

FÍSICA MODERNA

para iniciados, interessados e aficionados

Ivan S. Oliveira

Ph.D. Oxford

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

Copyright © 2010 Editora Livraria da Física

1a. Edição

Editor: JOSÉ ROBERTO MARINHO

Projeto gráfico e diagramação: CASA EDITORIAL MALUHY & CO.

Capa: TYPOGRAPHY

Ilustrações: IGOR FREITAS GONZAGA

Impressão: GRÁFICA PAYM

Texto em conformidade com as novas regras ortográficas do Acordo da Língua Portuguesa.

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

Oliveira, Ivan S.

Física Moderna : para iniciados, interessados e
aficionados / Ivan S. Oliveira – 2.ed. – São Paulo :
Editora Livraria da Física, 2010.

Bibliografia.

ISBN 978-85-7861-058-6

1. Física 2. Física – problemas, exercícios etc. I. Título

10-02369

CDD-530.07

Índices para catálogo sistemático:

1. Física : Estudo e ensino 530.07

ISBN 978-85-7861-058-6

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 n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

Impresso no Brasil

Printed in Brazil



Editora Livraria da Física

Tel./Fax: +55 11 3459-4327 / 3936-3413

www.livrariadafisica.com.br

Para
Júlio (o baterista) e *Maurício* (o baixista)
meu melhor incentivo
(do guitarrista)

NOTAS DO AUTOR

Escrever um livro sobre física moderna como este exige um bocado de espírito de risco em relação ao próprio trabalho. Alguns colegas poderão achar este esforço fatalmente inútil, por considerarem quase impossível para o “pedestre comum” compreender as estranhas ideias da rainha das ciências no século xx. Discordo frontalmente; não é preciso ser um Villa-Lobos para “arrancar” alguns acordes. A minha motivação ao abraçar tal empreitada é muito simples: tenho certeza que meninos e meninas ao final do ensino médio, com um certo esforço, são capazes de entender os conceitos da física do século xx somente com a matemática que já aprenderam. Esta certeza nasceu, em parte, do meu breve convívio com alguns destes estudantes no chamado **Programa de Vocação Científica**, iniciado na Fiocruz, e adotado no CBPF ao final de 1997, e em parte devido a um interesse particular por desafios deste tipo. Após algum tempo trabalhando somente com estudantes de mestrado e doutorado, foi uma agradável surpresa descobrir a curiosidade científica, ainda sem vícios, e o desembaraço de estudantes tão jovens. Assisti-los apresentando seminários ou em frente a um painel, explicando sem cerimônia o que aprenderam para uma audiência de cientistas profissionais, foi uma surpresa que me causou grande estímulo.

Contudo, o texto não é dirigido somente para alunos do ensino médio, mas também para todos os que se consideram *iniciados, interessados ou aficionados*. Dentre estes incluem-se alunos no início de graduação em engenharias, química, e qualquer pessoa que tenha interesse em física moderna, e que conheça a matemática do Ensino Médio. Acredito que o texto será particularmente útil para professores do Ensino Médio, e alunos dos cursos em licenciatura. Aqui uma constatação: o livro não é um livro texto no sentido usual, mas também não é um livro de divulgação como outros tantos. Tentei atingir um balanço entre as duas abordagens. A razão é que com pouquíssima matemática pode-se ir muito além do que se conseguiria sem nenhuma.

A matemática é a linguagem natural da física. Qualquer pessoa que deseje conhecer física com alguma profundidade, não poderá ignorar a matemática. A

VI FÍSICA MODERNA — Ivan. S. Oliveira

razão é tão simples quanto fascinante: os fenômenos da Natureza obedecem a equações matemáticas! Um buraco negro é uma solução de um conjunto de equações matemáticas; um eco de spins também, ondas eletromagnéticas idem. Podemos lançar satélites, extrair energia dos núcleos dos átomos, conhecer a idade do Universo, observar as imagens de um cérebro humano em funcionamento, ou ainda sonhar com computadores quânticos e computadores biológicos, graças à compreensão matemática que temos dos fenômenos naturais.

