



Guilherme de Conches, Pedro Abelardo, Adelardo de Bath, Albertus Magnus, Nicolau de Oresme, Pico della Mirandola, Venerável Beda, Avicena, Averroes, Grosseteste, Jean Buridan, João Duns Escoto, Nicolau de Cusa, Isidoro, João Filópono, Maimônides, R. Bacon, Guilherme de Ockham.

1000 1400

Copérnico, Kepler, Bernoulli, Torricelli, Tycho, Euler, Pascal, Berkeley, Locke, Newton, Gassendi, F. Bacon, Galileu, Giordano Bruno, Gilbert, Leibniz, Boyle, Descartes, Lagrange, Hamilton.

1500 1600 1700

2500 anos pensando
O Universo...

A natureza do mundo físico: do que é feito o Universo?

Do Iluminismo à Ciência contemporânea

Volume 2



Conselho Editorial da Editora Livraria da Física

Amílcar Pinto Martins - Universidade Aberta de Portugal

Arthur Belford Powell - Rutgers University, Newark, USA

Carlos Aldemir Farias da Silva - Universidade Federal do Pará

Emmánuel Lizcano Fernandes - UNED, Madri

Iran Abreu Mendes - Universidade Federal do Pará

José D'Assunção Barros - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Luis Radford - Universidade Laurentienne, Canadá

Manoel de Campos Almeida - Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Maria Aparecida Viggiani Bicudo - Universidade Estadual Paulista - UNESP/Rio Claro

Maria da Conceição Xavier de Almeida - Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Maria do Socorro de Sousa - Universidade Federal do Ceará

Maria Luisa Oliveras - Universidade de Granada, Espanha

Maria Marly de Oliveira - Universidade Federal Rural de Pernambuco

Raquel Gonçalves-Maia - Universidade de Lisboa

Teresa Vergani - Universidade Aberta de Portugal

Jorge Ernesto Horvath
Lucas Marcelo de Sá Marques dos Santos
Rodrigo Rosas Fernandes
Lívia Silva Rocha
Riis Rhavia Assis Bachega
Lucas Gadelha Barão

A natureza do mundo físico: do que é feito o Universo?

Do Iluminismo à Ciência contemporânea

Volume 2



2023

Dedicatórias

Para mi abuela Ana Vogel (*in memoriam*), que me incentivó a leer e así
pensar el mundo que nos rodea (J.E.H.)

Aos meus pais, que sempre alimentaram a curiosidade que me trouxe a
este livro (L.d.S)

Para todos os meus alunos: não tivemos como estudar todas essas
matérias antes... (R.R.F.)

Para meus pais Manoel e Lêda, meus grandes incentivadores (L.S.R.)

Aos meus pais, Adenilson e Zuleide, e aos amigos mais próximos.
(L.G.B.)

Copyright © 2023 os autores
1ª Edição

Direção editorial: José Roberto Marinho

Capa: Fabrício Ribeiro

Projeto gráfico e diagramação: Fabrício Ribeiro

Edição revisada segundo o Novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

A natureza do mundo físico: do que é feito o Universo? Dos pré-Socráticos à revolução científica:
volume 2 / Jorge Ernesto Horvath...[et al.]. – São Paulo: Livraria da Física, 2023.

Outros autores: Lucas Marcelo de Sá Marques dos Santos, Rodrigo Rosas Fernandes, Lívia Silva
Rocha, Riis Rhavia Assis Bacheга, Lucas Gadelha Barão.

Bibliografia.

ISBN 978-65-5563-398-6

1. Astrologia 2. Astronomia - Filosofia - História 3. Física - História 4. Universo I. Horvath, Jorge
Ernesto. II. Santos, Lucas Marcelo de Sá Marques dos. III. Fernandes, Rodrigo Rosas. IV. Rocha, Lívia
Silva. V. Bacheга, Riis Rhavia Assis. VI. Barão, Lucas Gadelha.

