

INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA
TEORIA DA RELATIVIDADE I
ORIGEM E EVOLUÇÃO DAS IDEIAS SOBRE A RELATIVIDADE

2018

Blucher

Introdução ao estudo da teoria da relatividade I

© 2018 *Antonio Giuseppe Roth*

Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por
quaisquer meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Roth, Antonio Giuseppe

Introdução ao estudo da teoria da relatividade I / Antonio
Giuseppe Roth. -- São Paulo : Blucher, 2018.

340 p. : il., color.

Bibliografia

ISBN 978-85-8039-311-8 (impresso)

ISBN 978-85-8039-312-5 (e-book)

1. Física 2. Relatividade (Física) 2. Física - História

I. Título

18-0199

CDD 530.1

Índices para catálogo sistemático:

1. Física

INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA
TEORIA DA RELATIVIDADE I
ORIGEM E EVOLUÇÃO DAS IDEIAS SOBRE A RELATIVIDADE

“Eu ouço os mortos. Sou um repórter do passado.”
Laurentino Gomes, autor de “1808” e “1822”

Maynard Keynes estudou os manuscritos secretos de Newton sobre alquimia e religião. Observou, por exemplo, que certos metais parecem ter vida e crescer como plantas. Buscava a Pedra Filosofal, não para ficar rico, mas para descobrir os segredos de como Deus criou o Universo.

Edmund Halley, astrônomo e físico inglês (1656-1742), perguntou a Isaac Newton, físico, matemático e astrônomo inglês, qual a forma das órbitas dos planetas? Resposta: Elipse. Para prová-lo, Newton descreveria a gravidade na sua monumental obra: “Philosophiae Naturalis Principia Mathematica”. (ver parágrafo 4.6, e parágrafo 4.7).

Einstein costumava dizer: O sucesso vem de 1% de inspiração e 99% de transpiração.

Nós não temos Amigos. Nós não temos Inimigos. Nós temos Instrutores.
Ronnie Von.

A descoberta quase acidental dos raios X por Röntgen em 05/11/1895 é considerada por alguns como o início da 2ª Revolução Científica (a 1ª começou com Copérnico e sua descoberta de que a Terra se move em torno do Sol e se consumou com o método científico de Galileu). Sua descoberta (‘) significa que a idade da física clássica (o mundo mecânico de Galileu e Newton) estava chegando ao fim. Paul Strathern.

“Eppur si muove” (não obstante se move). Dizem que Galileu teria murmurado após ter abjurado que a Terra orbita em torno do Sol, conforme a Teoria de Copérnico, em vez da Teoria de Ptolomeu que afirmava ser a Terra imóvel.

O importante é dar flores em vida.
Robson Monteiro.

O Homem constrói a casa para dar à Mulher. E a Mulher constrói o Lar para dar ao Homem. (Clarice Lispector)
The woman of my life.

Em geral as mulheres entendem de moda mais que você, siga os conselhos dela.

Há pessoas que se casam em comunhão de males (Gabaglia).

O Barão de Itararé era filho de índia. Tinha um jornal: A Manhã. Angariou vários desafetos com seus ditos ferinos.

Para evitar tantas agressões pôs cartaz no Portal do jornal: Entre sem Bater. Algumas máximas suas: Os homens nascem iguais, mas se tornam desiguais.

A força é o mais desagradável dos instrumentos de corda.

Quem empresta Adeus.

Quando pobre come galinha um dos 2 está doente.

Mandela só foi Mandela porque não se permitiu o Ressentimento, após 27 anos de reclusão.

Uma observação a respeito da inclusão escolar. Se não tem “eu” não tem “outro”. É preciso então, mostrar a diferença entre o “eu” e o “outro”.

Como pesar um elefante? Pelos meios convencionais é difícil. Mas se utilizarmos o Princípio de Arquimedes, usando um tanque ou uma piscina e calculando o peso do volume de água deslocada, fica mais fácil.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Walter Del Picchia da Escola Politécnica da USP, pela colaboração e o incentivo demonstrados.

À minha esposa Dionizia, pela paciência, compreensão e encorajamento na execução deste trabalho.

À Maria Amélia A. Amato Calvoso, pelo estafante trabalho de digitação e execução das ilustrações.

APRESENTAÇÃO

A intenção deste livro é mostrar como, partindo dos conceitos da Física clássica, se chega aos conceitos da Relatividade. Fazemos uma perspectiva evolutiva e histórica dos conceitos físicos até atingir os conceitos relativísticos. No 1º volume, abordaremos a relatividade especial ou restrita e, no 2º, a Relatividade geral.