Acredito que a abordagem matemática utilizada neste texto o torna acessível a todos aqueles que tenham interesse pela física e seus fascinantes problemas no século xx. O leitor precisará ter noção do que seja uma função e conhecer algumas operações algébricas elementares, ao nível do que se aprende no Ensino Médio de nossas boas escolas. Alguns capítulos são mais técnicos do que outros, e podem parecer mais difíceis. Aqueles que não se impressionarem com símbolos, e tiverem um pouco de paciência, não encontrarão dificuldades em seguir os argumentos. Aqueles outros que possuírem apetite especial para matemática, encontrarão material suplementar em alguns dos *painéis* inseridos ao longo do texto. Aos que “odeiam” matemática, mas possuem interesse por certas áreas da física, recomendo que simplesmente ignorem as fórmulas e sigam adiante. O aproveitamento dependerá neste caso do capítulo e da experiência do leitor em achar o “caminho das pedras”!

O século xx foi o século da física. Avanços espetaculares na compreensão dos fenômenos naturais (se é que podemos realmente afirmar que “compreendemos” o que significa o tempo dilatar ou uma função de onda colapsar!) resultaram em tecnologias nunca antes sonhadas, e em discussões filosóficas tão infundáveis quanto interessantes. Nosso conhecimento sobre a Natureza avança vertiginosamente, e é impossível dizer como ele, e a tecnologia que dele decorre, vão estar ao final do século xxi! Computadores quânticos realizando teleporte e calculando com velocidade inimaginável, gerando códigos criptográficos indecifráveis; todas as maravilhas prometidas pela chamada nanociência decorrente da manipulação de materiais em escala atômica, como circuitos eletrônicos moleculares; transporte de energia sem dissipação em supercondutores; novos dados observacionais sobre a expansão do Universo, desafiando modelos cosmológicos; novas teorias sobre os constituintes elementares da matéria. Estas são apenas algumas das tendências mais atuais.

Acredito que nossos cursos, tanto os introdutórios quanto os intermediários, devessem “concentrar fogo” sobre essa “nova física”, e não estagnar sobre conceitos formulados há 300 anos que, de certa forma, ficaram “soterrados” no início do século xx. A maioria dos nossos jovens só conhece Einstein pela explorada fotografia da careta, e o associam à fórmula $E = mc^2$. É preciso separar os resultados das suas deduções. Deduzir a expressão matemática $E = mc^2$ como consequência lógica de alguns postulados simples, é consideravelmente técnico para um estu-

dante em fase inicial. Mas isso não quer dizer que ele não possa compreender o que esta fórmula significa, e quais são as suas implicações! O mesmo se pode dizer sobre a mecânica quântica, sobre a física nuclear, sobre o magnetismo, sobre a supercondutividade, etc. Obviamente não é preciso que um estudante de medicina seja Ph.D. em física para ir além dos botões dos equipamentos, e entender um pouco dos princípios da ressonância magnética nuclear, fenômeno físico que o auxiliará com os seus pacientes!

Resumindo, este livro é um laboratório. Inevitavelmente muitos tópicos importantes ficaram de fora, como em qualquer outro livro com um número manuseável de páginas. Ao me convencer de que ele não poderia ser um livro texto como os usuais, me senti livre para experimentar um estilo descontraído, que em geral funciona nos meus cursos na pós-graduação do CBPF. Afinal, para um carioca incorrigível como eu, ficar longe do bom humor e do sarcasmo pode ser sintoma de doença grave. Espero que esta combinação pouco ortodoxa seja útil para o leitor.

*Ivan S.Oliveira*¹

1. *ivan@cbpf.br*
<http://www.cbpf.br/~qbitrmn/>

NOTAS DO AUTOR À SEGUNDA EDIÇÃO

Física Moderna para iniciados, interessados e aficionados foi o primeiro livro que escrevi. Na época (1997) dois fatores pareciam garantir o fracasso do projeto: a ideia de que no Brasil não havia um público educado interessado em divulgação científica, e o dogma de que “*em um livro de divulgação, cada fórmula reduz o número de leitores pela metade*”. Soma-se a isto o estilo nada ortodoxo que adotei, recheado de ironias e deboches, o livro parecia ter tudo para naufragar.

Felizmente a Livraria da Física não pensou assim. Contrariando os futuristas mal-humorados, e os pessimistas de plantão, após alguns milhares de cópias vendidas e centenas de e-mails de leitores, aqui estamos com esta edição “dois-em-um”. Para mim é um prazer enorme encontrar leitores em eventos de Física que participo no Brasil, e que fazem questão de vir conversar comigo para elogiar o livro e, eventualmente, pedir um autógrafo ou tirar uma foto!