23-181420

CDD-520

Índices para catálogo sistemático:

1. Astronomia 520

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra poderá ser reproduzida
sejam quais forem os meios empregados sem a permissão da Editora.

Aos infratores aplicam-se as sanções previstas nos artigos 102, 104, 106 e 107
da Lei Nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998



Editora Livraria da Física

www.livrariadafisica.com.br

(11) 3815-8688 | Loja do Instituto de Física da USP

(11) 3936-3413 | Editora

Agradecimentos

Agradecemos aos membros do GARDEL Pedro H.R.S. Moraes e Antônio Lucas de Castro Bernardo por seu apoio neste projeto. Laura

Paulucci Marinho cedeu, junto a Pedro H.R.S. Moraes, material gráfico e texto dos assuntos cosmológicos incorporados no Capítulo 4, pelo qual os agradecemos especialmente.

Agradecemos os todos os seguidores do Grupo GARDEL pelo seu interesse e estímulo nas postagens que nos levaram e escrever este texto.

A receptividade e profissionalismo da Editora Livraria da Física, e em particular seu responsável José Roberto Marinho, fizeram possível esta edição tal como chega agora a suas mãos.

R.R.F. Agradece a todos os colegas do Projeto GARDEL e, especialmente, ao Professor Jorge Horvath pelo convite e oportunidade de participar deste projeto cultural único. Foi um verdadeiro privilégio!

Índice

Prólogo ao Volume 2.....	17
Capítulo 4. Do Iluminismo até o século XIX.....	19
<i>Locke, Berkeley e Hume: a percepção do mundo e a realidade.....</i>	<i>19</i>
<i>John Locke.....</i>	<i>20</i>
<i>George Berkeley.....</i>	<i>23</i>
<i>David Hume.....</i>	<i>26</i>
Depois de Newton: o Iluminismo e a composição da matéria.....	27
O Mecanicismo e a emergência de suas limitações.....	29
<i>Kant, Laplace e Boscovich.....</i>	<i>34</i>
<i>Immanuel Kant.....</i>	<i>35</i>
<i>Pierre-Simon de Laplace.....</i>	<i>38</i>
<i>Roger Boscovich e a força unificada.....</i>	<i>40</i>
O Eletromagnetismo como guia do desenvolvimento da Física.....	45
<i>O eletromagnetismo “antigo”: effluvia e ação à distância.....</i>	<i>45</i>
<i>A Eletricidade ao longo do Século XVIII.....</i>	<i>49</i>
<i>O Magnetismo ao longo do Século XVIII.....</i>	<i>52</i>
<i>A Teoria Ondulatória da Luz do Século XVII ao XIX.....</i>	<i>55</i>
<i>Ampère, Maxwell, Faraday e o Eletromagnetismo.....</i>	<i>59</i>
<i>Galvani e Volta: de sapos às pilhas.....</i>	<i>59</i>
<i>De Eletricidade e Magnetismo a Eletro-magnetismo: Oersted, Ampère e Faraday.....</i>	<i>62</i>
<i>Entre Faraday e Maxwell: ação à distância ação contínua.....</i>	<i>68</i>
<i>Eletromagnetismo, campo e éter: Faraday, Thomson e Maxwell.....</i>	<i>69</i>
<i>Desenvolvimento dos Cálculos Vetorial e Tensorial na saga de Maxwell.....</i>	<i>79</i>
<i>A unificação como o processo “normal” na Física.....</i>	<i>82</i>
A Termodinâmica como disciplina “guarda-chuva”.....	84
<i>A temperatura no contexto.....</i>	<i>86</i>
<i>Calor e trabalho.....</i>	<i>88</i>
<i>Sadi Carnot.....</i>	<i>88</i>
<i>Kelvin e Clausius.....</i>	<i>90</i>
A Mecânica do contínuo: os fluidos e sólidos clássicos e a síntese do século XIX.....	92
<i>A evolução da descrição dos fluidos.....</i>	<i>92</i>
<i>O summit da Mecânica Analítica (Lagrange, Hamilton, Jacobi).....</i>	<i>93</i>
Maxwell, Boltzmann e Gibbs: o desenvolvimento de uma visão microscópica da matéria e o Energeticismo rebelde de Ostwald.....	93
<i>James Clerk Maxwell e Ludwig Boltzmann.....</i>	<i>95</i>

