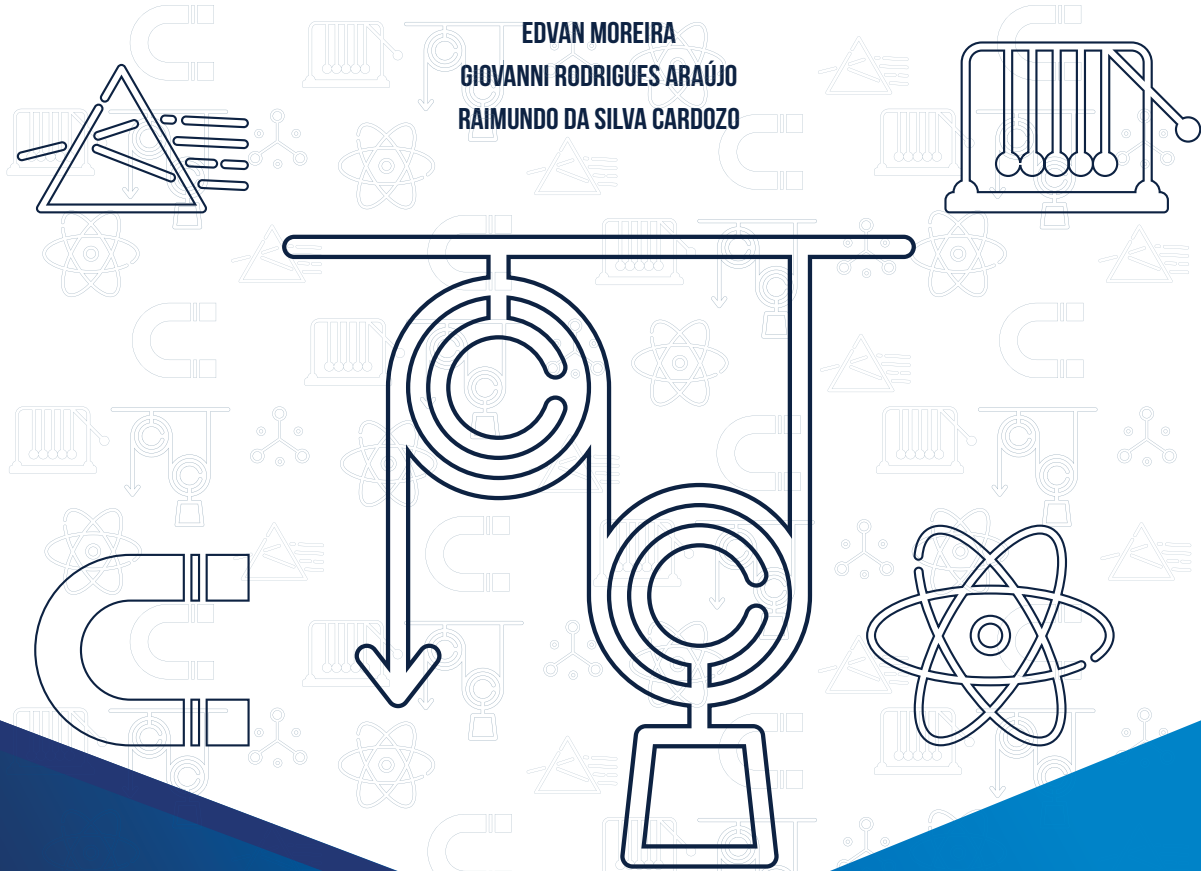


EDVAN MOREIRA
GIOVANNI RODRIGUES ARAÚJO
RAIMUNDO DA SILVA CARDOZO



FUNDAMENTOS DOS CONCEITOS EM ENSINO DE FÍSICA



NÚCLEO DE TECNOLOGIAS
PARA EDUCAÇÃO



Os materiais produzidos para os cursos ofertados pelo UEMAnet/UEMA para o Sistema Universidade Aberta do Brasil - UAB são licenciados nos termos da Licença Creative Commons – Atribuição – Não Comercial – Compartilhada, podendo a obra ser remixada, adaptada e servir para criação de obras derivadas, desde que com fins não comerciais, que seja atribuído crédito ao autor e que as obras derivadas sejam licenciadas sob a mesma licença.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Reitor

Gustavo Pereira da Costa

Vice-Reitor

Walter Canales Sant'ana

Pró-Reitora de Graduação

Zafira da Silva de Almeida

Núcleo de Tecnologias para Educação

Ilka Márcia Ribeiro S. Serra - Coordenadora Geral

Sistema Universidade Aberta do Brasil

Ilka Márcia R. S. Serra - Coord. Geral

Lourdes Maria P. Mota - Coord. Adjunta | Coord.
de Curso

Coordenação do Design Educacional

Cristiane Peixoto - Coord. Administrativa

Maria das Graças Neri Ferreira - Coord.
Pedagógica

Professores Conteudistas

Edvan Moreira

Giovanni Rodrigues Araújo

Raimundo da Silva Cardozo

Revisão de Linguagem

Lucirene Ferreira Lopes

Jonas Magno Lopes Amorim

Designer de Linguagem

Clecia Assunção Silva

Designer Pedagógico

Lorena Karine Santos Sousa

Diagramação

Luis Macartney Serejo dos Santos

Designer Gráfico

Rômulo Coelho

Moreira, Edvan

Física [e-Book]. / Edvan Moreira; Giovanni Rodrigues Araújo;
Raimundo da Silva Cardozo. – São Luís: UEMA; UEMAnet, 2019.

79 f.

ISBN:978-85-8462-070-8

1. Astronomia. 2. Método Científico. 3. Termodinâmica. 4.
Teoria Eletromagnética. 5. Universo Quântico I. Título.

CDU: 53

SUMÁRIO

UNIDADE 1 DA ANTIGUIDADE À NOVA ASTRONOMIA

1.1	Introdução	08
1.2	Grécia Antiga e o comportamento humano	09
1.3	Origem da Filosofia Ocidental	12
1.4	A ciência depois de Aristóteles	17
1.5	A teoria cosmológica de Kepler	25

UNIDADE 2 **MÉTODO CIENTÍFICO DE GALILEU A NEWTON**

2.1	Introdução	29
2.2	Princípio do método científico	30
2.3	Galileu Galilei e o método científico	32
2.4	Os métodos indutivo e dedutivo	39
2.5	Aperfeiçoamento do método científico	41

UNIDADE 3 **ASCENSÃO DA TERMODINÂMICA E TEORIA ELETROMAGNÉTICA**

3.1	Introdução	46
3.2	Teorias sobre calor.....	47
3.3	Leis da Termodinâmica	53
3.4	Os conceitos da Termodinâmica presentes na Revolução Industrial	60
3.5	Breve relato da eletricidade e magnetismo	61

UNIDADE 4 UNIVERSO QUÂNTICO

4.1	Introdução	69
4.2	A Física Contemporânea	77
	Referências	79

ÍCONES



Sugestão de sites - para obter mais informações sobre o assunto abordado na aula ou Unidade;



Atenção - destaca informações imprescindíveis no texto, indica pontos de maior relevância no texto;



Referências - estão relacionadas ao final de cada Unidade, de acordo com as normas da ABNT;



Sugestão de áudios ou músicas - músicas com temas relacionados ao conteúdo do texto;



Atividades ou Avaliação de atividades - atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o aluno possa conferir seu aproveitamento e domínio do que tem estudado;



Sugestão de filmes ou vídeos - filmes com temas relacionados ao conteúdo do texto.

APRESENTAÇÃO

Caro(a) estudante,

A Física é uma das ciências mais fascinantes e, através dos anos, tem posto o homem em patamares mais elevados. Mas nem sempre foi assim, apesar de civilizações antigas terem colaborado com o desenvolvimento da Matemática e Astronomia, a ciência tem sua origem na Grécia Antiga, com o surgimento dos chamados filósofos naturais, que iniciaram a dissociação do pensamento racional do pensamento místico.

Este e-Book visa propiciar ao leitor uma viagem pela evolução da Física, desde as antigas civilizações até a Física Contemporânea. Contudo, vale ressaltar que este material não é uma obra de história da ciência, o objetivo aqui é descrever a contribuição de cada civilização ou cientista para a evolução da Física, e de que forma essas contribuições influenciaram a sociedade.

No final de cada Unidade, apresentaremos questões-chave da temática abordada, e no decorrer do texto faremos sugestões de leituras e vídeos, além de outras ferramentas de aprendizado para o aprofundamento do conteúdo.

PROF. GIOVANNI ARAUJO

1

UNIDADE

DA ANTIGUIDADE À NOVA ASTRONOMIA

Objetivos

- Compreender que as ciências físicas provêm de séculos de especulações, teorias e experimentações norteadas por diferentes motivações filosófico-metodológicas e técnicas que nem sempre seguiram um desenvolvimento linear;
- Entender os conceitos e princípios básicos que acompanham a evolução da Física.

1.1 INTRODUÇÃO

Para entendermos a evolução da ciência que culmina na chamada Nova Astronomia, vale destacar que no início não havia a Física como pensamos hoje, apesar de civilizações antigas, terem colaborado com o desenvolvimento da Matemática e Astronomia, por exemplo. Os campos da Matemática e da Astronomia dos egípcios foram pensados com fins práticos: resolver problemas do dia a dia, seja de irrigação, construção de pirâmides, possíveis inundações em virtude do nível de água do rio Nilo etc.

Sob outra perspectiva, os babilônios foram os primeiros a propor um tratamento científico mais sistematizado do mundo físico, buscando prever fenômenos astronômicos mesmo sem precisão apurada, porém, motivados pela religião e pela astrologia, o que resultou na confecção de calendários e no desenvolvimento de sistemas numéricos com dados que contribuíssem com a agricultura.

O séc. VI a.C. é considerado o início do surgimento das primeiras civilizações na Mesopotâmia, onde houve as primeiras tentativas de racionalizar o mundo, desassociando o pensamento mítico do pensamento real por parte dos gregos. Apenas os gregos estavam interessados nas condições de formação do conhecimento de maneira sistemática e filosófica, desenvolvendo a chamada intuição para abordagem de teorias sobre a Natureza, apesar dos povos do Oriente, como Mesopotâmia e Egito, terem deixado um legado empírico. Assim, com a contribuição dos gregos, desassociou-se o saber racional do saber mítico, levando o conhecimento além do empirismo e, dessa forma, o conhecimento prático ficou relacionado aos modos de produção e necessidades diárias, enquanto o conhecimento teórico passou a ser relacionado ao prazer de saber.

Nesta Unidade, iremos estudar de maneira introdutória a evolução da Física no contexto dos modelos cosmológicos até a chamada Nova Astronomia regida pelas leis de Kepler, considerando o pensamento filosófico desde a Grécia Antiga, os pensadores pré-socráticos e os que deram origem à Filosofia Ocidental, os modelos cosmológicos de Aristóteles e Ptolomeu e ainda as ideias que regeram os estudos de Tycho Brahe e Kepler.

1.2 Grécia Antiga e o comportamento humano

A Grécia Antiga estava localizada na região Sul da Península Balcânica, que era uma região montanhosa e banhada pelo Mar Egeu, bacia do Mar Mediterrâneo. Atualmente faz fronteira ao norte com os países: Albânia, Macedônia e Bulgária; ao Leste está a Turquia (veja os mapas comparativos a seguir, Figura 1).

Figura 1 – (a) Grécia Antiga e (b) Grécia atual



Fonte: Figura (a) [https:// www.historiadomundo.com.br/grega/mapa-do-imperio-grego.htm](https://www.historiadomundo.com.br/grega/mapa-do-imperio-grego.htm)

Fonte: Figura (b) [https:// www.suapesquisa.com/paises/grecia/mapa.htm](https://www.suapesquisa.com/paises/grecia/mapa.htm)

Na Grécia Antiga, eram atribuídas características e aspectos humanos a deuses (antropomorfismo), que interferiam nos afazeres humanos e os envolviam em suas intrigas divinas. Dessa forma, acreditava-se sempre numa possível intervenção divina e, conseqüentemente, não haveria possibilidade de quaisquer predições acerca das atividades humanas.

Figura 2 – Representação do antropomorfismo na Grécia Antiga



Fonte: [https:// www.quora.com/How-would-you-define-the-particularity-of-the-notion-of-atheism-in-Chinese-culture](https://www.quora.com/How-would-you-define-the-particularity-of-the-notion-of-atheism-in-Chinese-culture)

Os pensadores da Escola Jônica, na costa do Mar Egeu (Turquia), buscaram romper com as ideias relacionadas à mitologia e todas as influências de deuses, procurando explicações racionais para compreender a natureza, suas origens e seus processos de mudança. Por mais que as teorias propostas por esses pensadores não pareçam tão sofisticadas para nós hoje em dia, vale destacar que naquele momento foram importantes, pois excluíam as influências divinas na natureza. Questiona-se ainda a profundidade do racionalismo e rigor científico dos filósofos daquela época, pois os mesmos foram conhecidos somente através de pequenos fragmentos, algumas referências e breves citações feitas por autores que viveram posteriormente, cerca de cem ou mais anos depois.



VÍDEO: Assista ao vídeo sobre os Filósofos pré-socráticos – escola jônica, para entender um pouco mais. https://www.youtube.com/watch?v=Xj-_PftZAxl

Os primeiros filósofos gregos são conhecidos como filósofos gregos pré-socráticos ou filósofos da natureza, que viveram entre 600 e 400 a.C. Destaca-se o desenvolvimento da intuição em prol das teorias sobre a natureza, pois estavam mais preocupados com a formação do conhecimento, diferentemente dos povos do Oriente, que deixaram um legado mais condicionado ao empirismo. As escolas filosóficas (Quadro 1) daquela época foram guiadas por um pensamento racional com o propósito de entender a origem do universo de forma racional e não mitológica. A seguir, no Quadro 1, apresentamos algumas escolas filosóficas com seus principais representantes e os princípios norteadores.

Quadro 1 – Escolas filosóficas pré-socráticas seguidas de seus principais representantes e princípios fundamentais

Escolas filosóficas	Filósofos da Natureza	Princípios
Jônica	Tales	Água: origem de tudo, principal elemento da natureza
	Anaximandro	O ilimitado (apeiron): semente originária do Cosmos – primeiro modelo mecânico do Cosmos elaborado
	Anaximenes	Ar: substância básica de todas as coisas – mecanismos de transformação
	Heráclito	Fogo / fluxo contínuo – tudo estava em constante processo de transformação
Eleática	Parmênides	Arché (princípio) – toda mudança é ilusória
	Zenão	Paradoxos relacionados ao movimento
Pitagórica	Pitágoras	Matematização da natureza
	Filolau	Modelo do Cosmos com um fogo central
Atomista	Leucipo	Tudo é constituído por átomos indivisíveis
	Demócrito	Formulou a hipótese atomista

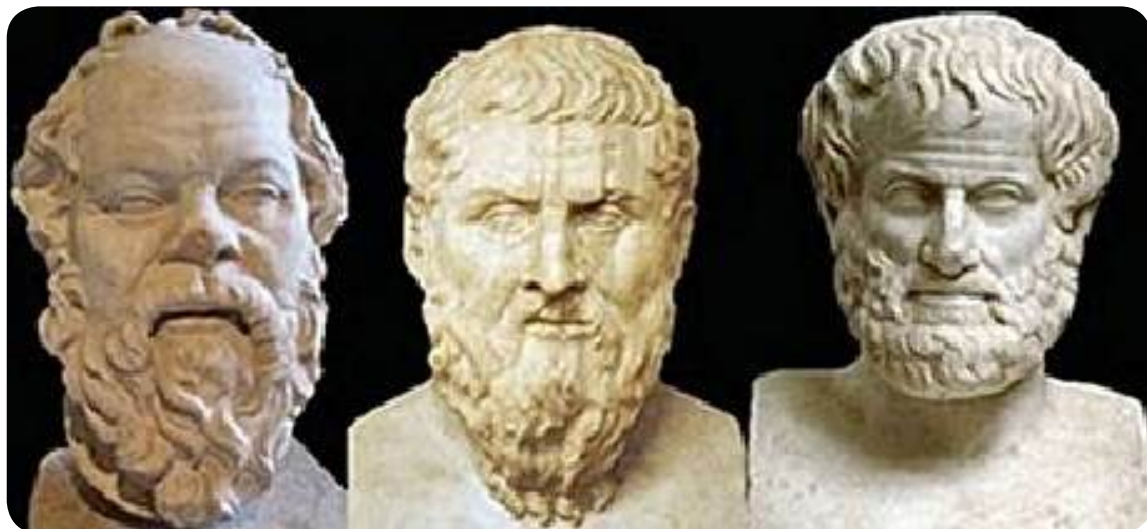
Fonte: Elaborado pelos Autores (2018)

1.3 Origem da Filosofia Ocidental

Atribui-se ao trio Sócrates, Platão e Aristóteles (Figura 3), que viveram entre os séculos V e IV a.C., o lançamento dos fundamentos filosóficos da cultura ocidental, em Atenas, como crítica racional dos fundamentos do conhecimento. Contudo, Sócrates não foi tão influente no pensamento científico porque sua grande preocupação estava sobre a ética e a crítica do discurso (dialética). Por outro lado, o interesse pela Natureza e suas origens, baseado no pensamento racional, é adicionado aos interesses pelo espírito, constituindo assim os maiores sistemas

filosóficos que já existiram. Veremos, a seguir, algumas contribuições desses grandes filósofos.

