

UM OLHAR PARA O FUTURO

Desafios da física para o século 21

EDITORES | JOÃO DOS ANJOS E CÁSSIO LEITE VIEIRA



ANO MIRACULOSO DE EINSTEIN

Cem anos da publicação dos artigos que mudaram a física

PARTÍCULAS ELEMENTARES

A (des)construção da matéria pelo homem

NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA

Modelando o futuro átomo por átomo

SISTEMAS COMPLEXOS

A fronteira entre a ordem e o caos

RAIOS CÓSMICOS

Energias extremas no universo

COSMOLOGIA

A busca pela origem, evolução e estrutura do universo

INFORMAÇÃO QUÂNTICA

Do teleporte à última fronteira da computação

NEUTRINOS

As misteriosas partículas-fantasma

BIOFÍSICA

Duas visões da vida

SUPERCORDAS

O sonho da unificação das quatro forças da natureza

LHC

O gigante criador de matéria

**UM OLHAR PARA
O FUTURO**

Desafios da física para o século 21



UM **OLHAR** PARA
O **FUTURO**

Desafios da física para o século 21

EDITORES

João dos Anjos

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS

Cássio Leite Vieira

INSTITUTO CIÊNCIA HOJE

Vieira & Lent

 **FAPERJ**
Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo
à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro


VITAE
Apoio à Cultura,
Educação e Promoção Social

Rio de Janeiro, 2008

© 2008 by João Carlos Costa dos Anjos

Direitos desta edição reservados a
vieira & lent casa editorial ltda.
Rua Senador Dantas, 118 | cj.407
20031-201 | Rio de Janeiro | RJ
Telefax | 21 2262 8314
editora@vieiralent.com.br
www.vieiralent.com.br

REDAÇÃO* E EDIÇÃO DO ORIGINAL | Cássio Leite Vieira
*(com exceção de Biofísica, Neutrinos, Supercordas, LHC)

PROJETO GRÁFICO, DIAGRAMAÇÃO E CAPA | Ampersand Comunicação Gráfica

REVISÃO | Maria Beatriz Branquinho da Costa

A Editora e os Organizadores (editores) procuraram registrar da forma mais completa possível a origem e a propriedade das imagens reproduzidas neste livro. Caso o leitor tenha alguma correção ou informação complementar, pedimos que nos comunique e agradecemos antecipadamente a colaboração, que será utilizada em futuras edições.

COLABORARAM NESTA PRIMEIRA EDIÇÃO |

Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro/FAPERJ,
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas/CBPF – Ministério da Ciência e Tecnologia/MCT
e Vitae – Apoio à Cultura Educação e Promoção Social

CIP-BRASIL. CATALOGAÇÃO-NA-FONTE
SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ

D484

Um olhar para o futuro – Desafios da física para o século 21
/ editores João Carlos Costa dos Anjos, Cássio Leite Vieira. - Rio de Janeiro : Vieira &
Lent: FAPERJ, 2008.
192p. : il. color.

Inclui bibliografia
ISBN 978-85-88782-48-8

1. Física. I. Anjos, João dos. II. Vieira, Cassio Leite, 1960-.

08-0426. CDD: 530

CDU: 53

08.02.08 08.02.08
005173

1ª edição, novembro de 2008

© *vieira & lent* casa editorial ltda.

SUMÁRIO

11. | APRESENTAÇÃO

ANO MIRACULOSO DE EINSTEIN

EDITORES CIENTÍFICOS | João dos Anjos (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas/MCT)
| Ildeu de Castro Moreira (Instituto de Física/Universidade Federal do Rio de Janeiro)

- 16. | **A EFEMÉRIDE** | BERÇO, LIVRO E CHARUTO | ANO MIRACULOSO
- 17. | **O EFEITO FOTOELÉTRICO** | ELÉTRONS QUE SALTAM
| PARTÍCULAS DE LUZ | IDÉIA MAIS REVOLUCIONÁRIA
- 19. | **A TESE** | O MAIS OBSCURO | AÇÚCAR COM ÁGUA | O MAIS CITADO
- 20. | **O MOVIMENTO BROWNIANO** | ZIGUEZAGUE ERRÁTICO
| ATRAVÉS DE UM MICROSCÓPIO | REALIDADE DE ÁTOMOS E MOLÉCULAS
- 22. | **A RELATIVIDADE** | ASSOMBRADOS PELO ÉTER | DOIS POSTULADOS
| REVISÃO RADICAL | $E=MC^2$ | RESTRITA
- 24. | **A VIDA** | A INFÂNCIA | A JUVENTUDE | EM BERNA | EM BERLIM
| EM PRINCETON
- 27. | **O CONTEXTO** | CRIATIVIDADE E CAMINHOS | FAMA MUNDIAL
- 28. | **EINSTEIN HOJE** | LASER E ÁTOMO GIGANTE | BURACOS NEGROS
E ONDAS GRAVITACIONAIS | DIMENSÕES EXTRAS | NO MUNDO NANO