<i>Josiah Willard Gibbs</i>	99
<i>Ostwald, a Energética e o Energeticismo</i>	103
Comte, Mach, Duhem e a Filosofia científica na virada do século XX	107
<i>Auguste Comte</i>	108
<i>Ernst Mach</i>	109
<i>Pierre Duhem</i>	110
Referências ao Capítulo 4	112
Capítulo 5. O século XX, o século da Física	117
A Física na virada do século XIX	117
<i>Lord Kelvin e as nuvens que resultaram em tempestades</i>	117
<i>Max Planck e o quantum</i>	119
<i>A saga do quantum: Einstein, o movimento browniano e o efeito fotoelétrico</i>	123
Uma nova visão do espaço e do tempo: o Eletromagnetismo e a Teoria da Relatividade Restrita	129
<i>A Teoria Eletromagnética de Lorentz</i>	130
<i>Teorias do Elétron</i>	134
<i>A Relatividade de Poincaré e Lorentz</i>	135
<i>A Relatividade Especial de Einstein</i>	138
<i>A Relatividade Especial nas mãos de Minkowski</i>	145
<i>Os experimentos de Kaufmann, Bucherer e Neumann</i>	148
<i>E a Gravitação?</i>	149
Gravitação e a Relatividade Geral	150
<i>A Gravitação antes de Maxwell</i>	150
<i>A “Gravidade Eletromagnética”</i>	152
<i>O Princípio de Equivalência</i>	156
<i>Teorias Relativísticas da Gravitação</i>	161
<i>A Teoria da Relatividade Geral</i>	162
<i>Soluções das Equações de Einstein</i>	167
<i>Ondas Gravitacionais na Relatividade Geral</i>	170
À descoberta do mundo microscópico elementar	172
<i>J.J. Thomson e o elétron</i>	173
<i>Descoberta do núcleo atômico</i>	174
<i>Bohr e a quantização do átomo</i>	177
<i>Radioatividade, estrutura nuclear e muitos prêmios Nobel</i>	180
A construção da Mecânica Quântica	184
<i>Louis de Broglie: é a matéria feita de ondas ou partículas?</i>	184
<i>A busca por uma nova Mecânica</i>	189
<i>Werner Heisenberg</i>	191
<i>O princípio da incerteza</i>	192
<i>Erwin Schrödinger</i>	195

<i>Interpretações da Mecânica Quântica</i>	197
<i>O gato de Schrödinger</i>	202
A visão da Filosofia científica nos começos do século XX	204
<i>Arthur Stanley Eddington</i>	201
<i>Bertrand Russell</i>	206
<i>David Hilbert</i>	209
<i>O Círculo de Viena (1921-1936)</i>	210
O Universo do século XX	212
<i>Medindo e observando o Universo</i>	212
<i>A expansão do Universo</i>	221
<i>A nova Cosmologia</i>	223
<i>Cosmologia Relativística</i>	224
<i>O Lado Escuro do Universo</i>	233
<i>Matéria Escura</i>	234
<i>Energia Escura</i>	239
<i>Um Modelo de Concordância?</i>	243
A visão emergente da microfísica no século XX	245
<i>Física Clássica vs. Física Quântica</i>	245
<i>Os objetos quânticos e o Princípio de Incerteza</i>	246
<i>A Antimatéria de Dirac</i>	250
<i>As Estatísticas Quânticas: bósons e férmions</i>	251
<i>Satyendra Nath Bose</i>	252
<i>Enrico Fermi</i>	255
<i>Um Passo À Frente: Dirac e Pauli</i>	257
<i>Paul Dirac</i>	257
<i>Wolfgang Pauli</i>	259
<i>Pauli, Fermi e o neutrino</i>	261
<i>O que mantém o núcleo coeso?</i>	263
Estendendo o formalismo quântico: a Teoria Quântica de Campos e seus problemas	265
<i>Diagramas de Feynman</i>	269
A elementaridade no século XX e o Modelo Padrão	272
<i>A estrutura interna dos núcleons e os quarks</i>	274
<i>O Modelo Padrão</i>	278
<i>Há uma unificação maior das interações elementares?</i>	279
A visão geral da Ciência de Popper, Khun, Lakatos e Feyerabend na segunda metade do século XX	280
<i>Karl Popper</i>	282
<i>Thomas Kuhn</i>	282
<i>Imre Lakatos</i>	283
<i>Paul Feyerabend</i>	284
A Mecânica Quântica e a realidade do mundo físico	285

