pesquisa*, estão disponíveis para download (em formato .PDF) em <http://www.cbpf.br/Publicacoes/>

Vitae não compartilha necessariamente dos conceitos e opiniões expressos neste trabalho, que são da exclusiva responsabilidade dos autores.



Ministério da  
Ciência e Tecnologia



Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

# 12 desafios da física para o século 21

- Raios cósmicos de altas energias
- Unificação das forças da natureza
- Origem das massas
- Plasma de quarks-glúons
- Ondas gravitacionais
- Computador quântico
- Manipulação de átomos e os novos materiais
- Matéria escura
- Energia escura
- Massa dos neutrinos
- Formação dos elementos pesados
- A biofísica das proteínas e do DNA

## Fontes

PHYSICS 2000 AS IT ENTERS A NEW MILLENNIUM, Paul Black, Gordon Drake e Leonard Jossem (eds.), International Union of Pure and Applied Physics, 36, 2000

PHYSICS IN A NEW ERA – AN OVERVIEW, National Academy Press, 2001

“THE GREATEST UNANSWERED QUESTIONS OF PHYSICS”, Eric Haseltine, in Discover, February, 2002, pp.37-42

CBPF – NA VANGUARDA DA PESQUISA, Cássio Leite Vieira (ed.), Rio de Janeiro, CBPF, 2001

Q IS FOR QUANTUM – PARTICLE PHYSICS FROM A TO Z, John Gribbin, London, Weidenfeld & Nicolson, 1998

CONCISE DICTIONARY OF SCIENTISTS, David Miller, Ian Miller, John Millar and Margaret Miller, Edinburgh / Cambridge, Cambridge / W&R Chambers, 1989

O UNIVERSO DE EINSTEIN, Nigel Calder, Brasília, Editora UnB, 1994

CONCISE SCIENCE DICTIONARY, Oxford, Oxford University Press, 1984

“COMPUTAÇÃO QUÂNTICA: A ÚLTIMA FRONTEIRA DA INFORMAÇÃO”, Ivan S. Oliveira, in Ciência Hoje, vol. 30, n. 179 (jan-fev), 2002, pp. 63-64

O UNIVERSO ELEGANTE: SUPERCORDAS, DIMENSÕES OCULTAS E BUSCA DA TEORIA DEFINITIVA, Brian Greene, São Paulo, Editora Companhia das Letras, 2001

“NEUTRINOS: PARTÍCULAS ONIPRESENTES E MISTERIOSAS”, de Adriano A. Natale e Marcelo M. Guzzo, in Ciência Hoje, vol. 25, n. 147 (março), 1999, pp. 32-39

#### MASSA DOS NEUTRINOS

### O que muda no universo agora que sabemos que os **neutrinos** têm massa?

Até pouco tempo atrás, achava-se que os neutrinos não tivessem massa. Sua interação com a matéria é praticamente nula. Por exemplo, essas partículas podem atravessar a Terra sem se chocar com nada. Isso faz com que elas sejam extremamente difíceis de capturar. Neutrinos, ‘companheiros’ do elétron, são gerados nas mesmas reações nucleares que criam elementos pesados. Neste exato momento, o leitor está sendo atravessado, a cada segundo, por trilhões de neutrinos, vindos de fontes radioativas naturais, de reatores nucleares e do próprio Sol. Experimentos recentes confirmaram que os neutrinos têm massa. Porém, não foi possível ainda estabelecer com precisão o valor para ela. Com esses resultados, essas partículas passam a ser candidatas a ocupar o cargo de uma pequena parte da matéria escura, que representa 95% da massa ‘invisível’ do universo.



DETECTOR DO OBSERVATÓRIO DE NEUTRINOS SUBURBY

#### COMPUTADOR QUÂNTICO

### Quando o **computador quântico** será realidade?

A área de nanotecnologia já elegeu sua vedete: os computadores quânticos, máquinas diminutas – talvez, menores que uma calculadora de bolso – e extremamente velozes, cuja capacidade de armazenamento de dados seria impensável para os dias de hoje. Em teoria, esses artefatos – para os quais já há até softwares dedicados – poderiam processar, em meses, tarefas que levariam bilhões de anos para o mais veloz dos computadores atuais. Tudo com base nas propriedades físicas de átomos e moléculas, regidas pela física quântica – daí o nome do equipamento.

