

TODA A
FÍSICA
DIVERTIDA



Conselho Editorial da LF Editorial

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

TODA A FÍSICA DIVERTIDA

Edição integral, revista e actualizada

CARLOS FIOLHAIS

Ilustrações de José Bandeira
Prefácio de David Marçal



2024

Copyright © Carlos Fiolhais / Gradiva Publicações, S. A., 2024
1ª Edição

Direção editorial: Victor Pereira Marinho e José Roberto Marinho

Revisão de texto: Carlos Pinheiro

Capa: Fabrício Ribeiro

Paginação: Fabio Brust

Ilustrações: José Bandeira

Edição em Potuguês de Portugal

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

Fiolhais, Carlos

Toda a física divertida / Carlos Fiolhais; ilustração José Bandeira; prefácio David Marçal. –
Edição integral, revista e actualizada. – São Paulo: LF Editorial, 2024.

Bibliografia.

ISBN 978-65-5563-501-0

1. Divulgação científica 2. Física - Estudo e ensino 3. Gravidade (Física) 4. Mecânica
I. Bandeira, José. II. Marçal, David. III. Título.

24-231217

CDD-530.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Física: Estudo e ensino 530.7

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



EDITORIAL

LF Editorial

www.livrariadafisica.com.br

www.lfeditorial.com.br

(11) 2648-6666 | Loja do Instituto de Física da USP

(11) 3936-3413 | Editora

Em memória de Rómulo de Carvalho (1906-1997)

«Dona Urraca tem um físico que cura toda a maleita.»
(in *O Físico Prodigioso*, de Jorge de Sena, Lisboa: Edições 70, 1977)

Índice

Prefácio	12
Qual é o segredo de <i>Física Divertida</i>?	12
FÍSICA DIVERTIDA	
Introdução	20
1. Questões que metem muita água e também algum chumbo	26
Eureka!	27
Experiências na água e no ar	32
O barco na banheira	36
O chumbo do comandante	39
2. Da queda dos graves à queda da Lua	46
A queda das pedras	47
O tiro do caçador	53
O barco e a bola	58
O avião e a bomba	63
A lua e a maçã	66

3. Da ordem ao caos no sistema solar	74
As leis dos planetas	75
As condições iniciais	82
Dois, três e mais corpos	87
Caos e catástrofes	90
4. Da luz visível à luz invisível	100
O que é a luz	101
Partículas e ondas	105
Poupar tempo	112
O triunfo das ondas	115
Os grãos de luz voltam a atacar	123
5. Da pedra que ama à electricidade industrial	126
O magnete	127
O âmbar	133
O fio eléctrico e o magnete	136
O magnete e o fio eléctrico	140
A lâmpada eléctrica	145
6. Do calórico às máquinas de São Nunca	152
Quente e frio	153
Aquecer água com uma pedra	155
A primeira lei	160
A segunda lei	164
A entropia eterna e gratuita	169

NOVA FÍSICA DIVERTIDA	
Introdução	182
1. A paradoxal física quântica	188
O nascimento da física moderna	189
Bolas de futebol e electrões	194
Copenhaga ou um drama quântico	200
Paradoxos quânticos	206
Madonna e a complexidade da matéria	213
O Mundial dos supercomputadores	219
Digitando pelo mundo digital	228
Nanotecnologia: o futuro vem aí	236
2. A fantástica relatividade	244
Einstein, um físico divertido	253
As subtilezas de um génio	260
Einstein em Lisboa	272
3. Dos núcleos às estrelas	278
O século dos núcleos	279
As últimas da física nuclear	300
Entre o medo e a esperança	310
O imenso Universo	314
O cerne da matéria	333
Bibliografia	344