PARTÍCULAS ELEMENTARES

EDITORES CIENTÍFICOS | João dos Anjos (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas/MCT)
| Adriano Antônio Natale (Instituto de Física Teórica/Universidade Estadual Paulista)

- 32. | **A NATUREZA DAS COISAS** | TERRA, FOGO, ÁGUA E AR
| O NÃO DIVISÍVEL
- 34. | **FRAGMENTANDO O INDIVISÍVEL** | ATOMISMO
| MISTERIOSA RADIAÇÃO
- 35. | **VIAGEM AO CENTRO DO ÁTOMO** | GRANDE VAZIO
| RETRATO DO ÁTOMO QUANDO JOVEM
- 36. | **CRISE E ANTIMATÉRIA** | O SAGRADO E A HERESIA
| SENHORAS E SENHORES RADIOATIVOS | A ANTIMATÉRIA
- 38. | **OS MÉSONS EM CENA** | FORÇA FORTE | QUEM ENCOMENDOU ISSO?
| FINALMENTE, O PÍON
- 40. | **UM ZÔO SUBATÔMICO** | PARTÍCULAS ESTRANHAS | MULTA DE 10 MIL
- 41. | **VOLTA À SIMPLICIDADE** | SIMPLES E ELEGANTE
| SEMPRE CONFINADOS | ACEITAÇÃO DE UM MODELO
- 43. | **MODELO PADRÃO** | LISTAGEM COMPLETA
| PRECISÃO E SENSIBILIDADE | UNIFICANDO FENÔMENOS
| AS QUATRO FORÇAS | BREVE CENÁRIO BRASILEIRO
- 46. | **O FUTURO** | OS LIMITES DO MODELO | O QUE FALTA DESCOBRIR |
VOLTA ÀS ORIGENS

NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA

EDITORES CIENTÍFICOS | Ernesto Kemp (Instituto de Física Gleb Wataghin/Universidade Estadual de Campinas) | Henrique Lins de Barros (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas) | João dos Anjos (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas) | Marcelo Knobel (Instituto de Física Gleb Wataghin/Universidade Estadual de Campinas) | Sandra Murriello (Museu Exploratório de Ciências de Campinas/Universidade Estadual de Campinas)

- 50. | **DOMANDO A MATÉRIA** | ESCAVAÇÃO PROFUNDA | ESTRUTURA FRAGMENTADA | MAIS ESPAÇO LÁ EMBAIXO | VIAGEM FANTÁSTICA
- 52. | **O NANOUNIVERSO** | NA ESCALA DO BILIONÉSIMO | DO ÁTOMO AO VÍRUS | MAIS QUE MINIATURIZAR | MODELOS NA NATUREZA | NÃO SÓ IMITAR
- 54. | **FEITOS E PROMESSAS** | PRINCIPAL CANDIDATO | MARCO EXPERIMENTAL | LISTA DE PROMESSAS | EM LARGA ESCALA
- 56. | **NO MUNDO** | IMPACTO GLOBAL | NOVA EDUCAÇÃO
- 57. | **NO BRASIL** | MELHOR INFRA-ESTRUTURA | DIVERSIDADE DE TEMAS | EM REDE | CAPACIDADE BEM SÓLIDA | PRODUÇÃO NACIONAL
- 60. | **AVENTURA NANOSCÓPICA** | EXPOSIÇÃO INTERATIVA | JOGOS, VÍDEOS, EFEITOS, MÚSICA... | POR TODO O BRASIL
- 61. | **COMO SERÁ O FUTURO?** | A REVOLUÇÃO COMEÇOU

SISTEMAS COMPLEXOS

EDITOR CIENTÍFICO | Constantino Tsallis (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas/MCT)