Quando um computador quântico será realidade? A resposta é incerta, mas, em cerca de 20 anos, a miniaturização de componentes eletrônicos, para atender à demanda de aumento de memória e velocidade dos microprocessadores, atingirá seu limite: a escala atômica. Até lá, a física espera já ter desenvolvido novos materiais e estruturas que possam implementar e controlar as operações lógicas de natureza quântica, bem como ter aprimorado técnicas das áreas de ressonância nuclear magnética, supercondutores e lasers, que serviriam de controle para esses novos computadores.



NASA

#### A ORIGEM DAS MASSAS

### O que é a **massa** das partículas elementares?

O modelo padrão de partículas elementares, que explica o mundo através das partículas elementares (ou não divisíveis) e das interações entre elas, tem sido verificado até agora nos mais rigorosos testes. Porém, ele tem limitações. Uma delas é a impossibilidade de se deduzir através de seu instrumental teórico a massa das partículas elementares. Pode parecer estranho que os físicos ainda não saibam a origem e a natureza da propriedade que dá ‘materialidade’ a este folheto que está em suas mãos.

A hipótese mais aceita é a de que a massa surja de uma interação complexa entre as próprias partículas elementares. Prevê-se a existência de uma partícula especial, o bóson de Higgs, que teria um papel-chave nessa interação e, portanto, na indução de massa. A caça aos bósons de Higgs – que seriam dotados de massa – tem sido uma das prioridades nos atuais aceleradores de partículas. Mas, por enquanto, essas partículas se mostram fugidias. O Brasil – incluindo o CBPF – participa dessa busca.

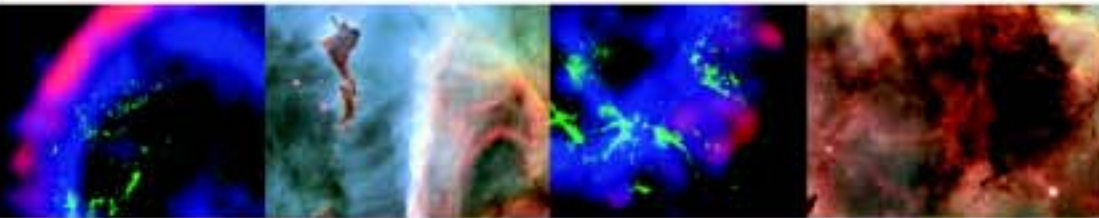
#### UNIFICAÇÃO DAS FORÇAS DA NATUREZA

### Será possível unificar em uma só teoria as **quatro forças** da natureza?

As partículas atômicas são sensíveis às forças eletromagnética, fraca e forte, enquanto a força gravitacional só é relevante para corpos macroscópicos. No entanto, juntar essas quatro forças em um só corpo teórico não tem sido das tarefas mais fáceis.

O mais forte candidato à unificação do micro com o macrouniverso é a chamada teoria de supercordas. Sua principal característica é substituir a caracterização pontual das partículas elementares (fótons, elétrons, quarks etc.) por minúsculas estruturas estendidas e unidimensionais que se assemelham a cordas vibrantes, como as de um violino. Nesse modelo, cada modo de vibração das cordas representaria uma partícula elementar.

Porém, essa teoria prevê a existência de muitas outras partículas elementares, que habitariam um mundo em que, além do tempo, haveria seis dimensões espaciais extras que se somariam às três conhecidas (altura, largura e comprimento). Quando acopladas, as supercordas seriam representadas por estruturas bidimensionais, as membranas. É bem provável que as manifestações previstas por essa teoria só serão reveladas em fenômenos cósmicos.



#### ENERGIA ESCURA

### O que faz o **universo** se expandir de forma acelerada?

Um ano depois de publicar seu artigo sobre a relatividade geral, em 1916, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) introduziu nas equações dessa teoria uma constante universal – mais tarde, denominada constante cosmológica – para fazer do universo uma estrutura estática, como se acreditava na época. O significado físico dessa constante é o de uma força que anularia o efeito atrativo da gravidade entre as galáxias.

No entanto, em 1929, o astrônomo norte-americano Edwin Hubble (1889-1953) mostrou que o universo estava em expansão. Pouco depois, Einstein arrependeu-se amargamente de sua constante e a considerou o maior erro científico de sua vida. Desde então, a história permaneceu inalterada por cerca de sete décadas: o universo se expandindo com velocidade constante, e Einstein com o estigma de seu suposto ‘erro’.

Porém, no final da década de 1990, a história sofreria uma reviravolta a favor de Einstein. Ao estudar a luminosidade de supernovas (megaexplosões de estrelas), cientistas mostraram que o universo não só estava em expansão, mas fazia isso de modo acelerado, contrariando as expectativas de que estaria diminuindo sua marcha de expansão. Como explicar essa inesperada aceleração? Tudo indica que ela seja resultado da ação de um tipo de força de antigravidade que os cientistas denominam ‘energia escura’. Voltava assim à cena o papel da constante cosmológica.