Figura 3 – (a) Sócrates, (b) Platão e (c) Aristóteles.



Fonte: <http://www.consciencia.org/filosofia-grega-periodo-classico-socrates-platao-e-aristoteles>

- Sócrates

Estima-se que tenha vivido entre 469 e 399 a.C, nascido nas proximidades de Atenas, foi um dos responsáveis pelo lançamento dos fundamentos filosóficos na cultura ocidental, porém com pouca influência no pensamento científico, pois seu interesse principal estava na ética e na dialética. Segundo os historiadores e estudiosos da área, tudo o que se sabe sobre Sócrates foi relatado nas obras de seu principal discípulo, Platão, principalmente em *Diálogos de Platão*.

- Platão (viveu entre 428 e 348 a.C.)

Ele foi discípulo de Sócrates e fundou uma escola chamada Academia, cujo nome foi uma homenagem ao herói grego Academos. Essa escola era um centro intelectual que incentivava os jovens a estudos avançados, sendo considerada por muitos estudiosos a primeira organização institucional de pesquisa científica.

A ideia central da filosofia platônica estava baseada na separação entre dois mundos: o mundo das ideias, que representava o perfeito, e o mundo dos sentidos, que representava o imperfeito. Por isso, ele foi contrário à experimentação, pois isto dependia da utilização dos sentidos que não são confiáveis. Esse pensamento, ou melhor, sua crença, resultou em um atraso significativo no desenvolvimento da ciência. Sua filosofia considerava que coisas percebidas por nós são apenas cópias imperfeitas, imitações, são reflexões de formas ideais e até mesmo de ideias. Segundo ele, o homem só tem contato com o mundo das ideias antes de ser aprisionado em um corpo material, ou seja, antes de reencarnar.

Platão também fez considerações no campo da Astronomia, na qual defendia a ideia de que o Universo seria geométrico, criado com uma arquitetura premeditada por Deus a partir do caos, o qual seria primordial. Para sustentar sua ideia, Platão utilizou ainda o triângulo (forma geométrica) como elemento básico da construção do modelo cosmológico. Na sua academia, desafiou seus discípulos a elaborarem o sistema ideal cosmológico baseado no movimento circular uniforme que representasse os fatos reais dentro de um céu matemático, por ele pensado, levando em consideração a irregularidade confusa dos movimentos dos planetas. Essa irregularidade confusa se tratava do chamado movimento retrógrado dos planetas, mas, a posteriori, descobriu-se que o problema estava no modelo cosmológico aceito, ou seja, no modelo heliocêntrico fica claro que não existe movimento retrógrado.

**SAIBA MAIS**

Academos: reza a lenda que foi um herói ático que mostrou aos irmãos de Helena (Castor e Polídeuces), o local em que era mantida cativa por Teseu.

- Aristóteles (viveu entre 384 e 322 a.C.)

Nasceu na Macedônia e, após a morte de seu pai, foi estudar filosofia em Atenas permanecendo por 20 anos na Academia, onde se tornou discípulo e colega de Platão. Após a morte do seu mentor, foi recusado para assumir o lugar dele na Academia, apesar de ter se destacado como discípulo e considerado por muitos até os dias atuais como o maior de todos os filósofos da antiguidade. A trajetória de Aristóteles é extensa, passa por vários lugares, após deixar Atenas, chegando inclusive a ser tutor do príncipe Alexandre. No entanto, após o príncipe Alexandre ser coroado, Aristóteles volta a Atenas e estabelece sua própria escola de filosofia, o Liceu.

Os escritos de Aristóteles incluem diversos assuntos, tais como: as leis da poesia e do drama, música, lógica, retórica, governo (política), ética, Biologia, Geologia e ainda, Metafísica e Física. As ideias dele sobre a Física perduraram por cerca de dois mil anos dominando a Filosofia Ocidental. Em sua teoria sobre a formação do mundo, ele defendia que o mundo seria formado por quatro elementos básicos: terra, água, ar e fogo, que por sua vez, eram concebidos a partir da combinação de quatro quantidades primárias: quente, frio, úmido e seco, conforme representado na Figura 4.

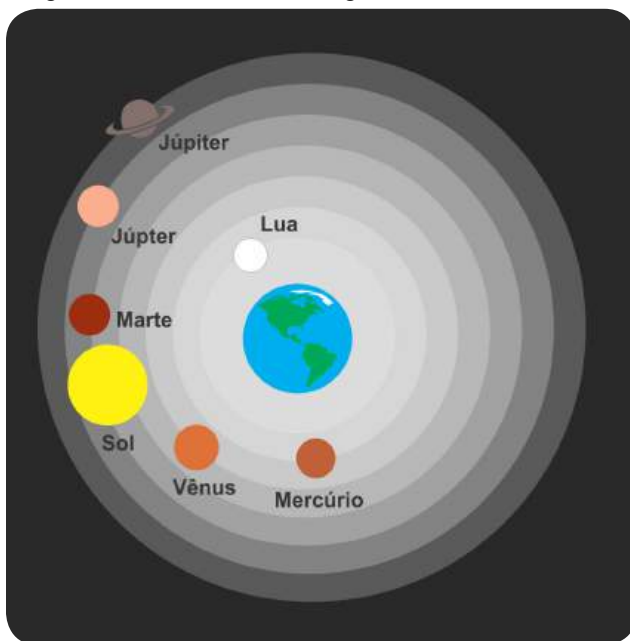
Figura 4 – Representação dos elementos



Fonte: <https://www.nowmaste.com.br/a-teoria-dos-cinco-elementos-da-natureza-ayurveda/>

Em sua teoria sobre a arquitetura do Universo, o Cosmos estava dividido em duas regiões distintas: a região terrestre, que compreendia a Terra, a Lua e o espaço sublunar (entre Lua e Terra), sendo ainda uma região onde ocorrem as imperfeições e mudanças; a outra região seria a celeste, que compreende o Sol, os planetas e as estrelas, seria o espaço da perfeição, da completa ordem. Em seu modelo cosmológico, os corpos celestes giram em torno da Terra – modelo geocêntrico – em círculos perfeitos e movimento uniforme, conforme a Figura 5. Vale ressaltar que, para Aristóteles, a região a partir da Lua seria formada por um quinto elemento, a chamada quinta-essência ou éter, que preenchia todo o espaço entre os demais corpos celestes.

Figura 5 – Modelo cosmológico de Aristóteles



Fonte: <https://www.nowmaste.com.br/a-teoria-dos-cinco-elementos-da-natureza-ayurveda/>



VÍDEO: para informações complementares sobre Aristóteles, assista ao vídeo no link abaixo.

<https://www.youtube.com/watch?v=yXchf0hwZlQ>

As contribuições de Aristóteles são muito significativas na Física, contribuindo com vários conceitos relacionados à Física, vale destacar os seguintes: (I) todos os corpos se movem de forma a ocupar seu lugar natural; (II) o movimento natural é sempre linear, como a pedra que cai verticalmente para baixo, ou o fogo que sobe verticalmente para cima; (III) tudo que se move deve ser movido por alguma coisa; e ainda, (IV) corpos mais pesados caem mais rápido do que os corpos mais leves. Este último muito rebatido e criticado por Galileu Galilei, que procurou provar através de experimentos a inconsistência desse conceito. Porém, não seria fácil convencer do contrário, afinal, as ideias de Aristóteles dominaram o mundo ocidental por mais de dois mil anos, devido sua abrangência ímpar, sua lógica, e a simplicidade de suas ideias físicas em concordância com o senso comum e ainda aprovadas pela Igreja cristã.

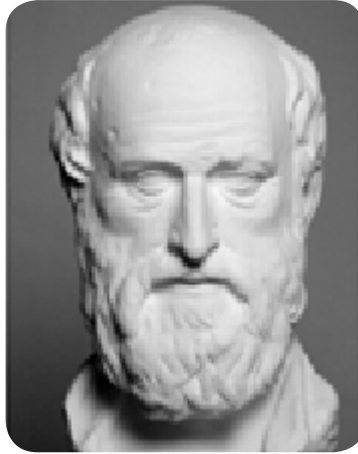
1.4 A ciência depois de Aristóteles

Após o declínio do poder político e econômico de Atenas, o centro da cultura grega foi transferido para Alexandria, no Egito, fundada por Alexandre Magno. Nessa cidade estabeleceu-se uma famosa biblioteca, descrita em detalhes no livro *Cosmos*, de Carl Sagan. Personagens importantes que contribuíram para a evolução de conceitos em Astronomia passaram por Alexandria, dos quais podemos destacar:

- Eratóstenes (276-194 a.C.)

Eratóstenes (Figura 6) foi diretor da biblioteca de Alexandria no séc. III a.C., realizando o primeiro cálculo da circunferência da Terra, e consequentemente do seu tamanho, para o qual se tem informações bem detalhadas, a partir de suas observações sobre reflexão dos raios solares e posições do sol, nas cidades de Siena e Alexandria.

Figura 6 – Eratóstenes



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=weP4KqilqsQ>

- Arquimedes (287-212 a.C.)

Apesar de Arquimedes (Figura 7) ter vivido em Siracusa na Sicília, ele, provavelmente, adquiriu seus conhecimentos de ciência quando ainda era jovem em Alexandria, no Egito, sendo contemporâneo de Eratóstenes. Iniciou o método demonstrativo inserindo-o na ciência, a partir da obtenção de teoremas, através de inferências, de axiomas ou postulados; elaborou leis da alavanca e polias, discutiu a determinação geométrica do centro de gravidade dos corpos; e tão importante quanto os outros trabalhos, elaborou o princípio do Empuxo que age nos corpos submersos em fluidos, conhecido como princípio de Arquimedes.

Figura 7 – Arquimedes.



Fonte: Pires (2011)

- Hiparco de Nicéia (190-120 a.C.)

Hiparco, já no séc. II a.C., é considerado o maior astrônomo da antiguidade. Inventou um instrumento náutico, chamado astrolábio, para medir a altura do Sol e das estrelas; descobriu a precessão dos equinócios, que são pontos da esfera celeste nos quais o Sol cruza o equador celeste em seu movimento anual entre as estrelas; mediu a posição de várias estrelas; analisou e calculou a distância entre Lua e Terra com um erro de apenas 0,3%, ou seja, para aquela época, realizou um cálculo bem preciso, e ainda acreditava em um universo geocêntrico.

- Cláudio Ptolomeu

Embora alguns estudiosos acreditem que ele tenha nascido no Egito e vivido em Alexandria, não se sabe exatamente nem mesmo as datas de seu nascimento ou morte (talvez por volta de 100 a 212 d.C.). No entanto, há uma concordância, devido às suas obras, de que ele tenha sido um dos últimos grandes astrônomos e matemáticos da escola Alexandrina. Ptolomeu (Figura 8) teve acesso a séculos de observações astronômicas dos gregos e babilônios, apesar de possuir seus próprios dados. Buscou desenvolver uma estrutura matemática para explicar e calcular com precisão os movimentos celestes, formando um modelo puramente cinemático. Entretanto, investigou todas as formas possíveis de adequar seu modelo planetário às observações experimentais disponíveis.

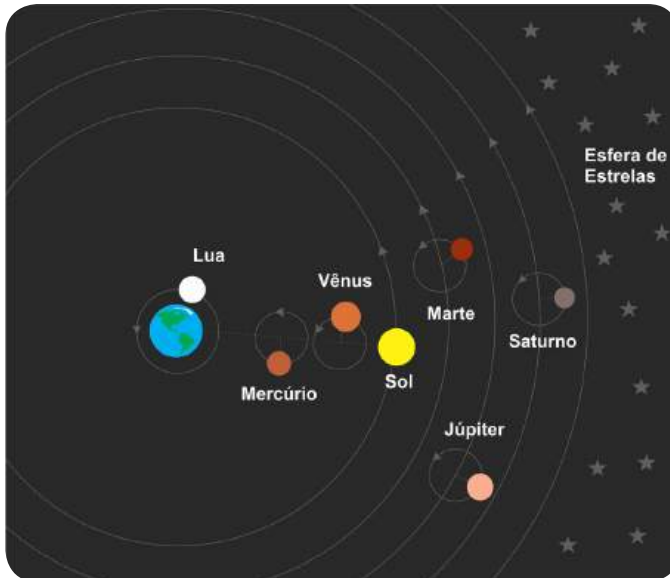
Figura 8 – Cláudio Ptolomeu



Fonte: Pires (2011).

A obra mais importante de Ptolomeu se chama *Almagesto*, foi escrita em treze volumes versando principalmente sobre Astronomia, tratando-se de uma obra fantástica descrevendo todos os aspectos relacionados à configuração e movimento dos corpos celestes. O sistema cosmológico de Ptolomeu (Figura 9) possuía uma sofisticação matemática nunca alcançada por nenhum modelo astronômico até àquela época.

Figura 9 – Modelo cosmológico de Cláudio Ptolomeu



Fonte: http://vintage.portaldoastronomo.org/tema_pag.php?id=38&pag=2

No modelo cosmológico de Ptolomeu, a Terra estava no centro do sistema, em concordância com o modelo geocêntrico de Aristóteles, no qual o movimento celeste estava governado por círculos, introduzindo-se os conceitos de **epiciclos**, para explicar o movimento retrógrado dos planetas, conforme observado no céu, e **equante** – conceito puramente matemático, para simular variação na velocidade orbital dos planetas, sendo que, o centro do epiciclo viaja com velocidade angular constante sobre a circunferência do **deferente** (significa transportar ou carregar), como mostrado na Figura 10. Em outras palavras, para um observador hipotético situado no **ponto equante**, o centro do epiciclo pareceria se mover a uma velocidade regular. Contudo, apesar de um modelo, ou seja, uma representação bem-sucedida matematicamente para explicar o tal movimento retrógrado, o sistema era muito complicado.



SAIBA MAIS

Epiciclo: é um pequeno círculo formado por um astro em torno de um ponto imaginário, que descreve, a partir de seu novo ponto, um outro círculo.

Equante: conceito matemático que descrevia o movimento observado de corpos celestes.

Deferente: é uma circunferência cujo centro descreve um movimento circular em torno da Terra.