- 64. | **UMA FRONTEIRA SUTIL** | ENTRE A ORDEM E O CAOS
- 65. | **NO PRINCÍPIO... A ORDEM** | DE PEDRAS A COMETAS
- 66. | **E FEZ-SE... O CAOS** | TRÊS CORPOS | O QUE É O CAOS?
- 67. | **E O MUNDO FICOU... COMPLEXO** | O QUE É COMPLEXIDADE? | COMPLICADO É COMPLEXO? | SELVAGEM E CIVILIZADO
- 70. | **DO SABER INCOMPLETO** | DAS PARTES AO TODO | RELAÇÃO COM OS VIZINHOS | NÃO EXTENSIVOS | NOVA MECÂNICA ESTATÍSTICA | O GRAU DE ORGANIZAÇÃO
- 73. | **NÃO EXTENSIVA** | CAVALOS CEGOS E AEROPORTOS

RAIOS CÓSMICOS

EDITORES CIENTÍFICOS | João dos Anjos (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas/MCT) | Ronald Cintra Shellard (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas/MCT).
 AGRADECIMENTOS a João R. Torres de Mello Neto (IF/UFRJ)

- 76. | **INVASORES DE CORPOS** | BOMBARDEIO ESPACIAL | UM EVEREST A 200 MIL KM/H
- 78. | **ESTILHAÇOS DE MATÉRIA** | DOIS RUMOS | PRÓTONS E NÚCLEOS | ANTIMATÉRIA E ESTRANHAS

- 79. | DA TORRE EIFFEL A BALÕES** | UM PADRE E UM BALONISTA
| RAIOS OU CORPÚSCULOS? | CHUVEIRO EXTENSO
- 80. | O MÉSON PI** | CHUVEIROS PENETRANTES
| LATTES EM BRISTOL | NO ACELERADOR
- 82. | DE ONDE VÊM?** | ESTRELAS MORIBUNDAS | NAS VIZINHANÇAS
- 83. | QUANTOS CHEGAM?** | PIZZA QUILOMÉTRICA
| UM POUCO DE FÍSICA | SOBEM DEZ, CAEM MIL
- 84. | OS ZÉVATRONS CHEGARAM** | VOLCANO RANCH
| NO CHÃO E NO AR | RECORDE NO OLHO DE MOSCA
- 86. | GIGANTE HÍBRIDO DOS PAMPAS** | EM BUSCA DE RESPOSTAS
| CONSÓRCIO INTERNACIONAL | TRÊS VEZES O RIO | MAIS RÁPIDO
QUE A LUZ | CELULAR E GPS | NOITES CLARAS E SEM NUVENS
- 89. | HIPÓTESES SOBRE A ORIGEM** | RESULTADOS DO AUGER
| LISTA DE CANDIDATOS | MAIS FORTE E ENFRAQUECIDOS
| QUESTÃO EM ABERTO | CONTRIBUIÇÃO BRASILEIRA | RAIOS CÓSMICOS

COSMOLOGIA

EDITORES CIENTÍFICOS | Martín Makler (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas/MCT)
| Thyrso Villela Neto (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/MCT)

- 96. | COSMOGONIAS** | DE ONDE VIEMOS? | PEDRA FUNDAMENTAL
- 97. | NASCIMENTO DA COSMOLOGIA** | PRIMEIRO MODELO
| UM TERMO EXTRA
- 99. | ALÉM DA VIA LÁCTEA** | EXPANSÃO E CONTRAÇÃO
| DOIS PIONEIROS | PONTO INSIGNIFICANTE | COMO UM BALÃO DE FESTAS
- 101. | MODELO DO BIG BANG** | ÁTOMO PRIMORDIAL
| ESTRONDO COLOSSAL | DOIS SIGNIFICADOS
- 103. | ECO PRIMORDIAL** | RUÍDO TÊNUE | RADIAÇÃO DE FUNDO
- 104. | BREVE HISTÓRIA DO UNIVERSO** | TRÊS PILARES
| TEORIAS ALTERNATIVAS | TEORIA DA INFLAÇÃO
| ALGUNS MOMENTOS DA HISTÓRIA DO UNIVERSO
- 106. | DESDOBRAMENTOS RECENTES** | DIMINUTAS PERTURBAÇÕES
| REVOLUÇÃO CÓSMICA | MISTÉRIOS ESCUROS | DESTINO DO UNIVERSO
| A PRIMEIRA GERAÇÃO | CONFLITOS, DÚVIDAS E CERTEZAS

INFORMAÇÃO QUÂNTICA

EDITOR CIENTÍFICO | Ivan S. Oliveira (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas/MCT)