A presente edição contém os dois volumes da edição anterior, e foi revisada e ampliada em algumas partes. As figuras foram refeitas e novas imagens inseridas. A experiência de *Física Moderna para iniciados, interessados e aficionados* reforçou o meu lado irreverente e provou que, diante de uma boa iniciativa, jamais devemos ceder a ímpetos de pessimismo. Agradeço a todos que apoiaram esta ideia, a todos que me enviaram e-mails com comentários, sugestões e elogios e, sobretudo, à Livraria da Física, por acreditar e investir em autores brasileiros.

Ivan S. Oliveira
Pesquisador Titular
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos seguintes amigos e companheiros de labuta: Dr. Luis A.C.P. da Mota do Instituto de Física da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (companheiro infalível de muita pizza e muita física nos gélidos sábados de Oxford); ao meu querido amigo Dr. Edisom Moreira Jr., do Departamento de Matemática e Computação do Instituto de Ciências da Escola Federal de Engenharia de Itajubá; Dr. José Abdalla Helayël Neto, do Departamento de Campos e Partículas do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, ao ex-aluno, agora amigo e colaborador, Engenheiro Salvador Barreto Belmonte e ao Prof. Dr. Alberto Passos Guimarães, amigo e mentor de longa data, do Departamento de Matéria Condensada e Física Estatística do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Checou todas as vírgulas, colocou todas as tremas e corrigiu todas as crases! Ainda do CBPF agradeço ao amigo Prof. Alfredo Marques de Oliveira, por suas valiosas observações, e também à nossa loiríssima Suenne Riguette Machado, com votos de uma jornada feliz e produtiva em Física. Ao meu bom amigo alemão, Dr. Stefan Jorda, e ao amigo Dr. Vitor Luiz Bastos de Jesus, a quem pude sugerir algumas ideias e de quem aprendi outras tantas. Ao amigo, colaborador e companheiro de aventura no CBPF, Dr. Roberto Sarthour Jr., ao amigo Dr. Felipe Arruda Pinheiro e ao amigo, baterista, jornalista, escritor e colaborador de Ciência Hoje, Cássio Leite Vieira. Aos amigos e colaboradores do Instituto de Física da USP de São Carlos, Drs. Tito J. Bonagamba e Eduardo R. de Azevedo. Aos colegas do Instituto de Física Gleb Wataghin da UNICAMP, Drs. Marcelo Knobel e Leandro R. Tessler. Ao nosso atual Diretor Prof. Dr. Ricardo Galvão, e seus predecessores, Prof. Dr. João dos Anjos e Prof. Dr. Amós Troper, pelo encorajamento e incentivo.

Quero ainda agradecer à minha querida esposa, Dra. Rosinda Martins Oliveira, entusiasmada neuropsicóloga. Enquanto muitos autores agradecem às respectivas esposas pela “compreensão”, “paciência”, “estímulo”, etc., tenho a sorte de ter tido o mesmo, e ainda contar com algo mais. Crescemos juntos, e estamos ambos familiarizados com as belezas desta estrada, mas também com seus “buracos”, “pedágios” e “desvios”. Foi ela quem primeiro leu o livro e fez as primeiras críticas e sugestões. E gostou!