Figura 10 – Epiciclos de Ptolomeu



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/p1/p1.htm>

Inevitavelmente, não se pode negar que o grande nome a ser citado inicialmente é o de Nicolau Copérnico (1473-1543), por toda a sua contribuição para a Astronomia, apesar de encontrarmos na literatura que devido ao modelo heliocêntrico (sol no centro do universo), ocorreu a chamada “revolução copernicana”, mas, provavelmente, foi Johannes Kepler o verdadeiro revolucionário e o primeiro a expressar as leis da natureza matematicamente, embora o trabalho de Copérnico fosse talvez uma semente para a revolução científica. A teoria heliocêntrica (sol no centro do universo) proposta anteriormente, inspirada no modelo de Aristarco (séc. III a.C.), não era mais precisa que as teorias geocêntricas (planeta Terra no centro do universo), e até a invenção do telescópio, os dois modelos eram coerentes.

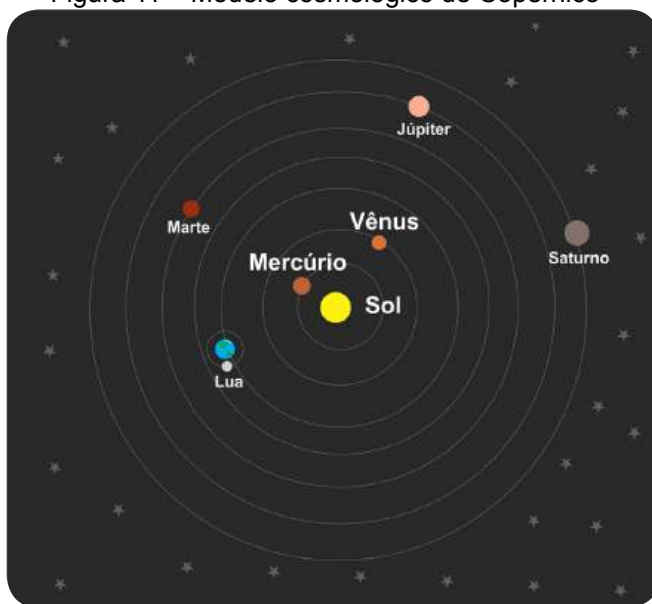
Nicolau Copérnico, nascido na Prússia Oriental, hoje Polônia, foi educado por seu tio que mais tarde se tornaria bispo, pois seu pai faleceu quando ele tinha dez anos. Pelo que é descrito o jovem Copérnico era tímido, débil, estudioso e religioso, e a partir dos dezoito anos passou por algumas universidades se aperfeiçoando em vários campos de estudo (leis canônicas, Direito, Medicina, Matemática etc.), onde podemos destacar sua passagem pela Universidade da Cracóvia na Polônia, lá se interessou por Matemática e Astronomia.

Dentre suas obras podemos destacar, *Pequeno comentário*, escrito entre 1508 e 1514, registrando suas primeiras considerações sobre a efetividade do modelo heliocêntrico do sistema solar; *Primeira narração*, escrita entre 1540 e 1541 em parceria com um professor de Matemática da Universidade Luterana de Wittenberg chamado Rético, na qual fazem uma explanação da teoria heliocêntrica, sendo a primeira descrição impressa da teoria; *Das revoluções das órbitas celestes* é a sua obra-prima em que descreve toda a sua teoria heliocêntrica, após adiar por alguns anos temendo a reação da Igreja. O primeiro exemplar impresso em 24 de maio de 1543 foi levado ao seu leito de morte, e algumas horas depois faleceu.

As características do modelo cosmológico heliocêntrico de Copérnico são pautadas no modelo de Aristarco (séc. III a.C.) com o Sol no centro do sistema (heliocêntrico) e os planetas em órbitas circulares em torno do Sol (Figura 11), sendo que os planetas externos se movem mais lentamente que os planetas mais internos

e, acima de tudo, o que se entendia por movimento retrógrado seria explicado sem os conceitos complicados dos epiciclos de Ptolomeu.

Figura 11 – Modelo cosmológico de Copérnico



Fonte: <https://www.astronomia-iniciacion.com/sistema-heliocentrico.html>

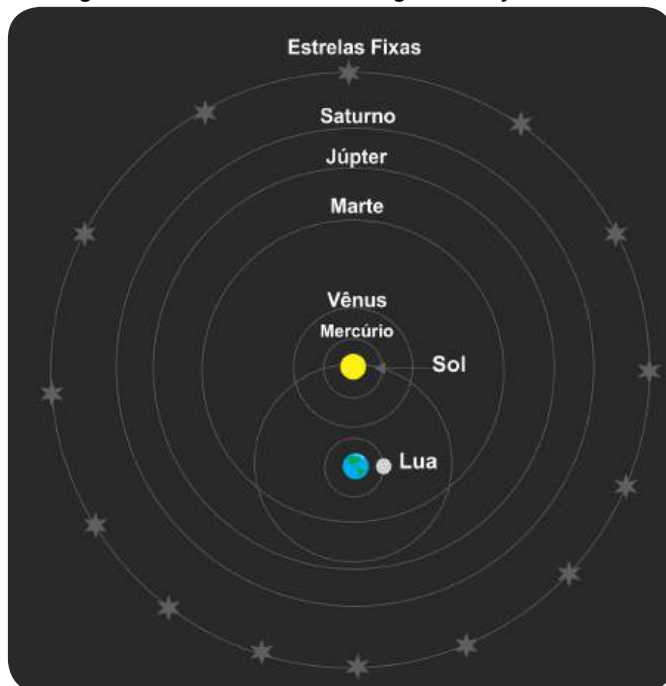
Com os dados observacionais disponíveis na época, que continham erros, e que foram transcritos de maneira adulterada pelos escribas e tradutores, Copérnico não poderia ter feito algo melhor. Dessa forma, para a Astronomia avançar seriam necessárias novas observações que fossem confiáveis. Assim, aparece um novo personagem na história da Astronomia, Tycho Brahe.

O físico dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601) foi enviado aos treze anos para estudar na Universidade de Copenhague com o objetivo de que seguisse a carreira de estadista. Em seu primeiro ano na Universidade presenciou um eclipse parcial do Sol, anunciado previamente, e essa capacidade de previsão rigorosa o impressionou, levando-o a se interessar por Astronomia. A partir dos quatorze anos, ele dividiu seu tempo entre os estudos de jurisprudência e as observações do céu à noite. Um ano depois (1563) registrou sua primeira observação astronômica: a sobreposição de Júpiter e Saturno, quando comparou suas medidas com os registros desse evento, percebeu que as medidas anteriores eram imprecisas.

Com isso, resolveu dedicar sua vida à observação precisa do céu, com o intuito de corrigir todas as medidas já existentes.

Em 11 de novembro de 1572, Tycho observou uma “nova estrela” mais brilhante que Vênus e onde não deveria ter nenhuma outra estrela, na constelação de Cassiopeia. Essa descoberta, depois de publicada em *De Stella Nova* em 1573, rendeu-lhe uma mudança de patamar, ascendendo de um mero astrônomo amador para um astrônomo de reputação na Europa. Em 1577 realizou medições precisas sobre a órbita de um cometa acrescentando um estudo mais abrangente do sistema solar e provando que a órbita do cometa estava além da Lua. Contudo, observando e catalogando seus estudos acabou, por fim, detectando falhas nos modelos de Aristóteles e Copérnico. A partir disso, propôs seu próprio modelo cosmológico (Figura 12), do qual podemos destacar as seguintes características: acreditava que a Terra estava no centro do sistema (modelo geocêntrico); o Sol orbitando a Terra em movimento circular; os demais planetas estariam orbitando o Sol (modelo assimétrico); a órbita de Marte intercepta a órbita do Sol, conforme representado na Figura 12.

Figura 12 – Modelo cosmológico de Tycho Brahe



Fonte: <<http://coursecontent1.honolulu.hawaii.edu/~pine/images/fig5-6.htm>>.

1.5 A teoria cosmológica de Kepler

Devido à competência técnica dos trabalhos de Tycho Brahe, seus trabalhos e, conseqüentemente, seu modelo cosmológico se tornaram referência inclusive para a nova geração de astrônomos jesuítas da época. Após anos de contribuição, os últimos anos de Tycho foram vividos em Praga, Itália, onde recebeu um jovem professor que estava interessado em seus trabalhos. Este jovem se tratava de Johannes Kepler, que acabou herdando, como seu assistente, todos os dados observacionais.

Johannes Kepler (1571-1630), alemão, começou seus estudos num seminário luterano na Universidade de Tübingen em 1589, planejando cursar Teologia, mas com muito interesse pelos estudos astronômicos. Nessa Universidade ele teve a sorte de estudar com Michael Maestlin, professor de matemática e um dos mais talentosos astrônomos da Alemanha. O Professor Maestlin era um dos poucos adeptos da teoria copernicana e emprestou a Kepler seu exemplar do *Revolutionibus* de Nicolau Copérnico, repleto de anotações. Tudo indica que Kepler estudou profundamente o livro com o auxílio do Professor Maestlin e, ao final, convencido pelo modelo copernicano, decidiu que a missão de sua vida seria provar a veracidade do modelo cosmológico de Nicolau Copérnico (modelo heliocêntrico).

Kepler estava intrigado pelo fato de existirem apenas cinco intervalos entre os planetas (seis planetas) no sistema solar e achava que estavam relacionados com os cinco sólidos perfeitos, polígonos regulares, tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e o icosaedro (sólidos platônicos). Isso foi importante no trabalho de Kepler, já que ele, tentando entender a harmonia celeste, concebeu as leis que hoje têm o seu nome, as leis de Kepler: 1ª Lei – Os planetas giram em torno do Sol em órbitas elípticas, com o Sol ocupando um dos seus focos (Figura 13a); 2ª Lei – A linha imaginária ligando o Sol aos planetas cobre áreas iguais em tempos iguais (Figura 13b); 3ª Lei – O quadrado do período orbital de um planeta é proporcional ao cubo de sua distância mediana ao Sol (Equação 1).

$$T^2 \equiv \left(\frac{4\pi^2}{MG} \right) r^3$$

Sendo:

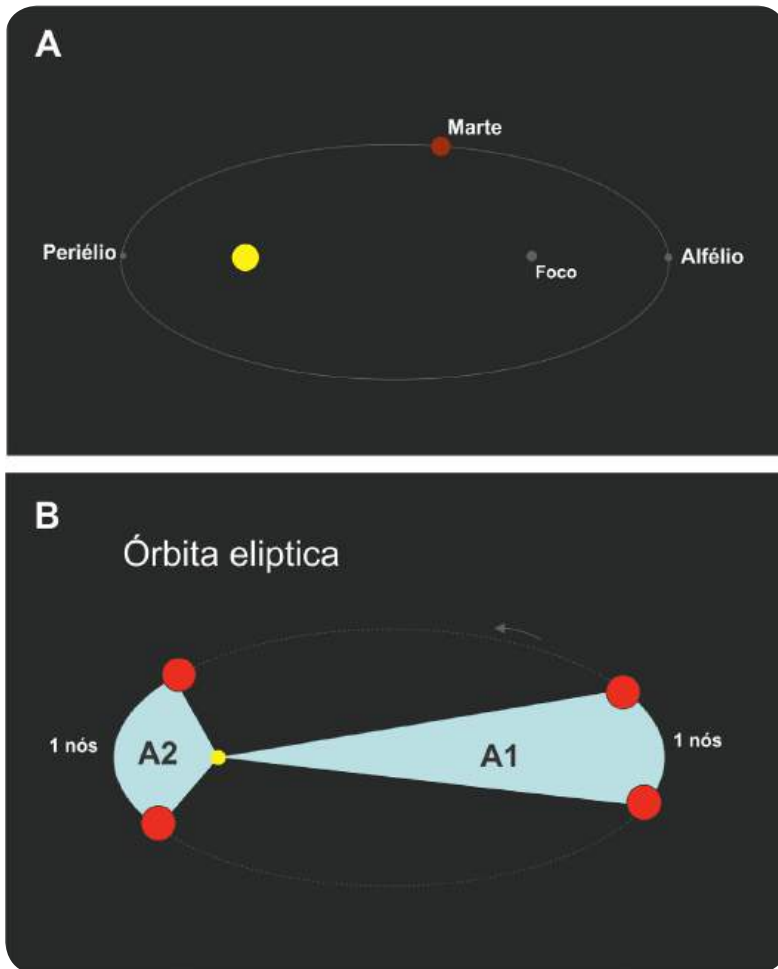
T = período orbital (unidade de tempo);

M = massa de um planeta;

G = constante gravitacional;

r = raio da órbita.

Figura 13 – (a) Lei das órbitas e (b) Lei das áreas de Kepler



Fonte: https://social.stoa.usp.br/articles/0041/7644/6_-Tycho_Brahe_e_Kepler.pdf

Nesta Unidade, fizemos uma abordagem introdutória sobre a evolução de alguns conceitos da Física, principalmente no que tange aos modelos cosmológicos a partir da sede dos filósofos gregos da antiguidade pelo conhecimento com o intuito de compreender de forma racional a natureza do universo. Apresentamos os principais pensadores e cientistas/físicos que contribuíram com o passar dos séculos de maneira mais contundente para alcançarmos o modelo cosmológico da chamada Nova Astronomia.

ATIVIDADES

- 1 A partir do séc. VI a.C., na Grécia Antiga, surgiram novos modelos de pensamento, às vezes misturados ainda com a mitologia, em que buscavam um entendimento racional sobre os fenômenos da natureza, fossem terremotos, tempestades ou eclipses. Dessa forma, analise e comente como as mudanças socioculturais ocorridas na Grécia Antiga foram influentes para a evolução da ciência.
- 2 Platão acreditava que os sentidos demonstram as coisas como múltiplas e imutáveis, ou seja, os sentidos são cópias imperfeitas das ideias, ao passo que a razão nos mostra sua unidade e permanência. Assim, ele procurou reconciliar os dois pontos de vista dividindo a realidade em duas partes (mundo dos sentidos e mundo das formas) e lançou o conceito de realidade utilizando a ilustração do mito da caverna. Comente sobre o mito (alegoria) da caverna de Platão e como devemos interpretá-lo.
- 3 Quais as principais semelhanças e diferenças entre os modelos cosmológicos de Aristóteles, Ptolomeu, Tycho Brahe e Kepler?
- 4 As chamadas leis de Kepler não foram chamadas de leis por ele, sendo apresentadas sem qualquer destaque no meio de especulações relacionando harmonia musical com o movimento planetário. Explique em maiores detalhes as leis que hoje conhecemos como as três leis de Kepler.

BASSALO, José Maria Filardo; FARIAS, Robson Fernandes de. **Para Gostar de Ler a História da Física**. Campinas: Editora Átomo, 2010.

PIRES, Antonio S. T. **Evolução das ideias da física**. São Paulo: Livraria da Física, 2011. 478p.

ROCHA, J. F.; PONOZEK, R. I. L.; de PINHO, S. T. R.; ANDRADE, R. F. S.; FREIRE JUNIOR, O.; RIBEIRO FILHO, A. **Origens e Evolução das Ideias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

2

UNIDADE

MÉTODO CIENTÍFICO DE GALILEU A NEWTON

Objetivos

- Conhecer os principais filósofos e estudiosos que ajudaram a consolidar os métodos científicos, destacando seus principais trabalhos;
- Compreender os conceitos e princípios básicos que acompanham as concepções da ciência.

2.1 Introdução

Ainda no início do século XVII, pairavam sobre os filósofos preocupações concernentes à existência de um método científico para investigar a natureza. O método científico consiste analisa e desenvolve experiências com a finalidade de produzir conceitos, conforme um determinado conjunto de regras básicas, a fim de retificar e compor conhecimentos consolidados. Os métodos utilizados pelos estudiosos consistiam em métodos indutivos ou dedutivos, adotados, por exemplo,

por grandes estudiosos como Francis Bacon (1561-1626) e René Descartes (1596-1650), respectivamente.