- 112. | EXPERIÊNCIAS INDIVIDUAIS** | JOVEM PROMESSA
| POR PRINCÍPIO... A INCERTEZA | PILAR DE SUSTENTAÇÃO

- 114. | COMPUTADOR QUÂNTICO** | VEDETE DA ÁREA | LEI EMPÍRICA
 | UM BIT, UM ÁTOMO | ZERO E UM, AO MESMO TEMPO | MUNDO ESTRANHO
 | DESENVOLVIMENTOS IMPORTANTES | TESTE DA MOEDA | ALGORITMO DE SHOR
 | CRENÇA NO CÓDIGO | CANDIDATOS A Q-BITS | QUESTÃO DE ANOS
- 119. | CRIPTOGRAFIA QUÂNTICA** | MÉTODO INVIOVÁVEL
 | AÇÃO FANTASMAGÓRICA? | PARTÍCULAS GÊMEAS
- 121. | REALIDADE E PROMESSAS** | CONDENSADO GIGANTE | LASER DE ÁTOMOS
 | TELEPORTE | REALIDADE PRESENTE | CORPO MAGNÍFICO | NO BRASIL

NEUTRINOS

EDITOR CIENTÍFICO | Marcelo Moraes Guzzo
 (Instituto de Física Gleb Wataghin/Universidade Estadual de Campinas)

- 126. | POR TODA PARTE** | CHUVA INVISÍVEL | A MAIS “ANTI-SOCIAL”
- 127. | COMO TUDO COMEÇOU** | FILÃO PERDIDO | PILAR SAGRADO
 | SENHORAS E SENHORES RADIOATIVOS... | MUITO “GORDO”
 | PEQUENO NÊUTRON | TRÊS TIPOS
- 130. | A PRINCIPAL FONTE** | 60 BILHÕES POR SEGUNDO | EFEITO URCA
 | CHANCES MÍNIMAS | DISPARIDADE CONFIRMADA | EXPLOÇÃO CÓSMICA
- 133. | O PROBLEMA DOS NEUTRINOS SOLARES** | TEORIA *VERSUS*
 EXPERIMENTO | MUDANÇA DE SABOR | NO MEIO DOS REATORES
 | QUAL O MECANISMO?
- 135. | REDES DE CAPTURA** | LUZ TÊNUE | GIGANTESCO COLAR
 DE PÉROLAS | CUBO DE GELO | ANGRA DOS REIS | MINOS
- 138. | DESAFIOS** | PARCELA DA MATÉRIA ESCURA | MESMA PARTÍCULA?
 | AONDE FOI A ANTIMATÉRIA?

BIOFÍSICA

EDITORES CIENTÍFICOS | Henrique Lins de Barros (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas / MCT) | Daniel Acosta Avalos (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas / MCT)

- 142. | A BIOLOGIA E A FÍSICA** | ÉLAN VITAL | DOMÍNIO DA FÍSICA | DOIS ENFOQUES
- 144. | ENTROPIA E VIDA** | TROCAS COM O MEIO | AINDA SEM DEFINIÇÃO
 | CONCEITO REVOLUCIONÁRIO | DESORDEM MÁXIMA | PRETO NO BRANCO
 | FLECHA DO TEMPO
- 147. | EVOLUÇÃO POR SELEÇÃO NATURAL** | SEMELHANTE, MAS NÃO IGUAL
 | VIDA DIGITAL
- 148. | ESCALAS DA BIOFÍSICA** | DO MOLECULAR AO COSMOLÓGICO
 | MICRO, MESO E MACRO | INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS
- 150. | COMPLEXIDADE** | QUATRO ÁTOMOS DE FERRO
 | FERRAMENTAS PARA MACROMOLÉCULAS | CANAIS DE PASSAGEM
- 151. | O DNA E O CÓDIGO GENÉTICO** | MOLÉCULA DA VIDA
 | QUATRO BASES | PONTES DE HIDROGÊNIO | HÉLICES IDÊNTICAS
 | SUTILEZAS DESCONHECIDAS

- 153. | DETECTORES BIOLÓGICOS** | MIGRAR É PRECISO
| PERGUNTAS SEM RESPOSTA | OTIMIZADOS PELA NATUREZA
- 155. | NEURÔNIOS** | ESPALHADOS PELO CORPO
| SUBSTÂNCIAS LIBERADAS | COMPUTADOR BIOLÓGICO
- 156. | APLICAÇÕES** | TÉCNICAS, DROGAS E TERAPIAS
- 157. | VIDA EXTRATERRESTRE** | ALÉM DA IMAGINAÇÃO | VIDA FORA DA TERRA?