<i>Realismo e Idealismo</i>	287
<i>A realidade do mundo físico</i>	288
<i>Esmiuçando o conteúdo da Mecânica Quântica e suas consequências</i>	289
<i>Quanta, localidade e teorema de Bell: o cerne do mundo segundo a MQ</i>	292
<i>A Física Clássica e a Quântica em conflito ontológico</i>	296
<i>O (insustentável) dualismo epistemológico da Física atual</i>	298
Referências ao Capítulo 5	299
Capítulo 6. O Século 21 e além	307
O mundo elementar como representação matemática (incluídas as componentes escuras)	307
<i>As categorias do mundo natural</i>	307
Modelando o mundo elementar muito além do Modelo Padrão	311
<i>Teoria de (Super)Cordas</i>	313
<i>O Mundo das Branas</i>	320
<i>Geometria Quântica (também conhecida como Loop Quantum Geometry)</i>	322
Como todo começou...	324
Neopitagorismo contemporâneo: o mundo como uma estrutura matemática	329
Topologia do Universo	332
Um Ensemble de meta-Universos e o Princípio Antrópico	335
Estamos no meio de uma mudança de paradigma? A Matéria Escura e a Energia Escura como anomalias kuhnianas	339
Os novos olhos para enxergar o Universo: a detecção das ondas gravitacionais	344
<i>O que são as ondas gravitacionais?</i>	344
<i>O pulsar binário PSR 1913+16 e as ondas gravitacionais</i>	348
<i>Detectores de ondas gravitacionais</i>	350
<i>Os dois tipos de detectores: interferômetros e massas ressonantes</i>	350
<i>A detecção de fusões de BHs e NSs: o início da Astronomia de Ondas Gravitacionais</i>	354
<i>O primeiro evento de fusão de buracos negros GW150914</i>	354
<i>A sequência esperada: uma fusão de estrelas de nêutrons em GW170817</i>	357
Os neutrinos na Astrofísica contemporânea	359
Referências ao Capítulo 6	369
Apêndice 1	373
Os físicos e a percepção da Realidade (versão séria, <i>ma non troppo</i>)	373
Finale	375
Os autores	377

A natureza do mundo físico: do que é feito o Universo?