Podemos lembrar que muitos filósofos e estudiosos se detiveram a analisar o movimento dos corpos e suas causas levantando várias especulações científicas. A queda dos corpos, o movimento dos projéteis, o movimento no vazio e suas consequências inerciais foram objetos de estudo nos quais convergiam às discussões desde a época de Aristóteles (384 e 322 a.C.) até Galileu (1564-1642). Conforme os aristotélicos, os movimentos naturais, assim como a queda dos corpos, tinham como objetivo proporcionar a ordem em um universo que possuía uma hierarquia bem definida e organizada, na qual cada elemento possuía o seu lugar natural. Porém, na concepção de Galileu, o universo não possuía as hierarquias aristotélicas, para ele, tratava-se de algo mais amplo e finito do que o idealizado por Copérnico. Dessa forma, Galileu admitia apenas um movimento perpétuo em trajetórias circulares, chegando à conclusão de que em um movimento com aceleração constante, a velocidade de um corpo varia uniformemente com o tempo e o movimento de um objeto sob a ação da gravidade (sem resistência do ar) é o seu mais notável exemplo, desconsiderando, portanto, a causa ou causas do movimento. Galileu simplesmente não sabia por que a queda dos corpos, sem resistência do ar, independia de suas massas. A explicação aceita hoje em dia pela comunidade científica foi estipulada por Isaac Newton (1642-1727), que conceituou precisa e claramente o conceito de força.

Nesta Unidade, apresentaremos a evolução da chamada revolução científica baseada no método científico, que buscava entender de maneira mais precisa a natureza. Assim, apresentaremos os principais filósofos, estudiosos e suas considerações para um entendimento mais profundo de conceitos físicos pertinentes ao cotidiano.

2.2 Princípio do método científico

Estima-se que a gênese do método científico está correlacionada aos métodos aplicados por Aristóteles (384 e 322 a.C.), criando na prática a reconhecida ciência

da lógica, cuja definição se baseava na arte e no método de pensar corretamente, sendo puramente racional e prevalecendo até os dias atuais como uma das grandes criações da mente humana, afinal suas ideias influenciaram o mundo ocidental por mais de dois mil anos.

Conforme Aristóteles, se poderia fazer generalizações de determinada situação a partir da observação apenas e, portanto, não haveria necessidade de verificação experimental, cujos resultados qualitativos seriam baseados exclusivamente pelo senso comum. Ele foi o primeiro a efetuar o processo do raciocínio dedutivo na forma de silogismo, ou seja, estruturar formalmente o raciocínio a partir de duas proposições, que são as premissas, das quais se obtém por dedução uma terceira, a conclusão. Por exemplo:

- a) Todos os homens são mortais.
- b) Os gregos são homens.
- c) Portanto, os gregos são mortais.

No contexto da Física, Aristóteles contribuiu também com algumas ideias, tais como: todos os corpos se movem de forma a ocupar seu lugar natural. Sendo esse movimento sempre linear, como por exemplo, a pedra caindo verticalmente para baixo ou o fogo subindo verticalmente para cima. E ainda, tudo que se move deve ser movido por alguma coisa. Outra ideia bastante analisada posteriormente consiste na afirmação de que corpos mais pesados caem mais rápido do que os corpos mais leves.

Não há dúvidas de que os argumentos são corretos conforme as regras adotadas por Aristóteles, porém, o que significa afirmar que o argumento é um argumento correto? Significa apenas que a conclusão segue a lógica das premissas, ou seja, a conclusão não pode ser falsa se as premissas são verdadeiras, desde que a conclusão contenha pura e simplesmente as informações encontradas nas premissas. Todavia, um questionamento sugere a seguinte indagação: o argumento é verdadeiro? Concorde com a experiência? Parece que a resposta não é tão óbvia,

já que, possivelmente, podemos construir um argumento correto que satisfaça as condições e regras da lógica formal e paralelamente tirar conclusões que não condizem com nossas experiências.

2.3 Galileu Galilei e o método científico

Galileu Galilei (1564-1642) foi o precursor na investigação sistemática de fenômenos físicos ao demonstrá-los, realizando medições em ambientes isolados e condições termodinâmicas controladas.

Figura 14 – Galileu Galilei



Fonte: fisicafacip.wordpress.com/biografias/galileu-galilei/



VÍDEO: Veja mais sobre Galileu Galilei no link abaixo.
<https://www.youtube.com/watch?v=mLQ6ptlofGs>

- Queda Livre

Relata-se que no segundo ano na Universidade de Pisa, observando um candelabro preso ao teto da catedral, Galileu propôs que a duração de uma oscilação seria constante independente da amplitude alcançada utilizando seu pulso como relógio. Entretanto, estima-se que esse tal candelabro foi instalado vários anos após esse acontecimento. Essa história, bem como a afirmação de que Galileu deixou cair pesos do alto da Torre de Pisa, encontram-se na biografia apologética escrita por Vincenzo Viviani.

Galileu não apoiava a teoria aristotélica de que corpos pesados chegariam mais rapidamente ao solo do que os corpos leves, quando soltos simultaneamente de uma mesma altura, pois isso se devia à resistência do ar. Ele acreditava que na ausência do ar, todos os corpos cairiam com a mesma aceleração. Porém, como provar essa hipótese, em uma época em que nem mesmo o relógio havia sido inventado? Galileu ainda realizou vários experimentos sobre a queda dos corpos, que ainda seriam utilizadas muitos anos mais tarde nos seus dois livros mais importantes: *O Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico ecopernicano* (terceiro livro), e *Discurso e demonstrações matemáticas em torno de duas novas ciências* (quarto livro). Galileu mandou construir um trilho inclinado, em que esferas poderiam rolar livremente, simulando um movimento de queda livre com menor aceleração (Figura 15). Um experimento para comprovar a estimativa de Galileu, com um martelo e uma pena de falcão (veja o vídeo a seguir), ainda foi realizado na lua, em 1971, pelo astronauta Dave Scott, na missão APOLO XV.

Figura 15 – Trilho inclinado.



Fonte: <https://sites.google.com/site/conexaocientifica/aplicacoes-do-metodo/galileu-e-a-queda-dos-corpos-graves->



VÍDEO: Experimento do martelo e a pena
<https://www.youtube.com/watch?v=HqcCpwleiu4>

- Experimentos Mentais

A chamada técnica de execução de experimentos mentais teve seu pioneirismo na pessoa de Galileu Galilei, que como o próprio nome sugere, os experimentos mentais são idealizados, executados e analisados na mente do cientista, cuja vantagem está na possibilidade de simular situações difíceis ou quase impossíveis de se executar na prática.

Um bom exemplo desse tipo de experimento pode ser verificado no quarto livro de Galileu, sobre o *Discurso e demonstrações matemáticas em torno de duas novas ciências*. Essas duas ciências seriam a resistência dos materiais e o estudo

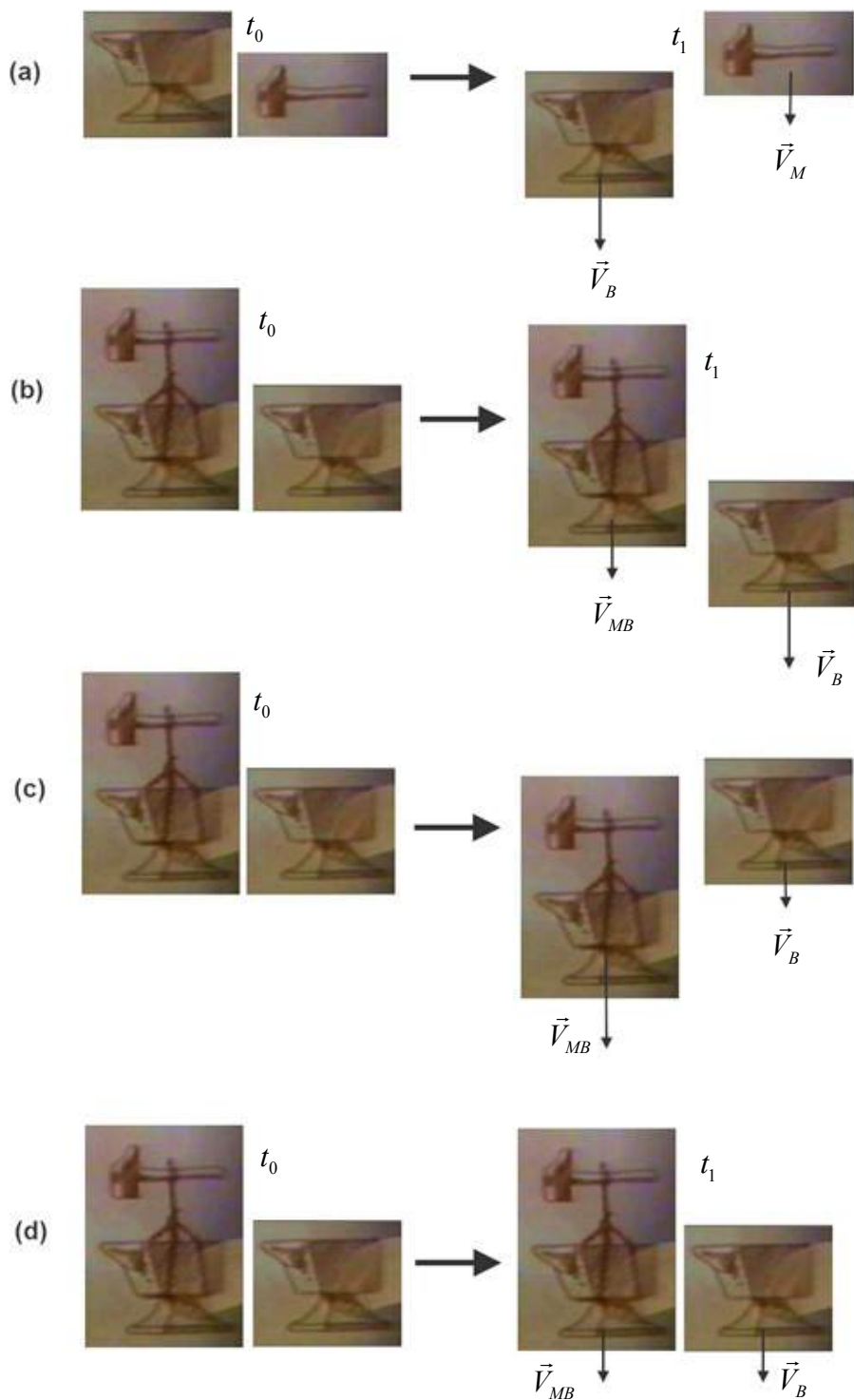
do movimento, em que Galileu critica a afirmação de Aristóteles de que se duas pedras, uma pesando dez vezes mais que a outra, fossem soltas ao mesmo tempo e caindo da mesma altura, a mais pesada chegaria ao solo primeiro. Na concepção de Aristóteles, corpos mais pesados deveriam cair mais rápido, $\vec{V}_B > \vec{V}_M$ (velocidade da bigorna maior que a velocidade do martelo - Figura 16(a)) considerando dois instantes de tempo distintos (t_0 e t_1). Por outro lado, Galileu idealizou que se um corpo leve fosse amarrado a um corpo pesado, o leve atrasaria a queda do mais pesado, ou seja, $\vec{V}_B > \vec{V}_{MB}$, (velocidade da bigorna maior que a velocidade do martelo/bigorna - Figura 16(b)). No entanto, isso entraria em contradição com a ideia de que os corpos mais pesados (martelo amarrado à bigorna) deveriam cair mais rápido do que os mais leves (martelo), conforme a Figura 16 (c), $\vec{V}_{MB} > \vec{V}_B$. Contudo, Galileu concluiu que todos os corpos deveriam cair com a mesma aceleração, $\vec{V}_B = \vec{V}_{MB}$. Conta-se ainda que, Galileu reuniu uma grande multidão em torno da torre inclinada de Pisa para demonstrar sua hipótese sobre a queda livre dos corpos (Figura 17).

- Velocidade da Luz



VÍDEO: Prova da teoria de Galileu sobre a Lei da Queda dos Corpos
<https://www.youtube.com/watch?v=yHq3ieQVw0s>

Figura 16 – Estimativa das velocidades entre corpos com massas diferentes.



Fonte: <http://www.profanderson.net/files/aulasempowerpoint.php>

Figura 17 – Demonstração de Galileu na torre de Pisa



Fonte: <https://meiobit.com/302372/demonstrando-a-gravidade-com-queda-livre-de-bola-de-boliche-e-monte-de-penas-em-camara-gigante-de-vacuo-na-terra/>

Até o século XVII (1601-1700), ninguém havia sequer pensado que a luz pudesse ter velocidade. Era assumido pela comunidade científica que a luz era um fenômeno instantâneo com velocidade infinita, dessa forma, Galileu foi o primeiro a considerar que a luz pudesse demandar um tempo para propagar-se de um ponto a outro e, portanto, finita. Em 1638, Galileu tentou realizar seu experimento a fim de fazer a primeira medição da velocidade da luz na história, mas não obteve êxito, apesar de utilizar um método muito simples na ocasião (Figura 18). Ele e um assistente ficaram a uma distância de mais ou menos um quilômetro ou mais, segurando lanternas que podiam ser cobertas e descobertas, cuja finalidade seria observar se havia qualquer atraso perceptível entre a luminosidade das duas lanternas. Contudo, esse experimento foi inconclusivo, mas com a certeza de que “se a velocidade da luz não for instantânea e infinita, é extraordinariamente muito rápida”.

Importante destacar ainda que Galileu transformou o telescópio em um poderoso mecanismo de exploração, sendo ele o primeiro a publicar uma descrição

Figura 18 – Experiência de Galileu na tentativa do cálculo da velocidade da luz.



Fonte: <https://www.timetoast.com/timelines/history-of-the-speed-of-light>

do universo visto por meio dele. Vale ressaltar também que o telescópio foi o primeiro instrumento artificial a ser usado no estudo da Natureza e que o primeiro foi construído em 1609. Galileu ficou famoso através de suas descobertas utilizando o telescópio e, em 1610, publicou seu primeiro trabalho científico, o *Sidereus Nuncius* (Mensageiro das Estrelas). Destacam-se alguns dos seus importantes trabalhos: descrição da lua, com suas montanhas, provando que não era suave e uniforme, e estimativa das alturas dessas montanhas na superfície da lua; observação de que as estrelas vistas através do telescópio estavam a uma enorme distância da Terra; descoberta de mais de quinhentas estrelas nunca vistas antes; descobriu

os quatro satélites de Júpiter, considerada sua descoberta mais importante. Ainda fez descobertas posteriores à publicação do primeiro livro: as fases de Vênus; os anéis de Saturno e as manchas solares. Ressalta-se, por fim, que o comportamento de Galileu ao interpretar suas observações astronômicas demonstrava um grande comprometimento com a doutrina copernicana, porém seus estudos através do telescópio desviaram sua atenção dos trabalhos relacionados à queda dos corpos e movimento dos projéteis.

2.4 Os métodos indutivo e dedutivo

Sendo o método científico uma das grandes inquietudes dos filósofos e estudiosos do início do século XVII, alguns estudiosos se destacaram no tema. Dentre eles, podemos citar os principais líderes, como o advogado, filósofo e estadista britânico Francis Bacon (1561-1626), enfatizando o método indutivo e moderando-o a um conjunto de regras, enquanto que o francês René Descartes (1596-1650) enfatizou o método dedutivo como um método de condução da pesquisa científica.

Francis Bacon (Figura 19) discordava da lógica aristotélica ensinada nas escolas e considerava um instrumento inadequado para o estudo da natureza, apesar de concordar que a experiência era importante para o aprendizado das leis naturais, contanto que não se utilizasse métodos antigos, mas novas práticas e princípios. Ele persistiu na importância do registro das experiências realizadas, na comprovação de dados medidos por meio de repetições sucessivas e na desconfiança de resultados publicados sem este método. No campo da Astronomia, Bacon era favorável ao modelo cosmológico de Tycho Brahe, apesar de lamentar que o modelo não possuísse formulação matemática detalhada, chegando a afirmar que do ponto de vista matemático, o modelo cosmológico de Copérnico era satisfatório, mas que a Física não descrevia vários detalhes. Ainda discordou do método de Galileu de transformar o problema do movimento em um problema de um corpo geométrico se movendo em um espaço geométrico.