SUMÁRIO

Ganhadores do Prêmio Nobel de Física, xvi

1 – A Física até 1905: uma Casa de Gigantes, 1

A MECÂNICA CLÁSSICA 1

As Leis do Movimento: Newton, Espaço e Tempo Absolutos, 2

PAINEL UM — A vida e obra de dois gênios, 3

PAINEL DOIS — Quantidades escalares e vetoriais, 4

PAINEL TRÊS — Derivada de uma função, 8

Movimento de Objetos sob a Ação de Forças Mecânicas, 11

PAINEL QUATRO — Integral de uma função, 14

Gravitação Universal: da Queda da Maçã à Queda da Lua, 18

O Movimento dos Planetas, 20

Massa Inercial vs. Massa Gravitacional, 23

Movimento Relativo, 23

Física Térmica: dos Planetas aos Gases, 26

É Possível o Tempo andar para Trás?, 28

O Relógio Cósmico, 30

O ELETROMAGNETISMO CLÁSSICO 30

Fenômenos Elétricos e Magnéticos, 30

Fenômenos Ondulatórios: Difração e Interferência, 36

*PAINEL CINCO — Números imaginários, Números complexos
e Funções complexas, 38*

Ondas Eletromagnéticas, 41

Afinal, o que é a Luz?, 44

Afinal, Porque o Céu é Azul?, 45

Acabou a Física?!, 47

ONDE SABER MAIS: DEU NA CIÊNCIA HOJE 48

RESUMO DO CAPÍTULO 49

2 – A Teoria da Relatividade, 51

EINSTEIN: UM GÊNIO DESEMPREGADO	51
MAXWELL NÃO CONCORDA COM NEWTON	53
PAINEL SEIS — <i>A experiência de Michelson, 57</i>	
OS POSTULADOS DA RELATIVIDADE: A IMPLOÇÃO DO VELHO TEMPLO	59
O TEMPO PODE SER ESTICADO!	62
O ESPAÇO PODE SER ENCOLHIDO!	66
$E = mc^2$: ENERGIA QUE DÁ GOSTO!	68
PAINEL SETE — <i>Casamento conturbado, 71</i>	
VIAGENS NO TEMPO	72
PAINEL OITO — <i>Einstein e a Religião, 74</i>	
ONDE SABER MAIS: DEU NA CIÊNCIA HOJE	75
RESUMO DO CAPÍTULO	76

3 – A Mecânica Quântica, 77

HAVIA UMA PEDRA NO CAMINHO	77
MAX PLANK: PACOTES DE LUZ?!	79
LOUIS DE BROGLIE: ONDAS DE MATÉRIA?!	83
ERWIN SCHRÖDINGER E O MISTÉRIO DE $\psi(r, t)$	86
PAINEL NOVE — <i>Funções de distribuição de probabilidades, 88</i>	
PAINEL DEZ — <i>A equação de Schrödinger, 94</i>	
A DÚBIA VIDA DE UM POBRE GATO	95
SPIN	96
O PRINCÍPIO DE EXCLUSÃO DE PAULI	101
EINSTEIN: “DEUS NÃO JOGA DADOS”	106
CORRELAÇÕES ESTRANHAS: AFINAL, DEUS JOGA DADOS?	108
PAINEL ONZE — <i>O Paradoxo de EPR, 109</i>	
EXISTE UM MUNDO LÁ FORA?	112
ONDE SABER MAIS: DEU NA CIÊNCIA HOJE	116
RESUMO DO CAPÍTULO	116

4 – Como Construir um Átomo, 119

A ESTRUTURA DO ÁTOMO	119
ORBITAIS QUÂNTICOS	122
PAINEL DOZE — <i>Coordenadas retangulares vs. esféricas, 125</i>	
A MATÉRIA DO UNIVERSO EM UMA TABELA	130
ESTICANDO A TABELA PERIÓDICA	132
LIGAÇÕES QUÍMICAS	133
ADN: UMA MOLÉCULA MUITO ESPECIAL	136
MAGNETISMO DO ÁTOMO	139

FORÇA NUCLEAR	142
O INDIVISÍVEL PODE SER DIVIDIDO!	144
ONDE SABER MAIS: DEU NA CIÊNCIA HOJE	145
RESUMO DO CAPÍTULO	146

5 – Dos Átomos aos Computadores, 147

OBJETOS MACROSCÓPICOS	148
PERIODICIDADE NA NATUREZA	149
PORQUE A LATA DIFERE DO DIAMANTE?	152
AUTOESTADOS EM UMA CAIXA PERIÓDICA	152
O MUNDO É QUÂNTICO!	157
METAIS, ISOLANTES E SEMICONDUTORES	160
JUNÇÕES, DIODOS E TRANSISTORES	162
O QUE SÃO COMPUTADORES?	168
BITS & BITES: O BÁSICO	170
A INTERNET	173
O ADN COMPUTA!	174
COMPUTADORES PODEM PENSAR?	176
PAINEL TREZE — <i>Alan Turing</i> , 179	
ONDE SABER MAIS: DEU NA CIÊNCIA HOJE	181
RESUMO DO CAPÍTULO	182

6 – Magnetismo, 183

ORIGEM DO MAGNETISMO NA MATÉRIA	183
TIPOS DE ORDEM MAGNÉTICA	190
APLICAÇÕES DO MAGNETISMO	192
MAGNETISMO NUCLEAR	193
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR	195
O SISTEMA GIRANTE	200
ECOS DE SPIN	203
IMAGENS DO CORPO HUMANO: USO MÉDICO DA RMN	204
A FAUNA QUÂNTICA: FÓTONS, FÔNONS, MÁGNONS, PLASMONS, E OUTROS ‘ONS’	207
TRENS QUE FLUTUAM!	209
ONDE SABER MAIS: DEU NA CIÊNCIA HOJE	214
RESUMO DO CAPÍTULO	215