Do Iluminismo à Ciência contemporânea

Prólogo ao Vol. 2

Nesta obra em dois volumes, temos declarado nosso propósito e expressado algumas considerações preliminares no começo do Vol. 1, de tal forma que seria redundante repeti-las. No Vol. 1 começamos a descrição e discussão da história e contexto da construção da imagem do mundo físico Ocidental até a chamada Revolução Científica, uma época onde os fundamentos da Ciência, e em especial a descrição matemática, se desenvolvem e adotam uma forma mais similar à contemporânea. Essas práticas da Ciência Ocidental desenvolvidas depois do século XVII, são as que norteiam nossa tradição cultural majoritária, dão prioridade à razão como elemento metodológico e epistemológico, e geralmente *excluem* outras formas de conhecimento como "não científicos" ou "irracionais". Deve-se notar que a moderna Cosmologia e a moderna visão do mundo microfísico pretendem excluir totalmente qualquer perspectiva social ou setorial, e construir um entendimento do Universo utilizando apenas categorias neutras, objetivas, eticamente indiferentes e universais. Desde o século XIX em particular, a Cosmologia e a Física constituem progressivamente disciplinas à parte, cada vez mais aprofundadas e especializadas, embora fortemente ligadas à Matemática, Física e Ciências afins, e totalmente ancoradas na observação e no experimento, mas com influências psicológicas, sociais e extra-científicas inegáveis.

Em este segundo Volume apresentaremos o desenvolvimento das grandes áreas da Ciência, e também, de forma algo especulativa e incerta, o estado-da-arte que permite enxergar ainda mais longe, para o século XXI e além, confrontando os grandes problemas não resolvidos na microfísica e Cosmologia, à procura de um entendimento cada vez mais abrangente. A herança do passado será evidente em cada assunto, assim como as tentativas de inovar e reciclar nossas ideias a respeito do mundo físico onde vivemos.

Os Autores, Setembro de 2023

Capítulo 4

Do Iluminismo até o século XIX

“Espaço e tempo são uma estrutura dentro da qual a mente está restrita para construir sua experiência da realidade”

Immanuel Kant, 1802

No Capítulo 3 descrevemos e ponderamos os nomes e desenvolvimentos fundamentais da chamada Revolução Científica. Convencionalmente, a Revolução Científica se considera completa quando foram publicados os *Principia* de Newton. Mas o mundo tinha mudado com todos estes fatos, e no século XVIII uma série de movimentos embasados nessa ideia de conhecer o mundo cientificamente floresceu e causou mudanças importantes em todos os países de Ocidente praticamente. Este foi o chamado Iluminismo, do qual geralmente são destacados seus aspectos políticos e sociais, mas que como filho dileto da Revolução Científica, produziu não poucos resultados e firmou e estendeu o conhecimento do Cosmos e do mundo natural. Veremos aqui esta saga do conhecimento, que se propagou até começar o século XX, e que serviu de alicerce às mudanças que serão abordadas no Capítulo 5.

Locke, Berkeley e Hume: a percepção do mundo e a realidade

A Revolução Científica do Século XVII chacoalhou os alicerces do conhecimento. Junto com esta cascata de ideias, se fez imprescindível uma revisão a fundo dos fundamentos epistemológicos da Ciência. A visão do mundo tinha mudado, e novos questionamentos a respeito da Realidade surgiram de forma natural e inevitável.



Figura 4.1. John Locke (esquerda), George Berkeley (centro) e David Hume (direita).

Três grandes nomes discutiram esta questão ao longo de 150 anos e podem ser considerados uma “Trilogia”: Locke, Berkeley e Hume, pioneiros da análise dos nossos atuais fundamentos da Ciência e da própria Realidade.

John Locke

John Locke (1632 – 1704) é amplamente conhecido na Filosofia política pela suas ideias liberais, teoria do governo e outras contribuições semelhantes. Porém, não estamos interessados nesses aspectos do pensamento de Locke, e sim no seu papel na fundamentação do *Empirismo* como alicerce para os desenvolvimentos da Revolução Científica [Kochiras 2020].

A educação de Locke em Oxford, onde se formou em Medicina, o pôs em contato com Robert Hooke e Robert Boyle, e posteriormente com o próprio Isaac Newton. Locke desenvolve assim as ideias que o levaram a escrever o célebre *An essay concerning human understanding* (Um ensaio sobre compreensão humana) em 1689.

Locke desenvolve no ensaio a teoria que o ser humano, mais precisamente sua mente, é uma espécie de *folha em branco* ao nascer. Rejeita assim as *ideias inatas* que aparecem desde a Grécia Clássica até Descartes e Leibniz.