Figura 19 – Francis Bacon



Fonte: <http://ghiraldelli.pro.br/filosofia/francis-bacon-e-experiencia.html>

As ideias de Francis Bacon influenciaram outros estudiosos que adotaram a tese de que a experiência era o que mais importava no estudo da Natureza. Um estudioso influenciado foi o irlandês Robert Boyle (1627-1691), químico e filósofo, ele corroborou com a Lei de Boyle estudada em Termodinâmica. Na tentativa de clarear o campo intelectual, Boyle (Figura 20) insistiu nas exposições claras e na repetição dos experimentos e noções mecânicas de processos químicos, pois a teoria estava obscura e com uma literatura inacessível quanto a possíveis modificações. Escreveu que somente os dados alcançados através das experiências deveriam ser de uso permanente, sendo as teorias aceitáveis ou não.

Figura 20 – Robert Boyle.



Fonte: <http://www.profcardy.com/maticos/individuos.php?pid=139>

Em outra linha do método de condução da pesquisa científica, surge o método dedutivo, cuja concepção constituía-se de elementos matemáticos, apresentado por René Descartes (1596-1650), considerado por alguns estudiosos como o pai da Filosofia Moderna. Essa concepção de Descartes foi defendida por matemáticos jesuítas que argumentavam a favor do papel da Matemática no entendimento da Natureza, em virtude das ideias propagadas pelos aristotélicos que acreditavam que a Matemática não se aproximava da essência da Natureza, mas apenas das propriedades quantitativas superficiais. A Filosofia de Descartes foi importante também para os estudos de Isaac Newton no que tange aos estudos pertinentes à mecânica.



VÍDEO: Mais sobre René Descartes no link a seguir
<https://www.youtube.com/watch?v=We3WMDmr-8SY>

2.5 Aperfeiçoamento do método científico

A despeito dos novos padrões de divulgação científica, estabelecidos a partir da Inglaterra e França ainda no início do século XVII, carecia-se de um método mais confiável que norteasse a pesquisa científica. Nesse contexto, Isaac Newton (1642-1727) consolidou o chamado método científico proposto por Galileu Galilei (1564-1642).

Isaac Newton (Figura 21) sintetizou sua mecânica (mecânica newtoniana) em três leis do movimento (as Leis de Newton) consideradas simples e concisas, resolvendo os problemas impostos pela mecânica à gravidade constante:

- Lei I: *Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que seja forçado a mudar aquele estado por forças aplicadas sobre ele.*

- Lei II: *A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção de linha reta na qual aquela força é imprimida.*
- Lei III: *A toda ação há sempre uma reação oposta e de igual intensidade – ou as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas em sentidos opostos.*

Figura 21 – Isaac Newton



Fonte: Pires (2011).



VÍDEO: Mais sobre a vida de Isaac Newton no link a seguir
<https://www.youtube.com/watch?v=4ZIYMMj2ewE>
<https://www.youtube.com/watch?v=BvAu6qY9ETQ>

O cálculo diferencial-integral foi proposto por Newton e Leibniz (Gottfried Wilhelm von Leibniz, 1646-1716) devido às necessidades em solucionar os problemas vinculados à mecânica (assista ao vídeo a seguir). E, com a proposição e incorporação da Lei da Gravitação, estendeu-se a possibilidade da aplicação das três Leis de Newton aos confins do universo.



VÍDEO: Cálculo Diferencial e Integral – Newton ver-
sus Leibniz
<https://www.youtube.com/watch?v=q9ywLsY36dg>

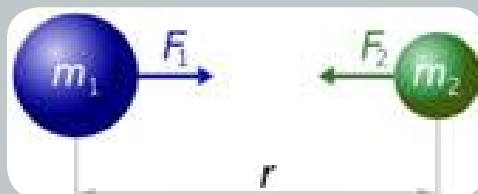


Atenção!

Lei da Gravitação Universal:

Dados dois corpos de massa m_1 e m_2 , a uma distância r entre si, esses dois corpos se atraem mutuamente com uma força F que é proporcional à massa de cada um deles e inversamente proporcional ao quadrado da distância que separa esses corpos (Equação 2). (2)

$$F_1 = F_2 = G \frac{(m_1 m_2)}{r^2}$$



Retomando a uma das contribuições de Robert Boyle – Lei de Boyle (Equação 3), estabeleceu-se uma relação entre a pressão (p) e o volume (V) dos gases. Diante disso, Newton utilizou forças para representar a interação entre as moléculas gasosas com base num modelo matemático e, dessa forma, conseguiu derivar a Lei de Boyle. A partir desse modelo, Newton conseguiu presumir o valor da velocidade do som no ar, sendo que através de experiências realizadas por outros pesquisadores, de maneira independente, confirmaram a previsão de Isaac Newton. (3)

$$pV = \text{constante}$$

Acredita-se que a maior parte dos trabalhos experimentais de Newton está descrita em seu livro *Optiks*, publicado em 1704. Toda a parte experimental dos trabalhos de Newton foi condicionada ao exame exaustivo do objeto de pesquisa, através da elaboração, testes e comprovação de hipóteses, para que culminasse em uma teoria consistente. Por isso, durante o século XVIII e início do século XIX, o livro de Newton foi o modelo de pesquisa experimental nos campos de estudo do calor, luz, eletricidade, magnetismo e até mesmo na química dos átomos.

RESUMO

Nesta Unidade, procuramos apresentar de forma sucinta a evolução e busca por um método científico preciso desde os trabalhos de Galileu Galilei até Isaac Newton, mencionando ainda grandes cientistas que contribuíram para essa evolução. Entendemos que desde a Grécia Antiga até os dias atuais, se aceita que ao lado da classificação há dois sistemas lógicos básicos para a construção da ciência: indução e dedução. Esses dois sistemas podem compreender à seguinte sequência: (I) após as observações obtêm-se os fatos ou dados; (II) à luz dos princípios lógicos conhecidos e aplicáveis analisam-se os fatos e/ou dados; (III) formulam-se as hipóteses que expliquem os fatos; (IV) utilizando as hipóteses preveem-se fatos adicionais ou consequências que poderão ser utilizadas para testes futuros. Por outro lado, o método não tem muito a ver com os passos seguidos pelos pesquisadores para alcançarem suas descobertas, ou seja, não é uma regra. Muito menos não se propõe um método para construir ciência, mas torna-se um método que a julga, uma vez construída, e será regra para analisar as descobertas. Detivemo-nos à apresentação do método científico aplicado especificamente na ciência, cujo resultado nos fornece uma imagem coesa da natureza, mesmo que não completa, de nosso planeta e universo, constantemente testada.

ATIVIDADES

- 1 Quais seriam os pontos de vista, considerando o método científico, dados por um aristotélico (teórico do impetus) e por um galileano sobre a queda de duas pedras com diferentes massas soltas de uma torre de observação, conforme exemplificado por Galileu Galilei da torre inclinada de Pisa?
- 2 Quais as ideias que Galileu defende em dois dos seus principais livros, o *Diálogo* e o *Discurso*? Qual a relação com a discussão sobre método científico?
- 3 Quais as principais ideias defendidas por Francis Bacon e René Descartes relacionadas à existência de um método científico?
- 4 Discorra sobre a relevância de Isaac Newton para a ciência, destacando seus principais trabalhos.
- 5 Qual a concepção de ciência que permeia a seguinte afirmação de Newton sobre a forma como se deve fazer ciência, e sob que contexto histórico se pode entendê-la: “A filosofia natural consiste em descobrir a estrutura e as operações da natureza, e em reduzi-las, tanto quanto possível, a regras ou leis gerais – estabelecendo essas regras através de observações e experimentos e, a partir destes, deduzindo as causas e efeitos das coisas [...]”?

REFERÊNCIAS

BASSALO, José Maria Filardo; FARIAS, Robson Fernandes de. **Para Gostar de Ler a História da Física**. Campinas: Editora Átomo, 2010.

PIRES, Antonio S. T. **Evolução das ideias da física**. São Paulo: Livraria da Física, 2011. 478p.

ROCHA, J. F.; PONOZEK, R. I. L.; de PINHO, S. T. R.; ANDRADE, R. F. S.; FREIRE JUNIOR, O.; RIBEIRO FILHO, A. **Origens e Evolução das Ideias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2002.



UNIDADE

ASCENSÃO DA TERMODINÂMICA E TEORIA ELETROMAGNÉTICA

Objetivos

- Compreender a importância dos avanços nos estudos da termodinâmica, destacando as principais teorias e seus idealizadores;
- Entender o surgimento e a estruturação da teoria eletromagnética e as contribuições que levaram à percepção da conexão entre a eletricidade e o magnetismo.

3.1 Introdução

Atualmente, compreende-se a importância da termodinâmica e do eletromagnetismo por estarem presentes em nossa rotina, seja no aquecimento ou resfriamento de algum alimento ou a sensação de quente e frio em nosso corpo, o acender e desligar de uma lâmpada, o funcionamento de eletrodomésticos etc. Entretanto, para se atingir a compreensão adequada e coerente desses fenômenos, baseados em princípios físicos trilhou-se um caminho árduo ao longo de séculos

de conjecturas, de ideologias simples às mais sofisticadas que envolveram o empenho e dedicação de vários cientistas. A seguir, destacamos algumas teorias e conceitos sobre o calor e seus respectivos idealizadores que resultaram no que hoje conhecemos como as leis da termodinâmica, tão presentes em nosso cotidiano. Na sequência, expomos um breve relato acerca da eletricidade e magnetismo, destacando os principais físicos e cientistas, que após muitos estudos ao longo de décadas cooperaram na unificação das teorias que resultaram na teoria do eletromagnetismo.

3.2 Teorias sobre calor

A princípio, na antiguidade, apresentou-se a concepção de que o calor era algo que fluiria de objetos quentes para objetos frios, mas no século XVII por meio do cientista inglês Robert Hooke (1635-1703), que foi assistente de Robert Boyle (Figura 20), foi definido como propriedade de um corpo despontando do movimento ou agitação de suas partes, ou seja, se o corpo fosse tocado, ele receberia parte daquele movimento e suas partes ficariam em agitação. Por outro lado, Isaac Newton (Figura 21), explicando o motivo pelo qual um corpo aquecido, acima de certa temperatura, emitia luz e brilhava, sugeriu que quando a luz é absorvida por um corpo, ela causaria vibrações que seriam percebidas pelos nossos sentidos como calor.

Figura 22 – Robert Hooke



Fonte: mundoeducacao.bol.uol.com.br/biologia/robert-hooke.htm

Posteriormente, o alemão Georg Ernst Stahl, em 1697, propôs a teoria do flogisto (significa: queimado). O termo não passava apenas de uma ideia sem definição rigorosa, ou seja, as substâncias que queimassem bem seriam ricas em flogisto e aquelas que não queimassem muito bem seriam pobres em flogisto. Por exemplo: o carvão queima muito bem deixando pouco resíduo porque ele é rico em flogisto.

Figura 23 – Georg Ernst Stahl



Fonte: <https://fineartamerica.com/featured/georg-ernst-stahl-granger.html?product=beach-towel>

Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794), quase um século depois, no final do século XVIII (1770), propôs uma nova teoria que superou a teoria do flogisto, essa teoria ficou conhecida como teoria do calórico. Lavoisier (Figura 24(a)), considerado o pai da Química Moderna e que ficou conhecido pela proposição da lei de conservação da massa, inferiu que o calórico seria uma substância invisível que pode penetrar em qualquer corpo (Figura 24(b)). Dessa forma, assim como o flogisto, seria concebido como uma substância que fluiria de um corpo mais quente para um corpo mais frio. A teoria do calórico sobre a natureza do calor perdurou até meados do século XIX, pois era uma teoria consistente com alguns argumentos convincentes, como por exemplo, que a temperatura dependia da densidade de

calórico na superfície do corpo, e que, para aumentar a temperatura, deveria se fornecer calórico ao corpo, entre outros argumentos. Porém, nem tudo estava explicado de maneira satisfatória, pois a teoria não contemplava, por exemplo, a explicação sobre o calor gerado por atrito – quando dois objetos são esfregados um contra o outro eles se aquecem. Mas, de onde vem o calor?



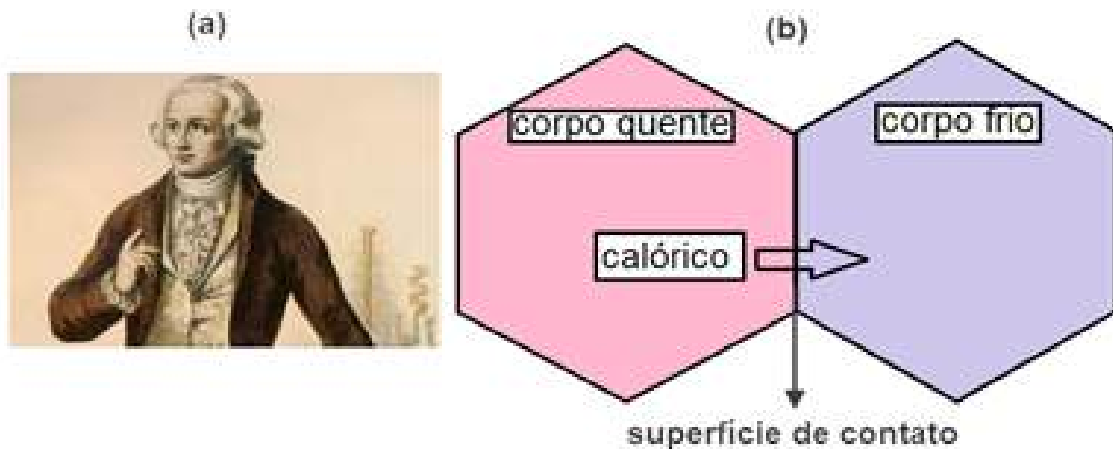
SAIBA MAIS

Princípio de Conservação da Massa

"Devemos aceitar como um axioma incontestável que, em todas as operações da arte e da Natureza, nada é criado: uma quantidade idêntica de matéria existe antes e depois do experimento. Esse princípio é fundamental na arte da experimentação em química".

Lavoisier, 1789

Figura 24 – (a) Lavoisier e (b) ilustração da Teoria do Calórico



Fonte: <https://history-biography.com/antoine-lavoisier/>

Na década de 1790, o norte-americano Benjamim Thompson (1753-1814) teve a ideia de que o calor era um tipo de movimento interno de um corpo material e não uma substância. Segundo os historiadores, ele se tornou espião inglês apoiando a coroa britânica, preso sob suspeita, mas sem provas, acabou sendo liberado, em

seguida abandonou a esposa e uma filha, indo para a Europa. Lá, se tornou Ministro da Guerra na Baviera, recebendo o título de Conde Rumford pela reorganização do exército alemão. Conde Rumford (Figura 25), observando a perfuração de canos de canhões numa fábrica de armas em Munique, percebeu que enormes quantidades de calor eram geradas por atrito entre os torneadores e o metal, e que ainda era necessário mergulhar a peça em um tanque com água, que aquecia a ponto de ferver. Para o Conde, este comportamento não poderia ser explicado pela teoria de Lavoisier, porque se o calor fosse um fluido, uma substância, seria consumido muito rápido, no entanto, o calor produzido continuava a ser liberado no processo de perfuração dos canos dos canhões. Logo, ele concluiu que o calor devia ser uma forma de movimento, sem dar mais explicações.