SUPERCORDAS

EDITOR CIENTÍFICO | Nathan Berkovits
(Instituto de Física Teórica/Universidade Estadual Paulista)

- 160. | CONFLITO ENTRE O MACRO E O MICRO** | INCONSISTENTES ENTRE SI | FORÇA INFINITA | AS OUTRAS FORÇAS | MODIFICAÇÃO CONSISTENTE
- 162. | EINSTEIN E O SONHO DA UNIFICAÇÃO** | DIMENSÃO CIRCULAR
| OBJETOS UNIDIMENSIONAIS
- 163. | DIMENSÕES EXTRAS** | DE PERTO E DE LONGE | COMO PLANTAS E PEIXES
- 164. | BURACOS NEGROS E A PERDA DE INFORMAÇÃO** | SUGADOR DE LUZ E DE MATÉRIA | SUMIÇO DE ELEFANTES | SOLUÇÃO DO PARADOXO
- 166. | PRINCÍPIO HOLOGRÁFICO** | ESCAPAR OU NÃO
| ÁREA DO HORIZONTE | SUPERFÍCIE BIDIMENSIONAL
- 167. | O TEORIA DAS SUPERCORDAS** | CORDA FUNDAMENTAL | MODOS DE VIBRAÇÃO | TESTE DE PROPRIEDADES | COMPACTAÇÃO DAS DIMENSÕES
- 169. | SUPERSIMETRIA** | BÓSONS E FÉRMIONS | PRINCÍPIO DA EXCLUSÃO
| SIMETRIAS ESTABELECIDAS | O GRANDE ACELERADOR
- 171. | PESQUISA NO BRASIL** | ALTAS ENERGIAS

LHC

EDITOR CIENTÍFICO | Ignácio Bediaga (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas)

- 174. | ERA DE UM COLOSSO** | GRANDE COLISOR | DIMENSÕES ÍNFIMAS
| DUAS MISSÕES BÁSICAS
- 176. | A MÁQUINA EM NÚMEROS** | NÚMEROS IMPRESSIONANTES
| BATIDA DE FRENTE | 1,5 TONELADA | VÁCUO INTERPLANETÁRIO
| TEMPERATURA INTERGALÁCTICA | DA TERRA AO SOL | $E = MC^2$
- 179. | FÍSICA NO LHC** | QUESTÕES CENTRAIS | A PARTÍCULA DAS MASSAS | ONDE ESTÁ A ANTIMATÉRIA? | SOPA QUENTÍSSIMA
- 182. | DETECTORES DO LHC** | CAPTURADORES DE FRAGMENTOS
| ALICE | LHCb | ATLAS | CMS | PARTICIPAÇÃO BRASILEIRA
- 186. | GRADE DE COMPUTADORES** | WEB | 20 KM DE CDS
| UTILIDADE PÚBLICA
- 188. | RESPOSTAS PARA AS PERGUNTAS** | MUDANÇA DE PARADIGMA
| ENQUETE NA TV | RAINHA DAS MÁQUINAS

- 190. | BIBLIOGRAFIA**

UM OLHAR PARA O FUTURO:

Desafios da ciência e da física para o século 21

Aprendemos 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 para os leitores: quais são as fronteiras da ciência e da física hoje?

É com prazer que apresentamos neste livro alguns dos principais desafios que a física deverá enfrentar neste século que se inicia. A busca de respostas a essas questões será 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, como veremos, já desenvolve 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.

O projeto “Desafios da Física para o Século 21”, que deu origem a este livro, teve início em 2002, quando foi feito o primeiro dos *folders* da série para a reunião anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC). Com a excelente receptividade, decidimos dar continuidade ao projeto e, nos anos seguintes, fomos incorporando novos desafios. Cada tema tratado conta com um ou mais editores científicos, escolhidos entre especialistas da área em questão.

Agradecemos o apoio financeiro recebido da Faperj, que possibilitou a edição deste livro, bem como do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas e de Vitae, associação civil voltada ao apoio à cultura, à educação e à promoção social. Ficam também os nossos agradecimentos ao Professor José Israel Vargas pelo incentivo em levar adiante esse projeto.

Com este livro, destinado ao grande público, esperamos também contribuir para despertar vocações, mostrando aos 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.

João dos Anjos

Coordenador do projeto

“Desafios da Física para o Século 21”

Rio de Janeiro, outubro de 2008



**UM OLHAR PARA
O FUTURO**

Desafios da física para o século 21