7 – Computação Quântica: A estranha forma de processamento da informação, 217

DAVID HILBERT E AS MÁQUINAS DE TURING	220
A LEI DE MOORE E OS BITS QUÂNTICOS	222
DE ONDE VEM O PODER?	224
EMARANHAMENTO	226
PAINEL QUATORZE — <i>Einstein, Podolsky e Rosen</i> , 228	
PAINEL QUINZE — <i>John Bell: Como testar se Deus joga dados?</i> , 230	
PAINEL DESESESIS — <i>Sim, Deus joga dados!</i> , 232	
CHAVES LÓGICAS QUÂNTICAS	233
ALGORITMOS QUÂNTICOS	235
CRIOGRAFIA QUÂNTICA	239
TELEPORTE	241
QUAIS SÃO AS PERSPECTIVAS?	244
ONDE SABER MAIS: DEU NA CIÊNCIA HOJE	246
RESUMO DO CAPÍTULO	246

8 – Energia Nuclear, 247

INSTABILIDADE NUCLEAR	248
ALFA, BETA E GAMA	249
FISSÃO NUCLEAR: XÔ SATANÁS!	252
ENERGIA DE FISSÃO: QUANTOS NÚCLEOS FERVEM UMA PISCINA?	255
REATORES-N & BOMBAS-A	257
PAINEL DEZESETE — <i>O Projeto Manhattan</i> , 260	
LIXO ATÔMICO: UM SUB-PRODUTO INDESEJÁVEL	263
FUSÃO NUCLEAR	264
PAINEL DEZOITO — <i>Espelhos Magnéticos e Tokamaks</i> , 265	
COMO FUNCIONA O SOL?	266
EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO	267
MEDICINA NUCLEAR	270
ONDE SABER MAIS: DEU NA CIÊNCIA HOJE	273
RESUMO DO CAPÍTULO	274

9 – Relatividade Geral, 275

EINSTEIN ATACA DE NOVO!	275
O PRINCÍPIO DA EQUIVALÊNCIA	276
PAINEL DEZENOVE — <i>O Efeito Mössbauer</i> , 281	
GEOMETRIA E GRAVITAÇÃO	282
NASCIMENTO E MORTE DAS ESTRELAS: BURACOS NEGROS	284
NOVOS DESAFIOS À RELATIVIDADE	287

PAINEL VINTE — <i>Relatividade e Imposturas Intelectuais</i> , 289	
O UNIVERSO TEVE UM INÍCIO?: A GRANDE EXPLOSÃO	291
O UNIVERSO TERÁ UM FIM?: O GRANDE COLAPSO	293
ONDE SABER MAIS: DEU NA CIÊNCIA HOJE	294
RESUMO DO CAPÍTULO	295
 10 – O Sonho da Unificação, 297	
AS QUATRO DAMAS DA CRIAÇÃO	297
NEWTON: UNIFICAÇÃO DO CÉU COM A TERRA	299
MAXWELL: UNIFICAÇÃO DA ELETRICIDADE COM O MAGNETISMO E COM A	
ÓTICA FÍSICA	301
PARTÍCULAS ELEMENTARES: A DUCHA CÓSMICA	301
PAINEL VINTE E UM — <i>A Câmara de Wilson</i> , 303	
PAINEL VINTE E DOIS — <i>Vida e Obra de Cesar Lattes</i> , 304	
UNIFICAÇÃO ELETROFRACA	307
PAINEL VINTE E TRÊS — <i>Vida e Obra de José Leite Lopes</i> , 307	
É POSSÍVEL RECRIAR O UNIVERSO EM UM LABORATÓRIO?	309
PAINEL VINTE E QUATRO — <i>O Laboratório Nacional de Luz</i>	
<i>Síncrotron</i> , 313	
GRAVITAÇÃO: OUTRA PEDRA NO CAMINHO!	313
PAINEL VINTE E CINCO — <i>O Modelo Padrão</i> , 315	
TEORIAS DE TUDO	316
ONDE SABER MAIS: DEU NA CIÊNCIA HOJE	319
RESUMO DO CAPÍTULO	321