Figura 25 – Conde Rumford observando a perfuração no canhão



Fonte: http://www.ifsc.usp.br/~donoso/termodinamica/Historia_Termodinamica.pdf

O desenvolvimento das ideias do Conde Rumford veio posteriormente, por meio de um artigo do médico alemão chamado Julius Robert von Mayer (1814-1878) intitulado *Observações sobre as forças da natureza inanimada*, publicado em 1842. Em uma viagem para as Índias Orientais Holandesas (atual Indonésia), Mayer (Figura 26) notou que o sangue de seus pacientes possuía uma cor mais vermelha, em vez de um sangue escuro, devido o consumo de menos oxigênio. Em paralelo, os pacientes consumiam menos energia para manter a temperatura de seus corpos em um clima mais quente. Essas e outras observações levaram von Mayer a descobrir que o calor e o trabalho mecânico eram formas de energia, mas não conseguiu apresentar suas ideias e a proposta de conservação de energia de forma coerente.

Figura 26 – Julius Robert von Mayer

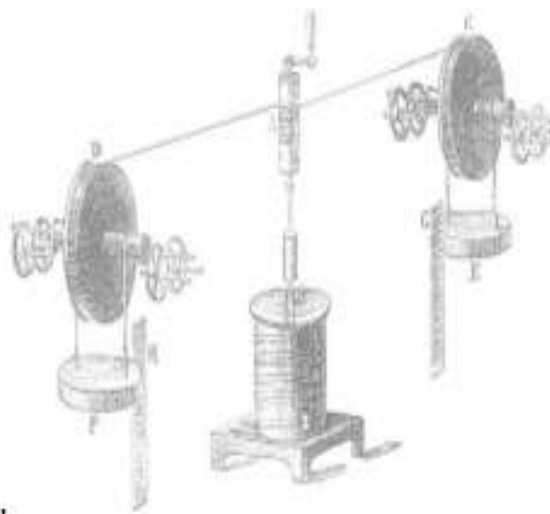


Fonte: fineartamerica.com/featured/1-julius-robert-von-mayer-photo-researchers.html?product=greeting-card

O físico francês James Prescott Joule (1818-1889) demonstrou, em 1840, de forma conclusiva que o trabalho mecânico podia gerar calor e determinou seu equivalente mecânico. Joule (Figura 27(a)) utilizou um recipiente (chamado: calorímetro) cheio de água, com um eixo de rotação vertical (agitador), no qual um conjunto de palhetas foi fixado (Figura 27(b)). O atrito das palhetas aquece a água, sendo que a variação da temperatura é determinada por um termômetro

correspondendo a certo número de calorias, já o trabalho mecânico equivalente é medido pela altura da queda dos pesos, ou seja, o trabalho realizado pelo peso de um objeto em queda é convertido em calor transferido à água. Joule também propôs uma teoria de conservação de energia, mas ninguém acreditava que ele estivesse correto, e somente com o trabalho de William Thomson (1824-1907), mais conhecido como Lord Kelvin, reconheceu-se a importância do trabalho de Joule, e assim, a ideia sobre conservação de energia passou a ser aceita.

Figura 27 – (a) James Prescott Joule e (b) seu aparato experimental para a medição do equivalente mecânico.



Fonte: <https://www.geocities.ws/saladefisica9/biografias/joule.html>



VÍDEO: Entenda mais sobre o Equivalente Mecânico de Calor no link abaixo
<https://www.youtube.com/watch?v=mRu4Wdi5IP8>



SAIBA MAIS:

Princípio de Conservação de Energia: *estipula que a quantidade de energia, em um sistema isolado, permanece constante.*

Nas palavras do físico, médico e matemático alemão Hermann von Helmholtz em 1847: *“De uma investigação similar de todos os outros processos físicos e químicos conhecidos, chegamos à conclusão de que a Natureza como um todo possui um depósito de força que não pode de maneira alguma aumentar ou diminuir, e, portanto, a quantidade de força na Natureza é tão eterna e imutável quanto a quantidade de matéria. Expressa dessa forma, eu chamei a lei geral de O princípio de conservação de força (energia)”.*

3.3 Leis da Termodinâmica

Quando se constatou que o calor era uma forma de energia e que poderia ser transferido como energia térmica de um sistema ou corpo para outro, em virtude da diferença de temperaturas entre eles, a chamada Termologia passou a ser chamada de Termodinâmica. Assim, a Termodinâmica, nomenclatura adotada por Lord Kelvin em 1854, e que se refere ao estudo do movimento do calor, é dedicada ao estudo de um número muito grande de partículas, relacionando calor, energia e trabalho, analisando quantidades de calor trocadas e os trabalhos realizados em processos físicos.

Os conhecimentos das Leis da Termodinâmica se aplicam em várias situações do cotidiano, incluindo, as situações que envolvem máquinas térmicas e refrigeradores, motores de carros, processos de transformação de minérios e derivados do petróleo. Contudo, as Leis da Termodinâmica regem o modo como o calor se transforma em trabalho e vice-versa.

3.3.1 Lei Zero da Termodinâmica

Curiosamente, a Lei Zero foi a última lei a ser introduzida na literatura e formulada pelo físico britânico Ralph Howard Fowler (1889-1944). Esta lei trata sobre as condições para a obtenção do equilíbrio termodinâmico.

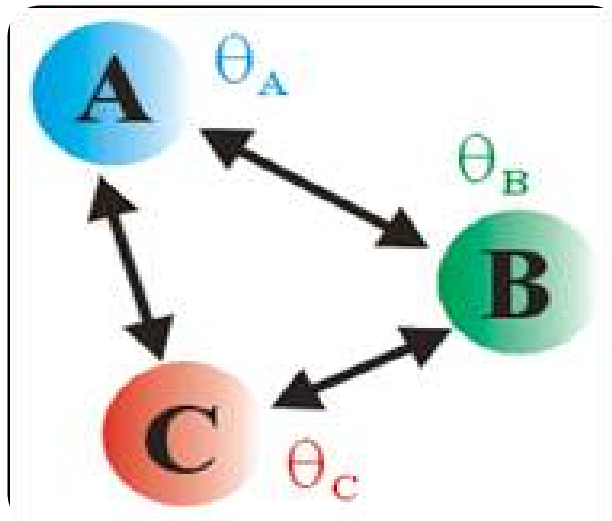
Enunciado:

Se um corpo A está em equilíbrio térmico em contato com um corpo B, e se esse corpo A está em equilíbrio térmico em contato com um corpo C, logo, B está em equilíbrio térmico em contato com o corpo C.

Conforme a Figura 28, não há troca de calor entre os corpos (Equação 3). E assim, essa lei garante a possibilidade de usarmos um termômetro para averiguar se dois corpos estão em equilíbrio térmico, através da comparação entre suas temperaturas (θ). (3)

$$\theta_A = \theta_B = \theta_C.$$

Figura 28 – Ilustração da Lei Zero da Termodinâmica



Fonte: <http://www.edukapa.com.br/FisicaNet/Modulo075.htm>

¹ https://pt.wikipedia.org/wiki/Ralph_Howard_Fowleridem

3.3.2 Primeira Lei da Termodinâmica

A Primeira Lei da Termodinâmica trata da conservação de energia, ou seja, a energia em um sistema não pode ser destruída nem criada, apenas transformada. Este é um princípio básico da Física, estabelecendo que exista uma grandeza abstrata, chamada de energia, cujo valor numérico permanece constante nas várias mudanças que a Natureza sofre. Esta lei enuncia que a energia total transferida para um sistema é igual à variação da sua energia interna (ΔU). Logo, podemos estabelecer que exista uma função U (energia interna) cuja variação durante uma transformação depende unicamente de dois estados, o inicial (U_i) e o final (U_f). Em um sistema fechado a indicação desta variação é dada como:

$$\Delta U = U_f - U_i = Q - W, \quad (4)$$

sendo, Q e W , respectivamente, o calor e o trabalho trocados entre o sistema e o meio. As quantidades Q e W são positivas quando o sistema recebe energia em forma de calor (Q) e se expande (W). A energia interna, portanto, é definida como a soma das energias cinéticas e de interação de seus constituintes.



VIDEOS: Energia Interna e 1ª Lei da Termodinâmica nos links a seguir

<https://www.youtube.com/watch?v=XCOqHmwi-ls>

<https://www.youtube.com/watch?v=tu6onSQNKng>



SAIBA MAIS

A energia tem um número razoável de várias formas. Do ponto de vista prático, energia é a capacidade para realizar trabalho, no entanto, do ponto de vista científico, energia é uma ideia abstrata.

3.3.3 Segunda Lei da Termodinâmica

Há duas definições da Segunda Lei da Termodinâmica, uma de Rudolf Clausius (1822-1888), Figura 29(a), e outra de William Thomson (1824-1907), o Lord Kelvin, Figura 29(b):

- Enunciado de Clausius:

“É impossível realizar um processo cujo único efeito seja transferir calor de um corpo frio para um corpo mais quente”.

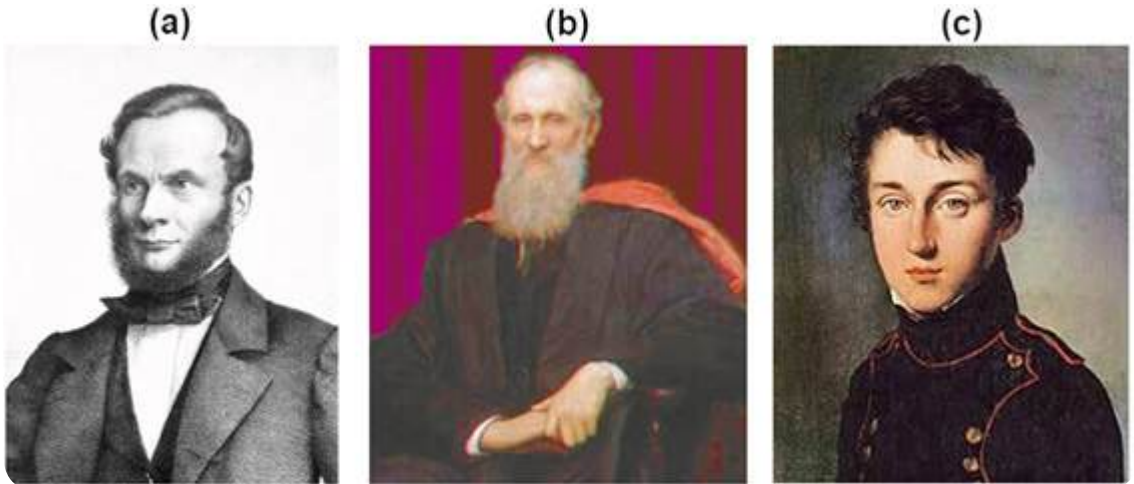
- Enunciado de Kelvin:

“É impossível realizar um processo cujo único efeito seja remover calor de um corpo e produzir uma quantidade equivalente de energia mecânica”.

Após o princípio de conservação da energia ser estabelecido, em 1850, Clausius concluiu que uma máquina a vapor seria um mecanismo que absorvia calor de um reservatório quente e convertia parte dele em trabalho, e o restante seria lançado em um reservatório frio. Assim, ele aceitou a ideia de Sadi Carnot (1796-1832), Figura 29(c), de que toda máquina térmica deveria descartar uma quantidade finita de calor, e com isso, a chamou de Segunda Lei da Termodinâmica, precisando ainda ser verificada experimentalmente. Em 1851, Lord Kelvin, após análise do ciclo de Carnot, demonstrou que existia na Natureza uma temperatura mínima que não poderia ser transcendida (mínimo de -273°C). Classicamente, seria a temperatura em que todas as moléculas de um corpo estariam em repouso – chamada de “zero absoluto”, levando a uma interpretação molecular do conceito de temperatura.

Contudo, após muitas análises, reconheceu-se que o calor era uma forma especial de energia, que não podia ser convertida completamente em outras formas, embora outras formas de energia pudessem ser completamente convertidas em calor, ou seja, alguma energia seria transformada em calor.

Figura 29 – (a) Clausius, (b) Kelvin e (c) Carnot



Fonte: <https://www.ebah.com.br/content/ABAAABhfMAL/aula-3-temperatura-calor-1a-lei-termodinamica>



SAIBA MAIS

Ciclo de Carnot: é o ciclo executado pela Máquina de Carnot, que tem funcionamento apenas teórico. Funcionando entre duas transformações isotérmicas e duas adiabáticas alternadamente, permite menor perda de energia (Calor) para o meio externo. O rendimento da Máquina de Carnot é o máximo que uma máquina térmica trabalhando entre duas temperaturas da fonte quente e da fonte fria pode ter.

VIDEOS relacionados:

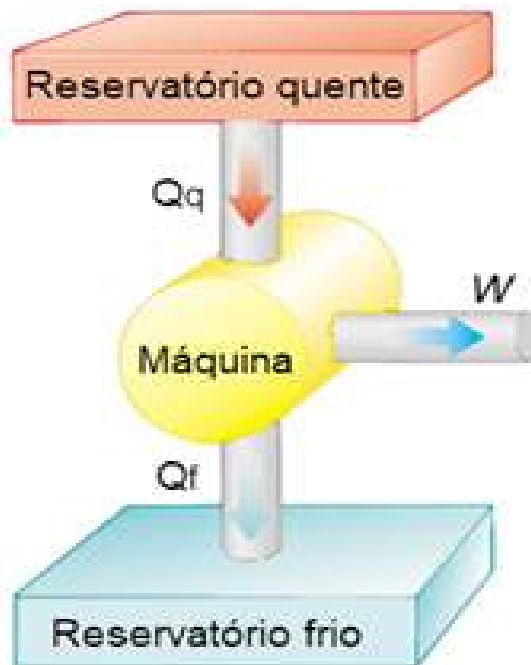
<https://www.youtube.com/watch?v=XpEUEs2wRIQ>

<https://www.youtube.com/watch?v=rzSKJBKKrS8>

Entretanto, Clausius continuava intrigado pela falta de simetria entre a primeira lei e a segunda, pois a primeira lei era baseada em uma afirmação quantitativa, enquanto a segunda lei não era. Por isso, Clausius pensou em reformular a segunda lei analisando uma máquina reversível (Figura 30), na qual não ocorre atrito. Ele indagou: se a máquina térmica reversível funciona entre duas temperaturas diferentes, absorvendo calor de uma fonte mais quente, ou seja, com uma temperatura superior, quanto desse calor será convertido em trabalho? Após várias análises, Clausius verificou que a razão entre a quantidade de calor retirado do reservatório e a própria temperatura do reservatório (temperatura superior) era sempre igual à razão entre a quantidade de calor fornecida ao reservatório à temperatura inferior, sendo que essas temperaturas deveriam ser medidas na escala absoluta (em Kelvin). Depois, Clausius começou a estudar máquinas irreversíveis e, após várias análises de sistemas químicos, engenharia e o comportamento de gases, líquidos e sólidos, concluiu que a razão entre calor e a temperatura absoluta era constante em processos reversíveis e aumentava em processos irreversíveis, cujos resultados foram publicados em 1854. Em 1865, Clausius optou por dar um nome à razão entre a quantidade de calor e a temperatura, cuja designação foi a letra S ($S = Q/T$). O nome dado a essa designação foi **entropia**, palavra grega que significa transformação. Clausius escolheu essa palavra, por ser versado em grego, porque era similar à palavra energia.

Segunda Lei da Termodinâmica reescrita: *Em processos reversíveis, a entropia permanece constante, em processos irreversíveis ela aumenta.*

Figura 30 – Ilustração de uma máquina térmica



Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/5129447/>



SAIBA MAIS

Máquina térmica: trabalha utilizando duas fontes de temperaturas diferentes, de modo que uma parte do calor retirado da fonte quente é enviada à fonte fria. Não é possível transformar todo o calor retirado da fonte quente em trabalho (Figura 30). Em uma máquina térmica ideal todos os processos são reversíveis e as transferências de energia são realizadas sem as perdas causadas por efeitos como atrito e turbulência.