Na Introdução mostramos a importância da contribuição dos antigos gregos para a formação da Ciência, então chamada de Filosofia, principalmente de Aristóteles, Pitágoras e Arquimedes. As explicações eram apoiadas em evidências, não mais na religião, superstição ou mitologia. Aristóteles pela primeira vez mencionou o nome “Física” para observações da natureza; Pitágoras sistematizou a Geometria; e Arquimedes estabeleceu o Princípio da Hidrostática e as primeiras máquinas simples: roldanas e alavancas.

Mostramos as várias etapas pelas quais a Física passou. Newton desenvolveu a Mecânica Clássica, com suas leis, incluindo a lei da Gravitação universal, com base nas teorias de Copérnico, Kepler e Galileu. Maxwell elaborou suas equações fundamentais, tomando-se as experimentações e leis de Gauss, Coulomb, Ampère e Faraday, prevendo a existência das ondas eletromagnéticas, confirmadas por Hertz, e considerando a luz como onda eletromagnética. Einstein, tomando a Mecânica clássica, as equações de Maxwell e a experiência de Michelson-Morley, desenvolveu a teoria da Relatividade especial e geral, apresentando uma nova visão do Universo, com o espaço curvo, buracos negros, desvio das raíais espectrais e desvio das órbitas planetárias (como a de Mercúrio), e Einstein também confirmou a proposição de Max Planck sobre o *quantum*, dando início à Mecânica quântica, ao explicar o efeito fotoelétrico.

Galileu é considerado o primeiro físico na aceção moderna, por priorizar a experimentação e utilização da matemática nos fenômenos físicos. Ele descobriu a aceleração da gravidade, contrapondo-se à ideia intuitiva de Aristóteles sobre a queda dos corpos, ao afirmar que os corpos pesados caem mais rápidos do que os leves. Galileu postulou que, no vácuo, corpos com pesos diferentes chegavam ao solo ao mesmo tempo, confirmado pelo astronauta David R. Scott na Lua.

Em seguida, apresentamos as equações de transformação de Galileu, que seria a Relatividade galileana.

O Capítulo 2 é dedicado aos Sistemas de unidades métricas e como foram obtidos.

Explicação do interferômetro de Michelson-Morley e sua utilização para medir o comprimento de onda do $K\gamma^{86}$ como padrão do comprimento. Esse interferômetro também foi usado para medir a velocidade da luz, de grande importância na teoria da Relatividade.

Esclarecemos como se mede o tempo e de que forma Galileu descobriu a medição mais precisa na sua época por meio do pêndulo.

A seguir, consideramos o Movimento Harmônico Simples (MHS) e sua relação com a lei de Hooke, da deformação elástica dos corpos, e também relacionamos o MHS e o pêndulo. Essas considerações serão importantes para a compreensão do movimento ondulatório e nas ondas eletromagnéticas. Também servem de base para a Balança de torção de Cavendish, usada para medir massas e cargas elétricas.

Apresentamos a importância do Quartzo para medições elétricas e do tempo.

No Capítulo 3, fornecemos a lei de Hooke e a Elasticidade.

O Capítulo 4 foi dedicado às leis de Newton e à interação gravitacional. Esclarecemos que, contrariamente à ideia intuitiva do tempo absoluto de Newton, Einstein formulou que o tempo é relativístico, como será explicado no Capítulo 7.

No Capítulo 5, consideramos a interação elétrica e magnética. Recapitulamos as leis de Coulomb, Gauss, Faraday-Henry e Ampère-Maxwell, e o teorema de Gauss-Ostrogradsky. Conceituamos as grandezas escalares, vetoriais e tensoriais: campos e equação da continuidade. Recordamos as oscilações do circuito indutância-capacitância e as oscilações eletromagnéticas. Desenvolvemos o quadripotencial para um espaço-tempo quadridimensional a partir do qual obtemos a força de Lorentz.

Também obtivemos o tensor do campo eletromagnético, levando em conta a proposição de Minkowski, sobre a utilização de um tensor de 2ª ordem, associando os vetores campo elétrico e campo magnético para um espaço quadridimensional: x, y, z e t , como variáveis independentes.

Concluimos com a resolução do Vetor de Poynting, a partir das energias dos campos elétrico e magnético, incluindo também uma solução vetorial.

No Capítulo 6, desenvolvemos uma equação da continuidade quadridimensional.