PREFÁCIO

**QUAL É O SEGREDO
DE *FÍSICA DIVERTIDA*?**

por David Marçal

Carlos Fiolhais já chegou ao seu livro número 70, tendo agora mais livros do que anos de vida. Mas *Física Divertida* foi o primeiro, saído em 1991 e entregue na Gradiva em disquete (se não souber o que é poderá «googlar», algo que não podia fazer nessa altura). Foi escrito com base em inúmeras palestras dadas em escolas de muitas partes do país, que o autor percorria primeiro num *Renault 5* (pode «googlar» também) e depois numa carrinha *Rover*. Alcançou o topo de vendas rapidamente, tendo sido feitas sucessivas reedições. José Mariano Gago, físico que mais tarde haveria de ser o primeiro e mais marcante ministro da Ciência e Tecnologia em Portugal, escreveu no *Expresso* uma recensão, em que elogiava o editor Guilherme Valente, chamando-lhe «o reitor da Universidade da Gradiva, tão ou mais exigente do que as demais», proclamando a ascensão à cátedra pelo autor com aquela obra. *Física Divertida* ganhou dimensão transatlântica com a tradução para brasileiro, coisa rara num livro publicado em Portugal, surpreendendo o próprio autor com a sua prosa em português do Brasil (os electrões passaram a ser «electrons», mantendo a sua carga negativa, e a impulsão passou a «empuxo», continuando a ser para cima).

Qual é o segredo de *Física Divertida*? Como confessa Carlos Fiolhais, a receita de sucesso «consiste em misturar e mexer bem ingredientes que são conhecidos e que se encontram avulsos por aí». E o que é que se encontra avulso por aí? Para começar o humor, e não só nos «bonecos do José Bandeira», mas também no texto. O sentido de humor de Carlos Fiolhais é omnipresente, descodificando amiúde a realidade com uma *punch line*. Somos amigos há muito

e as vezes que lhe vi perder o sentido de humor contam-se pelos dedos de uma mão, cingindo-se a situações em que não consegue encontrar as chaves e outras que tais. Mas logo as encontra, as chaves e a graça no acontecido. A importância das chaves também se explica pela física clássica: ao contrário dos electrões, nós temos de ir de um sítio para o outro passando por todos os pontos intermédios, não podemos dar um «salto quântico» do exterior para o interior, sendo pois conveniente ter chaves para abrir portas. Outro ingrediente da receita é a história. A da ciência e a história em geral, na verdade as duas são apenas uma, pelo menos desde o século VI a.C., quando os gregos Tales e o seu discípulo Anaximandro, ambos de Mileto, formularam os primeiros princípios da ciência (não da moderna, pois ainda haveria um longo caminho até Galileu nascer). Para Carlos Fiolhais, a física não está circunscrita, alastra-se para a vida. Deixamo-nos embalar nas histórias sobre o mundo, o nosso de hoje e os mundos passados e futuros, sem darmos conta da física, que a espaços vai espreitando certa no livro, como uma personagem que se impõe. Quase sem repararmos, estamos, de repente, a fazer experiências mentais com recurso a princípios físicos recém-aprendidos, aplicados a situações do dia-a-dia, do nosso ou de outras pessoas. Esses são os ingredientes, e a receita não é secreta, pois está aí à vista de todos!

Muitos livros passaram e, em 2007, saiu a *Nova Física Divertida*. Se a *Física Divertida* é sobre física clássica, *Nova Física Divertida* é acerca da física moderna — a paradoxal física quântica, a fantástica teoria da relatividade e as bombásticas físicas atómica e nuclear. Aqui as coisas são um pouco diferentes. A física clássica está alinhada com o senso comum: todos sabemos o que acontece quando largamos uma fatia de piza do topo da Torre de Pisa. A física clássica pode ajudar-nos a calcular que velocidade atinge e quanto tempo permanece no ar, mas, na verdade, ninguém fica surpreendido quando a piza se esmaga no chão nem tem dúvidas de como ela lá chegou.

Já na física moderna as coisas são contra-intuitivas e muito matematizadas, sendo a matemática não só uma ferramenta que proporciona e torna útil a teoria, mas não raras vezes indissociável da sua plena compreensão. Numa entrevista feita em 1979 ao Nobel da Física Richard Feynman, um físico divertido, o entrevistador, a propósito dos avanços da física do século xx, pergunta-lhe se somente um reduzido número de indivíduos seria capaz de entender o que se está a fazer. Feynman responde afirmativamente, «a não ser que descubramos um meio de abordar os problemas que os torne mais facilmente compreensíveis». Esta entrevista está publicada no livro *Uma Tarde com o Sr. Feynman*, recentemente republicado pela Gradiva.