VIDEOS:

<https://www.youtube.com/watch?v=VxGPieQTcAo>

<https://www.youtube.com/watch?v=zgd8k9PfleM>

3.3.4 Terceira Lei da Termodinâmica

A terceira lei da termodinâmica surgiu de um questionamento do químico alemão Walther Nernst (1864-1941) em 1906, quando pensou sobre a entropia de um sistema no zero absoluto (0 K ou $-273,15^{\circ}\text{C}$). Nernst (Figura 31) formulou a seguinte regra: *A entropia de um sistema no zero absoluto é uma constante universal*. Isso significa que é impossível esfriar um sistema até o zero absoluto em um tempo finito. Pelo desenvolvimento da Terceira Lei da Termodinâmica, Nernst foi condecorado com o Prêmio Nobel de Química em 1920.

Figura 31 – Walther Nernst



Fonte: pixels.com/featured/1-walther-nernst-emilio-segre-visual-archivesamerican-institute-of-physics.html

3.4 Os conceitos da Termodinâmica presentes na Revolução Industrial

A Revolução Industrial, ocorrida na Inglaterra no século XVIII, teve forte aplicação dos fenômenos ligados à Termodinâmica, sobretudo a utilização de máquinas térmicas, as quais substituíram o trabalho artesanal.

As chamadas caldeiras, máquinas que transformavam calor em trabalho, foram empregadas em locomotivas e navios, potencializando o escoamento da produção.

3.5 Breve relato da eletricidade e magnetismo

A única parte da Física que progrediu significativamente no séc. XVIII foi o eletromagnetismo, embora saibamos que fenômenos associados ao eletromagnetismo são conhecidos desde a época da Grécia Antiga. Os gregos tinham conhecimento sobre a capacidade de o âmbar atrair pequenos objetos quando atritados, e conheciam também os magnetos naturais. E com uma aversão sobre a ação a distância, os filósofos gregos propuseram a existência de um ente mediador e não observável para explicar os fenômenos “elétricos” e “magnéticos”. Os atomistas propuseram que algo emitido pelo âmbar ou magneto viajava até os objetos atraídos e, posteriormente, afirmaram que uma espécie de aura envolvia o âmbar e o magneto, essa aura foi chamada de eflúvio.

William Gilbert (1544-1603) foi um dos primeiros a estudar sistematicamente a eletricidade e o magnetismo, introduzindo o termo “elétrico” para designar as forças de interação entre objetos eletrizados por atrito, identificando as diferenças entre a força elétrica e a força magnética, e ainda estabeleceu uma teoria sobre a natureza da eletricidade. Gilbert, Figura 32(a), escreveu a primeira obra moderna sobre o eletromagnetismo em 1600, cujo título era *De Magnete* (ou Sobre os Ímãs) – *Os Corpos Magnéticos e o Grande Ímã Terrestre*.

Em 1729, Stephen Gray (1666-1736), Figura 32(b), apresentou um trabalho que mostrava que a eletricidade estática pode ser conduzida de um lugar para outro, por meio de fios metálicos (corrente elétrica), sendo capaz de exercer seu poder atrativo ou repulsivo sobre outros materiais. Realizou ainda um experimento com eletricidade estática (1730) em que o corpo humano estava eletrificado: Um rapaz eletricamente carregado atraía pequenas partículas de latão através da indução elétrica.

Depois dessa descoberta, abandonou-se a ideia de um eflúvio elétrico ligado aos corpos sob a ação do atrito. Essa difusão poderia ser transferida de um corpo para o outro e foi intitulada *fluido elétrico*.

Figura 32 – (a) William Gilbert e (b) Stephen Gray



Fonte: Figura (a) https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-William-Gilbert-1540-1603-foi-medico-da-rainha-Elizabeth-i-i-i-i-i-da_fig5_237685007 >. Acesso em: 10 de maio de 2019

Fonte: Figura (b) pt.slideshare.net/robclemente/historia-da-eletricidade



VIDEOS:

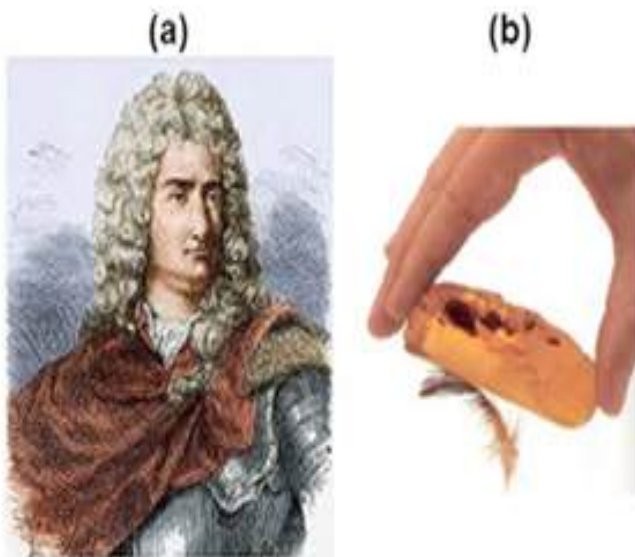
<https://www.youtube.com/watch?v=6w7Z-pyiDFo>

Em 1733, Charles François de Cisternay du Fay (1698-1739) apurou que havia dois tipos diferentes de eletricidade: a eletricidade resinosa que estava presente em materiais como o âmbar e a borracha, e a eletricidade vítrea que era característica de materiais como o vidro e a mica. Charles du Fay imaginava a eletricidade como um fluido e, portanto, haveria dois tipos de fluidos elétricos (Figura 33). Detectou

também que objetos carregados com fluidos (cargas) de mesma natureza se repelem, enquanto que objetos com fluidos diferentes se atraem, notando também, a diferença entre condutores e isolantes, nomeando-os “elétricos” e “não-elétricos”, devido à capacidade de provocar eletrização por contato.

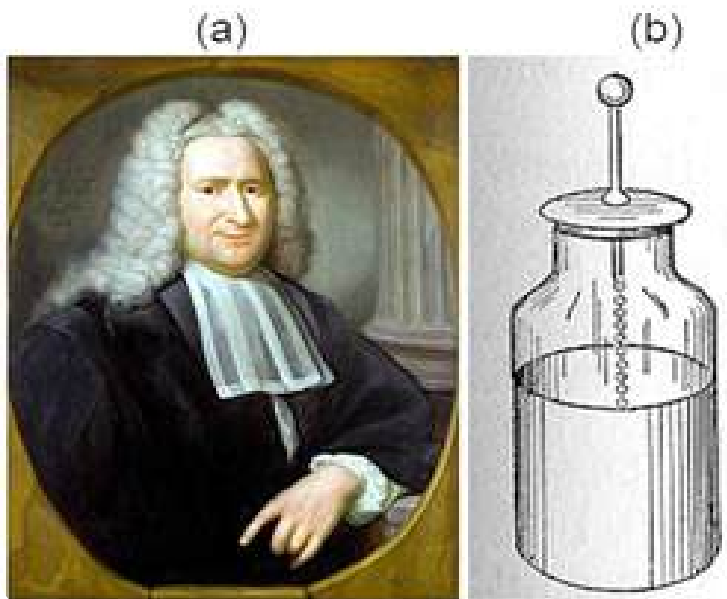
Em 1745, Pieter van Musschenbroek (1692-1761), Figura 34(a), cientista neerlandês e professor da Universidade de Leyden, inventou um equipamento capaz de armazenar eletricidade estática (precursor do capacitor). Esse equipamento era uma garrafa de vidro recoberta por uma película de prata, tanto por dentro quanto por fora, chamada de Garrafa de Leyden, Figura 34(b).

Figura 33 – (a) Charles du Fay, (b) eletricidade resinosa



Fonte: <https://pt.slideshare.net/robcclemente/historia-da-eletricidade>

Figura 34 – (a) Pieter van Musschenbroek e (b) Garrafa de Leyden.



Fonte: Figura (a) https://www.wikiwand.com/pt/Pieter_van_Musschenbroek
Fonte: Figura (b) <http://fisicapaidegua.com/prova.php?fonte=FCTO&ano=2016>.



VÍDEO: Fabricação da garrafa de Leyden com materiais de baixo custo. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=FUCV_FQ-fRrA

Benjamim Franklin (1706-1790) realizou experiências com a garrafa de Leyden e concluiu que a eletricidade era um fenômeno presente em toda a matéria, sendo formada por um único fluido, o vítreo, que fluía continuamente de um corpo para o outro e que, os dois tipos de eletricidade observados seriam consequência do excesso ou falta de fluido vítreo. Inferiu que um corpo estava positivamente carregado quando tinha excesso de fluido vítreo e negativamente carregado quando tinha falta desse fluido. Como resultado dos seus estudos neste assunto,

estabeleceu a Lei de Conservação da Carga Elétrica, afirmando que quando dois corpos eletricamente carregados são postos em contato, a eletricidade flui do corpo com excesso de fluido elétrico para o que tem falta desse fluido. É conveniente mencionar que apesar de Franklin acreditar que a eletricidade podia agir à distância, ele nunca abandonou a teoria do eflúvio.

Em 1750, o inglês John Michell (1724-1793) propôs a lei do inverso do quadrado da distância para a força entre pólos magnéticos ($F_B \propto 1/r^2$). A partir dessa teoria, surgiram várias teorias de um ou dois fluidos magnéticos, similares aos fluidos elétricos. No entanto, foi o britânico Joseph Priestley (1733-1804) que observou que no interior de uma esfera oca e eletrizada não existia uma força elétrica. Fazendo analogia com a Lei da Gravitação Universal de Newton, Priestley deduziu que a força elétrica deveria ser dependente do inverso do quadrado da distância ($F_E \propto 1/r^2$). Porém, foi Charles Augustin Coulomb (1736-1806) quem formalizou, em 1785, por meio de experiências cuidadosas, utilizando uma balança de torção, a lei que passou a ter o seu nome, a Lei de Coulomb: a força entre duas cargas elétricas é proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.

$$F_E \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

A primeira conexão entre a eletricidade e o magnetismo foi tratada pelo físico dinamarquês Hans Christian Oersted, que em 1807 iniciou seus estudos analisando a ação da eletricidade sobre uma agulha imantada, mas somente em 1820, percebeu que ao aproximar uma agulha imantada de um fio no qual passava uma corrente, a agulha sofria uma deflexão: a relação entre magnetismo e eletricidade fora afinal descoberta. Oersted rejeitava a explicação de ação a distância para o fenômeno, acreditando na existência dos dois fluidos elétricos. Naquele período, a eletricidade significava eletrostática e a eletricidade dinâmica era chamada de galvanismo (nome estipulado pelo físico italiano Alessandro Volta – 1745-1827).

² <https://www.youtube.com/watch?v=AQnBkHGAyys>

³ <https://www.youtube.com/watch?v=DJBu0WGPw4U>



SAIBA MAIS

Galvanismo: Um professor de anatomia da Universidade de Bolonha na Itália, Luigi Galvani (1737-1798), realizou em 1780 uma série de experimentos que provava, segundo o próprio Galvani, que havia uma espécie de eletricidade produzida pelo corpo de animais. Apesar de ter sido uma fonte de controvérsias, essa tal eletricidade animal veio a ser chamada de *galvanismo*.

A eletricidade e o magnetismo estimularam várias pesquisas que contribuíram de forma decisiva para o avanço da Teoria Eletromagnética, dentre tantos físicos e cientistas de forma geral, podemos citar alguns: Jean Baptiste Biot (1774-1862) e Félix Savart (1791-1841) que anunciaram a lei de Biot-Savart de forma quantitativa sobre campos magnéticos produzidos por correntes; André Marie Ampère (1775-1836) com trabalhos em eletrodinâmica – ciência que lidava com a ação mútua de correntes; Michael Faraday (1791-1867), considerado um dos maiores físicos experimentais de todos os tempos, com trabalhos sobre eletricidade e magnetismo, indução eletromagnética, dínamo, entre tantos outros; Joseph Henry (1797-1878), que construiu o primeiro motor elétrico com base na indução elétrica, de forma independente; Franz Ernst Neumann (1798-1895) que estudava correntes induzidas; Emil Lenz (1804-1865) – Lei de Lenz; Wilhelm Weber (1804-1890); William Thomson (1824-1907), Lord Kelvin, que foi o primeiro a dar um tratamento matemático adequado ao conceito de linhas de força de Faraday, entre outros trabalhos; Gustav Kirchhoff (1824-1887) com estudos relacionados à propagação de distúrbios elétricos em condutores tridimensionais; James Clerk Maxwell (1831-1879), que unificou as leis do eletromagnetismo através das chamadas Equações de Maxwell e, considerado o pai da teoria eletromagnética, com muitas contribuições na Física, principalmente no eletromagnetismo; Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894); Nikola Tesla (1856-1943); Thomas Edison (1847-1931), inventor da lâmpada elétrica.

⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=zjXTti3ohLs>



VÍDEO:
Nikola Tesla & Thomas Edison – Corrente Alternada &
Corrente Contínua
<https://www.youtube.com/watch?v=-VxmKIIh9MM>

RESUMO

Nesta Unidade, apresentamos uma abordagem sobre as teorias do calor, enfatizando algumas ideias e teorias que contribuíram para a compreensão da sua natureza e os principais cientistas que trabalharam em hipóteses mais concretas para esse entendimento. A partir dos estudos sobre o calor, referindo-se ao seu movimento mais precisamente, as leis da Termodinâmica foram apresentadas com seus respectivos enunciados e contextualizando o pensamento dos precursores. Por fim, expomos um breve relato dos trabalhos relacionados à eletricidade e magnetismo, com alguns personagens importantes que contribuíram para avanços significativos no século XIX, e que por meio de análises teóricas e experimentais culminaram no que hoje conhecemos como teoria eletromagnética.

ATIVIDADES

- 1 Descreva a evolução das ideias sobre CALOR. Abordando as concepções e teorias propostas por Hooke e Newton, a teoria do flogisto de G. E. Stahl, a visão de Joseph Black, a teoria do calórico de A. L. Lavoisier, a ideia de Benjamim Thompson (Conde Rumford) e as conclusões de James P. Joule.
- 2 Enuncie e explique, por meio de exemplos, as Leis da Termodinâmica.
- 3 Se você fosse um renomado cientista do início do séc. XIX, e fosse convidado

para fazer uma avaliação do trabalho recentemente elaborado pelo Sr. Hans C. Oersted, sendo necessário escrever um texto apontado não só os méritos do trabalho do cientista, mas também apontando seus limites ou indicando outras formas de compreender o assunto estudado no artigo submetido por ele. Qual parecer você daria? Exponha sua avaliação lembrando que ela foi realizada no início no séc. XIX, quando os conceitos de campo magnético e corrente elétrica ainda não haviam sido propostos.

REFERÊNCIAS

BASSALO, José Maria Filardo; FARIAS, Robson Fernandes de. **Para Gostar de Ler a História da Física**. Campinas: Editora Átomo, 2010.

PIRES, Antonio S. T. **Evolução das ideias da física**. São Paulo: Livraria da Física, 2011. 478p.

ROCHA, J. F.; PONOZEK, R. I. L.; de PINHO, S. T. R.; ANDRADE, R. F. S.; FREIRE JUNIOR, O.; RIBEIRO FILHO, A. **Origens e Evolução das Ideias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

4

UNIDADE

UNIVERSO QUÂNTICO

Objetivos

- Perceber os avanços nas ciências físicas com o advento da mecânica quântica;
- Compreender que há fenômenos que estão sob o domínio da mecânica quântica e não mais da mecânica clássica;
- Assimilar a importância da mecânica quântica para a ciência e tecnologia atual.