GANHADORES DO PRÊMIO NOBEL DE FÍSICA¹

- 1901** WILHELM KONRAD RÖNTGEN (*pela descoberta dos raios-X*)
- 1902** HENDRIK ANTOON LORENTZ E PIETER ZEEMAN (*pelas suas pesquisas sobre radiação*)
- 1903** ANTOINE HENRI BECQUEREL E PIERRE CURIE (*pela descoberta da radioatividade espontânea*)
- 1904** JOHN WILLIAM STRUTT (LORD RAYLEIGH) (*pela descoberta do argônio*)
- 1905** PHILIPP EDUARD ANTON VON LENARD (*pelos seus trabalhos sobre os raios catódicos*)
- 1906** JOSEPH JOHN THOMPSON (*pelos seus trabalhos sobre a condutividade elétrica dos gases*)
- 1907** ALBERT ABRAHAM MICHELSON (*pelos seus trabalhos com instrumentos ópticos de precisão*)
- 1908** GABRIEL LIPPMANN (*pelos seus trabalhos com cores e fenômenos de interferência*)
- 1909** GUGLIELMO MARCONI E CARL FERDINAND BRAUN (*pelas suas contribuições ao desenvolvimento do telégrafo sem fio*)
- 1910** JOHANNES DIDERIK VAN DER WAALS (*pelos seus estudos sobre a equação de estados de gases e líquidos*)
- 1911** WILHELM WIEN (*pelos seus estudos sobre radiação de calor*)
- 1912** NILS GUSTAF DALÉN (*pela invenção de reguladores automáticos utilizados na iluminação de faróis*)

1. Parcialmente compilado de: *Fundamentals of Physics*, D. Halliday e R. Resnick, 3a. Ed., John Wiley & Sons (Nova Iorque, 1988) e do sítio <http://www.slac.stanford.edu/library/nobel/>

GANHADORES DO PRÊMIO NOBEL DE FÍSICA **XVII**

- 1913** HEIKE KAMERLINGH ONNES (*pela liquefação do hélio*)
- 1914** MAX VON LAUE (*pela descoberta da difração de raios-X por cristais*)
- 1915** WILLIAM HENRY BRAGG E WILLIAM LAWRENCE BRAGG (*pelos seus estudos sobre a estrutura de cristais utilizando difração de raios-X*)
- 1917** CHARLES GLOVER BARKLA (*pela descoberta dos raios-X característicos dos elementos*)
- 1918** MAX PLANK (*pela descoberta do quantum de energia*)
- 1919** JOHANNES STARK (*pelos seus trabalhos com o Efeito Doppler*)
- 1920** CHARLES-ÉDOUNARD GUILLAUME (*pelos seus trabalhos em medidas de precisão*)
- 1921** ALBERT EINSTEIN (*pelos seus trabalhos em física teórica, em particular pela explicação do efeito fotoelétrico*)
- 1922** NIELS BOHR (*pelas suas investigações sobre a estrutura do átomo*)
- 1923** ROBERT ANDREWS MILLIKAN (*pelos seus trabalhos sobre a carga elementar e sobre o efeito fotoelétrico*)
- 1924** KARL MANNE GEORG SIEGBHAN (*pelas suas pesquisas sobre espectroscopia de raio-X*)
- 1925** JAMES FRANK E GUSTAV HERTZ (*pelos seus trabalhos sobre o impacto de elétrons em átomos*)
- 1926** JEAN BAPTISTE PERRIN (*pelos seus trabalhos sobre a estrutura da matéria*)
- 1927** ARTHUR HOLLY COMPTON E CHARLES THOMPSON REES WILSON (*pelo método de condensação de vapor para tornar trajetórias de partículas visíveis*)
- 1928** OWEN WILLANS RICHARDSON (*pelos seus trabalhos sobre o efeito termoiônico*)
- 1929** LOUIS-VICTOR DE BROGLIE (*pela descoberta da natureza ondulatória do elétron*)
- 1930** CHANDRASEKHARA VENKATA RAMAN (*pelos seus trabalhos sobre espalhamento de luz*)
- 1932** WERNER HEISENBERG (*pela criação da Mecânica Quântica*)
- 1933** ERWIN SCHRÖDINGER E PAUL ADRIEN MAURICE DIRAC (*pelos seus trabalhos sobre a teoria atômica*)
- 1935** JAMES CHADWICK (*pela descoberta do nêutron*)
- 1936** VICTOR FRANZ HESS E CARL DAVID ANDERSON (*pela descoberta do pósitron*)
- 1937** CLINTON JOSEPH DAVISSON E GEORGE PAGET THOMPSON (*pelos seus trabalhos sobre a difração de elétrons por cristais*)
- 1938** ENRICO FERMI (*pela descoberta dos elementos transurânicos*)