No Capítulo 7, esclarecemos que até Maxwell acreditava que as ondas eletromagnéticas fossem as oscilações de certo meio denominado “éter luminífero”. Em 1881, Michelson e Morley se encarregaram de comprová-lo. Surpreendentemente, para eles, não o conseguiram, pois a velocidade da luz medida em seu interferômetro não detectou nenhuma variação da velocidade, seja no sentido $N - S$ ou $E - W$. Lorentz sugeriu, com sua equação da contração, que o próprio equipamento compensaria a eventual diferença das velocidades, hipótese muito controversa.

Somente em 1905, Einstein postulou que a velocidade da luz, no vácuo, seria invariável para qualquer sistema de coordenadas. Essa hipótese faz parte da teoria da relatividade restrita, que passamos a descrever.

Desenvolvemos então: a relatividade do tempo, tempo e os buracos negros, relatividade da massa, descoberta do elétron por J.J. Thomson, e a relação entre massa e energia, resultando na fórmula $E = (\Delta m)c^2$. Exemplos de sua aplicação: fissão nuclear, fusão nuclear.

Além disso, tratou-se de diversos assuntos: contribuição de Henri Poincaré; usinas atômicas de energia e acidentes: Three mile Island, Chernobil, Fukushima; postulado da relatividade; transformação de Lorentz; validade das fórmulas; e o decaimento radioativo e meia-vida.

Nos Anexos, descrevemos vários itens que não couberam no texto principal,¹ como: Teorema de Pitágoras; Galileu e a descoberta da aceleração da gravidade; Princípio da Ação mínima ou de Hamilton; 1º e 2º princípios da termodinâmica; temperatura absoluta; entropia; princípio da incerteza de Heisenberg à luz do princípio da ação mínima; equação da onda de Schrödinger; teoria dos erros de Gauss; Resiliência e energia de deformação; CERN confirma que neutrinos não viajam mais rápido que a luz; como Newton deduziu a lei da gravitação; a dedução da 3ª lei de Kepler; etimologia e filologia das cônicas; aplicação da 3ª lei de Kepler; superfície da esfera conforme Arquimedes; volume da esfera por cálculo integral; o papel da teoria especial da relatividade na Física atômica e nuclear; a teoria do movimento browniano e, por fim, Einstein na comprovação da existência do átomo.

¹ Embora tenham relações com a relatividade.

SOBRE O AUTOR

Antonio Giuseppe Roth

Graduado em Engenharia Civil e Industrial pelo Instituto Mackenzie, tem mestrado em Engenharia Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e cursos de doutoramento em Engenharia Nuclear pela mesma instituição, também possui cursos de doutoramento fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Já trabalhou como professor de Teoria, Exercícios e Laboratório em Engenharia Mecânica do ITA e de Teoria e Exercícios no Instituto Mackenzie. Também foi professor no Instituto de Física da Faculdade Farias Brito (atual Universidade de Guarulhos) e na Faculdade de Engenharia Valeparaibana de São José dos Campos, onde lecionou a disciplina Cálculo Diferencial e Integral. Além disso, foi pesquisador no Instituto de Atividades Espaciais do Centro Técnico de Aeronáutica (CTA) e no INPE de São Paulo e de Atibaia. Passou por cursos de extensão na University of Miami e em Boulder, Colorado (EUA).

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	
Introdução	17
CAPÍTULO 2	
Sistemas de unidades	23
CAPÍTULO 3	
Elasticidade	39
CAPÍTULO 4	
Leis de Newton	43
CAPÍTULO 5	
Interação elétrica e magnética	57
CAPÍTULO 6	
Equação da continuidade quadridimensional	143
CAPÍTULO 7	
Relatividade especial ou restrita	145
REFERÊNCIAS	187
ANEXO 1	
Demonstração do Teorema de Pitágoras	191
ANEXO 2	
Como Galileu descobriu a aceleração da gravidade	195
ANEXO 3	
Princípio da ação mínima ou de Hamilton	205

ANEXO 4	
1º Princípio da termodinâmica.....	215
ANEXO 5	
2º Princípio da termodinâmica.....	223
ANEXO 6	
Princípio da incerteza de Heisenberg à luz do princípio da ação mínima.....	237
ANEXO 7	
Resiliência	277
ANEXO 8	
Cern confirma que neutrinos não viajam mais rápido que a luz	289
ANEXO 9	
Lei da gravitação de Newton	291
ANEXO 10	
Teorema de Arquimedes e superfície da esfera conforme Arquimedes	323
ANEXO 11	
O papel da teoria especial da relatividade na física atômica e nuclear	327