4.1 Introdução

A mecânica quântica hoje desempenha um papel fundamental no entendimento do mundo na escala atômica e subatômica, além de descrever fenômenos macroscópicos em diversos casos. Por meio da mecânica quântica explicam-se fenômenos relacionados ao mundo em que vivemos: o comportamento de transistores, que viabilizou o surgimento dos microcomputadores modernos; a existência de elementos radioativos; a energia nuclear; o funcionamento de *lasers*; as

partículas elementares da matéria; os átomos e sua estrutura; supercondutividade; a cor das estrelas; a origem e a evolução do universo como um todo; além da correlação nas áreas de materiais, química, biologia, comunicação, medicina, indústria, nanociência e nanotecnologia (N&N), nanobiotecnologia e até mesmo com o desenvolvimento de novos computadores, chamados computadores quânticos. Entretanto, nem sempre foi assim, pois se percorreu um caminho árduo para se compreender um pouco ou talvez quase nada do que sabemos, sendo que ainda há muito a ser feito, porque mesmo depois de um século do trabalho pioneiro de Max Planck ainda se discute muitas interpretações teóricas e experimentais que fogem ao nosso senso comum. Nesta Unidade, aponta-se o progresso e desenvolvimento da teoria quântica, ressaltando pontualmente seus principais trabalhos e respectivos físicos que contribuíram para o que se compreende atualmente.

O princípio da mecânica quântica tem como data inicial a apresentação do artigo de Max Planck (1858-1947) em uma reunião da sociedade alemã de Física, em 14 de dezembro de 1900. Planck (Figura 35) apresentou o artigo intitulado *Sobre a Teoria da Lei de Distribuição de Energia do Espectro Normal* e, desde então, muitos físicos consideram que nessa data ocorreu o nascimento da antiga teoria quântica. Esse artigo consistia essencialmente no ajuste entre teoria e os dados experimentais de uma curva do espectro de radiação emitida por um corpo negro, propondo que a fonte de radiação seria composta por osciladores harmônicos em equilíbrio térmico com a radiação, explicando a lei de radiação ao fazer a suposição de que os osciladores podiam absorver e emitir energia somente em quantidades discretas de energia (ϵ), com a energia de cada pacote (quanta) dado por: $\epsilon = h\nu$, em que ν é a frequência da radiação emitida ou absorvida e h uma constante fundamental da Natureza, chamada mais tarde de constante de Planck. Vários cientistas viram o trabalho de Planck como uma hipótese, que após muitas tentativas resultou na lei da radiação do corpo negro sem introduzir a hipótese do quantum.

Figura 35 – Físico alemão Max Planck



Fonte: <https://www.britannica.com/biography/Max-Planck>



SAIBA MAIS

Corpo negro: meio ou substância que absorve toda a energia incidente sobre ele, sendo que nenhuma parte da radiação incidente é refletida ou transmitida.

<https://www.youtube.com/watch?v=IrySnhWaktM>

Osciladores harmônicos: em Física, representa qualquer sistema que executa movimento harmônico de oscilação, ou seja, movimento de vai-vem em torno de uma posição central.

Quantidades discretas: que possuem um número contável de valores entre quaisquer dois valores. Exemplo: número de reclamações de clientes ou número de defeitos etc.

quantum* (plural: *quanta*): menor valor que determinadas grandezas físicas podem apresentar.

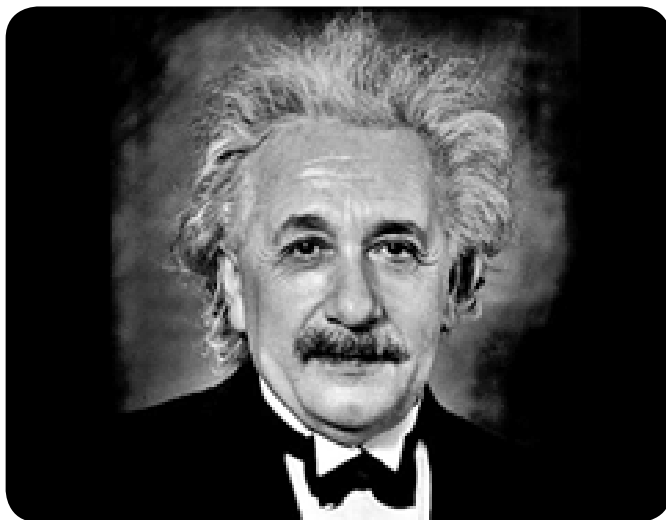
Poucos anos depois, em 1905, Planck era o editor do jornal alemão de pesquisa *Annalen der Physik* e recebeu o primeiro trabalho de Albert Einstein (1879-1955) sobre a relatividade, defendendo com vigor o trabalho do jovem Einstein (Figura 36) e se tornando praticamente o patrono dele nos círculos científicos da época, porém, tinha certa relutância a respeito de algumas ideias de Einstein sobre

a teoria quântica da radiação, que mais tarde se confirmou e acabou estendendo-se ao próprio trabalho de Planck. Einstein se propôs a explicar o chamado efeito fotoelétrico (consistia: emissão de elétrons por uma superfície metálica quando atingida por radiação eletromagnética na faixa do ultravioleta) através da ideia de que a radiação era quantizada. Isso significava que a luz, tanto quanto outra radiação eletromagnética, consistiria de partículas de massa nula, carregando uma energia dada pela radiação de $\varepsilon = hf$ – em 1926, o químico Gilbert Lewis (1875-1946) chamou essas partículas de fótons. Quantitativamente, a teoria de Einstein demonstrava o caráter corpuscular (partícula) da radiação, ascendendo dúvidas quanto à natureza da luz, que possui também comportamento ondulatório.



VÍDEO A ideia do quantum – Efeito fotoelétrico:
<https://www.youtube.com/watch?v=CEuMmMxD-vI>

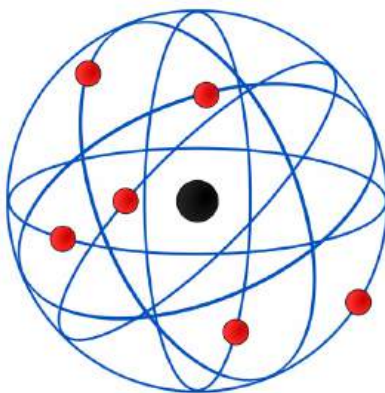
Figura 36 – Albert Einstein



Fonte: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2015/11/5-conceitos-que-foram-revolucionados-pela-teoria-geral-da-relatividade.html>

Contudo, havia na época uma questão mais importante do que explicar os detalhes da interação da matéria com a radiação, ou explicar a radiação do corpo negro, o mais importante seria entender a estabilidade do átomo. Ernest Rutherford (1871-1937) propôs um modelo atômico (modelo clássico) em 1911, muito conhecido, mas inconsistente com dados experimentais (Figura 37). No modelo de Rutherford, os elétrons descreviam órbitas circulares em torno do núcleo (onde estavam concentradas todas as cargas positivas e toda a massa do átomo), porém, uma carga acelerada numa órbita circular emite radiação eletromagnética e, conseqüentemente, energia. Assim, os elétrons deveriam se mover em trajetórias espiraladas, emitindo um espectro contínuo de radiação e cair no núcleo do átomo (experimentalmente o átomo é estável).

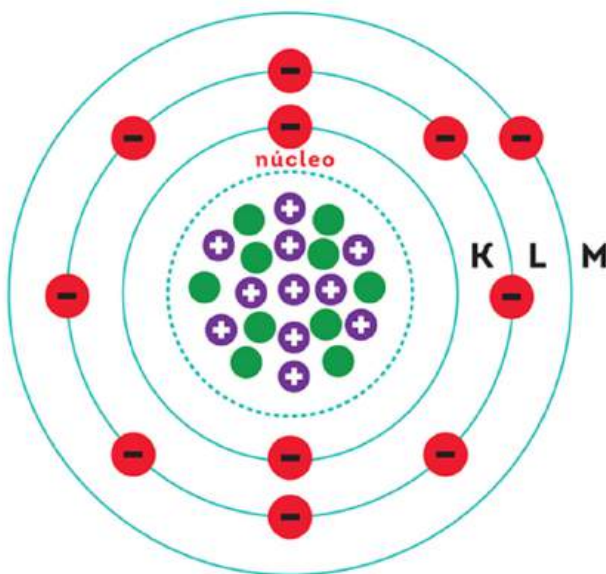
Figura 37 – Ernest Rutherford.



Fonte: < <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1908/rutherford/biographical/>

Para tentar resolver essa inconsistência, em 1913, Niels Bohr (1885-1962) sugeriu um novo modelo atômico (Figura 38) em que o elétron de um átomo se moveria apenas em orbitas determinadas, não emitindo radiação eletromagnética e, dessa forma, sua energia permaneceria constante. A emissão da radiação se daria quando um elétron passasse de uma orbita para outra, ou seja, haveria um salto quântico instantâneo durante o qual o elétron não ocuparia posições intermediárias no espaço. Apesar de Bohr não explicar claramente o fenômeno, seu modelo descrevia corretamente o que foi observado experimentalmente para o espectro de radiação discreto do átomo de Hidrogênio.

Figura 38 – Niels Bohr



Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/o-atomo-bohr.htm>. Acesso em: 26 nov. 2018.



VÍDEOS: Modelos atômicos

<https://www.youtube.com/watch?v=0UW90luAJE0>

<https://www.youtube.com/watch?v=IDrKIqubzdw>

Em 1925, Werner Heisenberg (1901-1976) sugeriu uma teoria matemática do átomo, alicerçada inteiramente em quantidades observadas via experimentos, assim como as frequências e amplitudes das linhas espectrais, abstendo-se de modelos ilustrativos e fundamentada em conceitos como a posição dos elétrons. No modelo de Heisenberg (Figura 39(a)) incluíam-se matrizes matemáticas abstratas que substituíam as quantidades físicas clássicas, determinadas por postulados que não precisavam ser intuitivos, sendo posteriormente, tal teoria desenvolvida por Max Born (1882-1970) e Pascual Jordan (1902-1980), Figura 39(b) e (c), respectivamente.

Figura 39 – (a) Werner Heisenberg, (b) Max Born e (c) Pascual Jordan.



Fonte: <https://history-biography.com/werner-karl-heisenberg/>

**SAIBA MAIS:**

Linhas espectrais, raios espectrais ou riscas espectrais descrevem uma transição quântica, em que, por exemplo, havendo uma transição entre níveis de energia em certa amostra, ela emite ou absorve radiação eletromagnética em frequências discretas características.

Porém, com outro ponto de vista, o francês Louis de Broglie (1892-1987) apresentou, em 1924, em sua tese de doutorado na Universidade de Paris, o seguinte raciocínio: um feixe luminoso é uma onda, mas transfere energia à matéria através de “pacotes” chamados fótons. Por que um feixe de partículas não pode ter as mesmas propriedades? Ou, por que não podemos pensar em um elétron, ou qualquer outra partícula, como uma onda de matéria? Essa previsão de que as partículas de matéria se comportam como ondas em certas circunstâncias foi confirmada em 1927, através de experimentos de C. J. Davisson e L. H. Germer, dos Bell Telephone Laboratories, e George P. Thomson, da Universidade de Aberdeen, na Escócia. Mas, foi Einstein quem reconheceu a importância e validade da teoria, e que por sua vez, chamou a atenção da comunidade científica. Em 1929, Louis de Broglie (Figura 40(a)) recebeu o prêmio Nobel de Física por sua predição da natureza ondulatória de elétrons.

Figura 40 – (a) Louis de Broglie e (b) Erwin Schrödinger.



Fonte: Figura (a) <https://brasilecola.uol.com.br/biografia/louis-victor-pierre.htm>

Figura (b): <https://universoracionalista.org/schrodinger-um-quantico-atras-do-segredo-da-vida/>

Em 1925, o físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961), após ler a tese de doutorado de Broglie, procurou por uma equação matemática que descrevesse a tal onda de matéria. No entanto, na passagem do ano de 1925 para 1926, Schrödinger (Figura 40(b)) obteve a tão desejada equação, que passou a ter seu nome (Equação de Schrödinger), sendo reconhecida universalmente como uma das maiores realizações da Física do séc. XX. Essa equação delineia a evolução temporal de uma função, chamada de função de onda, indicada por Schrödinger pela letra grega ψ (psi), é uma equação determinística que admite calcular $\psi(\vec{r}, t)$ para todo $\vec{r}$ (posição da partícula) em um tempo t arbitrário, se conhecermos essa função em um tempo inicial. Essa evolução temporal determinista de ψ foi verificada atenciosamente em muitos experimentos já realizados e não há dúvidas sobre sua validade, também não há indicação de uma fronteira no limite não-relativístico em que ela falhe. Por meio da equação de Schrödinger obtém-se a energia de sistemas físicos, podendo ser comparada com os dados experimentais sem qualquer imprecisão. Contudo, o único problema era e é: o que é ψ ?

4.2 A Física Contemporânea

A Física Contemporânea tem seu início por volta de 1940, em decorrência dos conceitos da Física Moderna.

Entre as principais teorias que compõem a Física Contemporânea, destacam-se a **teoria do big bang**, a qual fornece explicações sobre o surgimento e evolução do universo, das estrelas e galáxias; a da **energia escura**, uma interação responsável pela aceleração da expansão universo; a **matéria escura**, que representa cerca de 27% da composição do universo, porém ainda não foi possível observá-la diretamente, apenas suas interações com a força gravitacional; e o estudo dos **buracos negros**, estágio final de algumas estrelas.

Entre as inúmeras aplicações no mundo contemporâneo, a Física está presente na medicina, através dos exames de imagens, na modelagem computacional e na comunicação, por meio das TVs, celulares, GPS, Internet.

**VÍDEOS:**

Física Quântica: <https://www.youtube.com/watch?v=SUXZqUkTugk>

<https://www.youtube.com/watch?v=R0jyWtzQfPI>

<https://www.youtube.com/watch?v=LE7uRwEx8Wo>

RESUMO

Nesta Unidade, estudamos a teoria de Schrödinger sobre mecânica quântica que especifica quais as leis do movimento ondulatório que as partículas de qualquer sistema microscópico obedecem. Para esse resultado, cada sistema tem especificada a equação que rege o comportamento da função de onda ψ , e também a relação entre esse comportamento e o comportamento da partícula. A princípio, entende-se que essa teoria é uma extensão do postulado de Broglie. Ademais, há uma relação particular entre a teoria de Schrödinger e a teoria de Newton para o movimento de partículas em sistemas macroscópicos. A teoria de Schrödinger é uma generalização, que engloba a teoria de Newton como um caso particular no limite macroscópico, bem como a teoria da relatividade de Einstein é uma generalização que engloba a teoria de Newton como um caso particular no limite de baixas velocidades.

ATIVIDADES

Descreva o postulado de Max Planck e comente sua importância para a Física como marco inicial da Teoria Quântica.

1. Desde o século V a.C., com a escola atomista dos filósofos gregos Demócrito e Leucipo, há uma busca pelo entendimento da matéria e seus constituintes. Cite e comente sucintamente os principais modelos atômicos e suas objeções, de John Dalton a Erwin Schrödinger.

2. O que se pode entender sobre o fenômeno dualidade onda-partícula? Por que a natureza ondulatória da matéria não nos é aparente em nossas observações diárias? Comente sobre isso com base na relação de Broglie ($\lambda=h/p$).

REFERÊNCIAS

BASSALO, José Maria Filardo; FARIAS, Robson Fernandes de. **Para Gostar de Ler a História da Física**. Campinas: Editora Átomo, 2010.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **FÍSICA QUÂNTICA**. 9. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1994. 928p.

PIRES, Antonio S. T. **Evolução das ideias da física**. São Paulo: Livraria da Física, 2011. 478p.

ROCHA, J. F.; PONOZEK, R. I. L.; de PINHO, S. T. R.; ANDRADE, R. F. S.; FREIRE JUNIOR, O.; RIBEIRO FILHO, A. **Origens e Evolução das Ideias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2002.