E qual a natureza dessa energia exótica? A resposta ainda é um mistério e, por isso, uma das questões mais quentes da cosmologia atual.

#### MATÉRIA ESCURA

### Onde estão 95% da **matéria** que forma o universo?

Quando se olha para um iceberg, o que se observa é apenas uma pequena porção de sua massa, pois a grande parte dela não é visível. Algo semelhante ocorre no universo: só 5% de sua massa são visíveis, ou seja, emitem algum tipo de luz que pode ser captada pelos instrumentos de medida. Esse percentual é formado por estrelas e galáxias. O restante da massa só pode ser detectado pelo efeito gravitacional que causa sobre o movimento das galáxias. Essa grande porção de matéria escondida ganhou merecidamente o nome ‘matéria escura’.

Atualmente, há vários candidatos ao papel de matéria escura. Uma pequena parte dela pode ser idêntica àquela que forma as estrelas e os seres humanos.

Outra parte pode ser explicada caso os neutrinos sejam dotados de uma pequena massa – resultados recentes indicam que isso é verdade.

Porém, suspeita-se que cerca de dois terços da matéria escura esteja na forma de partículas ainda não detectadas e de nomes exóticos (áxions, fotinos, gravitinos etc.) que teriam sido criadas no início do universo.

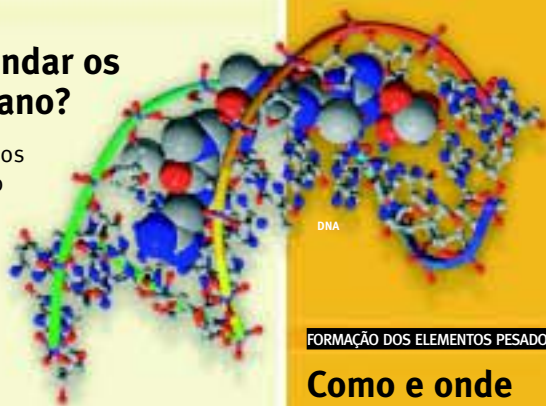
#### A BIOFÍSICA DAS PROTEÍNAS E DO DNA

### Como a física pode ajudar a desvendar os segredos do **código genético** humano?

Em última instância, todos os mecanismos biológicos dependem de interações entre átomos e moléculas, o que faz da física uma ciência fundamental para desvendar os segredos da biologia. Um deles, por exemplo, é entender como cadeias moleculares se doam para permitir propriedades específicas às proteínas.

Outros desafios para a biofísica são entender a atividade elétrica celular que possibilita o funcionamento do sistema nervoso, circulatório e respiratório. Outros alvos atuais da pesquisa nessa área: a estrutura dos diminutos motores orgânicos que permitem os movimentos dos seres vivos, as propriedades mecânicas e elétricas da molécula do código genético (DNA) e também de enzimas responsáveis pela divisão celular.

Alguns arriscam que a última das fronteiras da biofísica – ou, talvez, da própria ciência – será desvendar os segredos da mais complexa das estruturas conhecidas, o cérebro humano. A consciência humana, por exemplo, pode ser resultado de processos quânticos e, portanto, poderia, em princípio, ser entendida com base na microfísica que rege o comportamento do átomo e de suas subpartículas.



FORMAÇÃO DOS ELEMENTOS PESADOS

### Como e onde se formaram os **elementos químicos** mais pesados que o ferro?

À medida que o universo começou a se resfriar depois de seu início (Big Bang), começaram a ser criados os primeiros elementos leves, como o hélio e o lítio. Mais tarde, no interior das estrelas, elementos mais pesados foram gerados através da união (fusão) de núcleos atômicos.

No entanto, para formar núcleos mais pesados que o ferro (26 prótons e 30 nêutrons), a natureza precisou de um suprimento extra de nêutrons que não pode ser fornecido pelas reações estelares. Onde, então, foram criados os elementos que vão do ferro ao urânio? Suspeita-se que isso tenha ocorrido na explosão de estrelas que chegam ao final da vida, onde existiria um vasto suprimento de nêutrons. Mas, por enquanto, o exato mecanismo por trás dessa formação permanece como um mistério que a física deste século se propõe a solucionar.