xviii FÍSICA MODERNA — Ivan. S. Oliveira

- 1939** ERNEST ORLANDO LAWRENCE (*pela invenção do acelerador ciclotron*)
- 1943** OTTO STERN (*pela descoberta do momento magnético do próton*)
- 1944** ISIDOR ISAAC RABI (*pelos seus estudos em ressonância magnética nuclear*)
- 1945** WOLFGANG PAULI (*pela descoberta do Princípio de Exclusão*)
- 1946** PERCY WILLIAMS BRIDGEMAN (*pelos seus trabalhos em física de alta pressão*)
- 1947** EDWARD VICTOR APPLETON (*pelos seus trabalhos sobre física atmosférica*)
- 1948** PATRIK MAYNARD STUART BLACKETT (*pelas suas descobertas em física nuclear e radiação cósmica*)
- 1949** HIDEKI YUKAWA (*pela previsão teórica da existência do méson*)
- 1950** CECIL FRANK POWEL (*pelo desenvolvimento de métodos fotográficos no estudo de processos nucleares*)
- 1951** JOHN DOUGLAS COCKCROFT E ERNEST THOMAS SINTON WALTON (*pelos seus trabalhos sobre a transmutação de núcleos atômicos utilizando aceleradores de partículas*)
- 1952** FELIX BLOCH E EDWARD MILLS PURCELL (*pelos suas descobertas em ressonância magnética nuclear*)
- 1953** FRITZ ZERNIKE (*pela invenção de novas técnicas de microscopia*)
- 1954** MAX BORN (*pela interpretação estatística da função de onda*)
- 1955** WILLIS EUGENE LAMB (*pelos seus trabalhos sobre a estrutura fina do átomo de hidrogênio*)
- 1955** POLYKARP KUSH (*pela determinação precisa do momento magnético do elétron*)
- 1956** WILLIAM SHOCKLEY, JOHN BARDEEN E WALTER HOUSER BRATTAIN (*pelos seus trabalhos em semicondutores e transistores*)
- 1957** CHEN NING YANG E TSUNG DAO LEE (*pelos seus trabalhos sobre as leis de paridade em partículas elementares*)
- 1958** PAVEL ALEKSEJEVIČ ČERENKOV, IL'JA MICHAJLOVIČ FRANK E IGOR'EVEGEN' E. TAMM (*pela descoberta do efeito Čerenkov*)
- 1959** EMILIO GINO SEGRÈ E OWEN CHAMBERLAIN (*pela descoberta do antipróton*)
- 1960** DONALD ARTHUR GLASER (*pela invenção da câmara de bolhas*)
- 1961** ROBERT HOFSTADTER (*pelos seus trabalhos sobre espalhamento de elétrons por núcleos*)
- 1961** RUDOLF LUDWIG MÖSSBAUER (*pela descoberta do efeito Mössbauer*)
- 1962** LEV DAVIDOVIČ LANDAU (*pelos seus trabalhos em matéria condensada*)
- 1963** EUGENE P. WIGNER (*pelas suas contribuições à teoria nuclear e de partículas*)