O cepticismo de Feynman quanto à possibilidade de real compreensão pública da física moderna é justificado, face ao seu carácter e à sua complexidade. No mundo do muito pequeno (à escala dos átomos e das partículas que os constituem) e do muito grande (das galáxias, dos buracos negros e do *Big Bang*) as coisas não funcionam como estamos habituados. E não devemos confundir popularidade — Albert Einstein, por exemplo, é uma figura extremamente popular — com compreensão. Mas Feynman também abre uma porta, antevendo a possibilidade de a física moderna se tornar compreensível através de um novo meio de a abordar. É por essa porta que entra Carlos Fiolhais, sem nunca ter perdido as chaves! Com os mesmos ingredientes de antes — o humor e as histórias da vida e do mundo — confeccionou a *Nova Física Divertida*.

Em 1991, quando saiu a *Física Divertida*, não havia exoplanetas (bem, eles já lá estavam a orbitar estrelas longínquas, nós é que não os tínhamos ainda detectado). Nem havia o Telescópio Espacial James Webb, que os permite analisar. Ainda faltavam alguns anos para os telemóveis se generalizarem, e as pessoas tinham em casa tubos em vácuo por onde eram disparados electrões em direcção a ecrãs fluorescentes. No nosso país, famílias inteiras passavam horas, sem medo, no enfiamento desses electrões, podendo escolher entre

a RTP1 e a RTP2. Havia quem dispusesse de um videogravador, podendo assistir também a programas previamente gravados ou a filmes que alugava num videoclube. Em 2007, ano da *Nova Física Divertida*, não havia partícula de Higgs (bem, havia, mas ainda não tinha sido encontrada), já todos tinham telemóveis, mas não havia WhatsApp. As famílias dispunham-se de frente a ecrãs de cristais líquidos, LCD (*Liquid Crystal Displays*), que se alinhavam quando era aplicada uma corrente eléctrica, podendo escolher entre vários canais por cabo. Hoje podemos ver televisão em ecrãs de LED (*Light Emission Diode*), graças à invenção do LED azul, que deu origem ao Nobel da Física de 2014, atribuído a dois japoneses e a um norte-americano. São precisos LED de três cores para fazer uma imagem colorida: vermelhos, verdes e azuis. E o sinal televisivo chega por fibras ópticas, que conduzem luz laser, um conceito que Einstein anteviu. Além de uma multidão de canais, o telespectador pode ver séries e filmes *à la carte*, usando serviços como a Netflix ou a Amazon Prime Video.

Mas, na verdade, as coisas não estão assim tão diferentes. Embora o conhecimento e a tecnologia tenham continuado a avançar, não deitámos fora a maior parte do que já sabíamos, pois, a ciência é cumulativa. As leis da física clássica continuam iguais — em 1991 não tínhamos encontrado nenhum planeta a orbitar uma estrela que não o Sol, mas sabíamos, que, se o encontrássemos, a força que o mantinha em órbita seria descrita pela lei da gravitação universal de Newton. Em 2007 já usávamos dispositivos GPS (*Global Positioning System*) para saber onde estávamos no nosso planeta, que só funcionam graças à teoria da relatividade de Einstein formulada no início do século xx. A aventura continua: em breve poderemos usar computação quântica, aproveitando a misteriosa física quântica.

A *Física Divertida* e a *Nova Física Divertida* tornaram-se clássicos. Eles aqui estão juntos pela primeira vez num só volume, para as novas gerações, porque a física moderna continuou a física clássica, mantendo-a na sua maior parte. As leis da física que a humanidade

descobriu e descobre continuarão válidas mesmo depois de ter desaparecido o último ser humano, por algum incrível azar ou pelo inevitável falecimento do Sol daqui a cinco mil milhões de anos. *A Física Divertida* e *a Nova Física Divertida* talvez não sobrevivam à humanidade, mas, enquanto cá estivermos, vale a pena deleitarmos-nos com a graça da física, que é como quem diz a graça do mundo.

David Marçal

Cruz-Quebrada,
15 de Fevereiro de 2024



FÍSICA DIVERTIDA

INTRODUÇÃO

ou

**A RAZÃO DA
FÍSICA DIVERTIDA**