#### PLASMA DE QUARKS-GLÚONS

### É possível recriar em laboratório as condições dos primeiros instantes do **universo**?

Nos primeiros instantes após a criação do universo, não havia átomos nem mesmo os componentes básicos de seu núcleo (prótons e nêutrons), pois as altíssimas temperaturas impossibilitavam que esses constituintes se ligassem. Nesse cenário, o que dominava era um estado extremamente quente da matéria, um tipo de ‘sopa’ – que os físicos denominam plasma – formada particularmente por duas classes de partículas, os quarks e os glúons. No entanto, essa situação perdurou apenas por um décimo de milésimo de segundo depois da grande explosão inicial do universo (Big Bang).

Para tentar recriar essas condições iniciais do universo, os físicos fazem núcleos de átomos pesados (ouro, por exemplo) se chocarem uns contra os outros a velocidades que chegam a 99,99% da velocidade da luz no vácuo (300 mil km/s). Espera-se assim reproduzir o plasma de quarks-glúons, em que a densidade média é cerca de três vezes aquela da matéria nuclear ordinária de nosso dia-a-dia. Esses experimentos têm sido feitos principalmente no Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (Suíça) e no Laboratório Nacional Brookhaven (EUA). O CBPF e outros centros de pesquisa brasileiros participam dessas pesquisas.

#### ONDAS GRAVITACIONAIS

### Será possível confirmar as previsões de Einstein sobre **ondas gravitacionais**?

Quando se atira uma pedra sobre as águas calmas de um lago, surgem ondas que se afastam concentricamente do ponto de impacto. De modo semelhante, corpos com massa, ao se movimentarem de modo particular, criariam ondas que se espalhariam, viajando à velocidade da luz, pelo chamado espaço-tempo, um uno quadridimensional que reúne as três dimensões espaciais (altura, largura e comprimento) e a quarta dimensão (tempo).

Essas ondas, denominadas gravitacionais, são previstas pela teoria da relatividade geral, publicada em 1916 pelo físico alemão Albert Einstein (1879-1955). Exceto nas proximidades de grandes massas, sua intensidade é praticamente desprezível se comparada com a das ondas eletromagnéticas (ondas de rádio, microondas, luz visível, raios X e raios gama).

Basicamente, duas fontes produziram ondas gravitacionais detectáveis a partir da Terra: supernovas (megaexplosões estelares) e estrelas que giram uma em torno da outra (sistemas binários). No primeiro caso, a energia ejetada seria equivalente à situação em que toda a massa do Sol se transformaria em energia em meros 5 milionésimos de segundo. Porém, supernovas só ocorrem uma vez a cada meio século em alguma galáxia do universo. Assim, é mais provável que a detecção fique por conta dos sistemas binários, que, apesar de criarem ondas menos intensas, são fenômenos cósmicos mais corriqueiros.

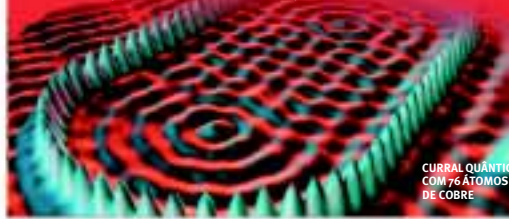
Os físicos dão a existência das ondas gravitacionais como certa e esperam detectá-las já nos primeiros anos deste século. O Brasil participa da caça às ondas gravitacionais através de projeto Gráviton, coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, em São José dos Campos (SP).

#### MANIPULAÇÃO DE ÁTOMOS E OS NOVOS MATERIAIS

### O que é possível construir manipulando **átomos** individualmente?

Assim como um guindaste pode posicionar pesados blocos de concreto para construir estruturas gigantescas, no outro extremo a ciência já é capaz de fazer algo semelhante com os átomos. Em 1989, uma empresa norte-americana conseguiu a façanha de manipular 35 átomos do elemento químico xenônio e escrever com eles seu nome sobre uma placa.

Hoje, com base nessa manipulação liliuputiana, já é possível construir os chamados sistemas microeletromecânicos, como diminutos motores e engrenagens. Mas a escala de intervenção dessa área, comumente denominada nanotecnologia, pretende ir mais fundo: novos materiais que contenham grande número de elementos; supercondutores que conduzam eletricidade à temperatura próxima à ambiente; compostos com capacidade de se auto-reproduzirem, imitando processos biológicos; dispositivos ultra-sensíveis de medição. Será possível também estudar mais detalhadamente processos complexos ainda mal-entendidos, como turbulência, fraturas e aderência.



CURRAL QUÂNTICO COM 75 ÁTOMOS DE COBRE

INPE