GANHADORES DO PRÊMIO NOBEL DE FÍSICA XIX

- 1963** MARIA GEOPPERT MAYER e J. HANS D. JENSEN (*pela descoberta da estrutura de camadas nuclear*)
- 1964** CHARLES H. TOWNES, NIKOLAI G. BASOV e ALEXANDER M. PROCHOROV (*pelos seus trabalhos em eletrônica quântica*)
- 1965** SIN-ITIRO TOMONAGA, JULIAN SCHWINGER e RICHARD P. FEYNMAN (*pelos seus trabalhos em eletrodinâmica quântica*)
- 1966** ALFRED KASTLER (*pela descoberta e desenvolvimento de métodos ópticos para o estudo de ressonâncias em átomos*)
- 1967** HANS ALBRECHT BETHE (*pelas suas contribuições à teoria das reações nucleares*)
- 1968** LUIS W. ALVAREZ (*pelos seus trabalhos em partículas elementares*)
- 1969** MURRAY GELL-MANN (*pelos seus trabalhos em partículas elementares*)
- 1970** HANNES ALVÉN (*pelos seus trabalhos em magnetohidrodinâmica*)
- 1970** LOUIS NÉEL (*pelas suas descobertas sobre antiferromagnetismo e ferrimagnetismo e suas aplicações ao estado sólido*)
- 1971** DENNIS GABOR (*pela descoberta dos princípios da holografia*)
- 1972** JOHN BARDEEN, LEON N. COOPER e J. ROBERT SCHRIEFFER (*pelo desenvolvimento da teoria da supercondutividade*)
- 1973** LEO ESAKI (*pela descoberta do tunelamento em semicondutores*)
- 1973** IVAR GIAEVER (*pela descoberta do tunelamento em supercondutores*)
- 1973** BRIAN D. JOSEPHSON (*pela descoberta da supercorrente através de junções em supercondutores*)
- 1974** ANTONY HEWISH (*pela descoberta dos pulsares*)
- 1974** MARTIN RYLE (*pelo seu trabalho em radio-astronomia*)
- 1975** AEGE BOHR, BEN MOTTELSON e JAMES RAINWATER (*pelos seus trabalhos sobre a estrutura nuclear*)
- 1976** BURTON RICHTER e SAMUEL CHAO CHUNG TING (*pelas suas descobertas de uma partícula fundamental*)
- 1977** PHILIP WARREN ANDERSON, NEVILL F. MOTT e JOHN HASBROUCK VAN VLECK (*pelas suas investigações em materiais magnéticos e sistemas desordenados*)
- 1978** PETER L. KAPITZA (*pelos seus trabalhos em física a baixas temperaturas*)
- 1978** ARNO A. PENZIAS e ROBERT WOODROW WILSON (*pela descoberta da radiação de fundo do Universo*)
- 1979** SHELDON LEE GLASHOW, ABDUS SALAM e STEVEN WEINBERG (*pela teoria unificada da interação eletrofraca*)

xx FÍSICA MODERNA — Ivan. S. Oliveira

- 1980** JAMES W. CRONIN E VAL L. FITCH (*pela descoberta de violações em princípios fundamentais de simetria no decaimento de mésons K*)
- 1981** NICOLAAS BLOEMBERGEN E ARTHUR LEONARD SCHAWLOW (*pelas suas contribuições à espectroscopia de laser*)
- 1981** KAI M. SIEGBAHN (*pelas suas contribuições à espectroscopia de elétron*)
- 1982** KENNETH GEDDES WILSON (*pelos seus estudos sobre fenômenos críticos na matéria*)
- 1983** SUBREHMANYAN CHANDRASEKHAR (*pelos seus estudos sobre a evolução das estrelas*)
- 1983** WILLIAM A. FOWLER (*pelos seus estudos sobre a formação de elementos químicos no Universo*)
- 1984** CARLO RUBIA E SIMON VAN DER MEER (*pelas suas contribuições à descoberta das partículas W e Z*)
- 1985** KLAUS VON KLITZING (*pela descoberta do efeito Hall quântico*)
- 1986** ERNST RUSKA (*pela descoberta do microscópio eletrônico*)
- 1986** GERD BINNIG (*pela descoberta da varredura de tunelamento*)
- 1986** HEINRICH ROHRER (*pela invenção do microscópio eletrônico por varredura de tunelamento*)
- 1987** KARL ALEX MÜLLER E J. GEORGE BEDNORZ (*pela descoberta dos supercondutores de alta temperatura crítica*)
- 1988** LEON M. LEDERMAN, MELVIN SCHWARTZ E JACK STEINBERGER (*pelas suas pesquisas sobre a estrutura dos léptons*)
- 1989** NORMAN F. RAMSEY, HANS G. DEHMELT E WOLFGANG PAUL (*pelo desenvolvimento da técnica de aprisionamento de íons*)
- 1990** JEROME I. FRIEDMAN, HENRY W. KENDALL E RICHARD E. TAYLOR (*pelas investigações sobre espalhamento inelástico de elétrons em prótons e nêutrons*)
- 1991** PIERRE-GILLES DE GENNES (*pelos seus estudos em cristais líquidos e polímeros*)
- 1992** GEORGES CHARPAK (*pela invenção de detectores de partículas*)
- 1993** RUSSELL A. HULSE E JOSEPH H. TAYLOR JR. (*pela descoberta de um novo tipo de pulsar*)
- 1994** BERTRAMIN N. BROCKHOUSE E CLIFFORD G. SHULL (*pelas suas contribuições ao desenvolvimento de técnicas de difração de nêutrons*)
- 1995** MARTIN L. PERL E FREDERICK REINES (*pelas suas contribuições à física dos léptons*)
- 1996** DAVID M. LEE, DOUGLAS D. OSHEROFF E ROBERT C. RICHARDSON (*pela descoberta da superfluidez no ^3He*)