

## AS GRANDES SÍNTESES DOS FENÔMENOS NATURAIS

### META

Mostrar como os resultados obtidos pelos físicos do século XIX sintetizaram o conhecimento sobre fenômenos naturais aparentemente divergentes e geraram um enorme desenvolvimento tecnológico do qual usufruímos até hoje.

### OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:

definir evolução histórica e contextualizar as grandes contribuições científicas da física ocorridas nos séculos XIX;

descrever resultados teóricos do século XIX que realizaram grandes sínteses dos fenômenos naturais; identificar alguns temas científicos que fortemente influenciaram os leigos, gerando inclusive histórias fantásticas; e

definir por que os alguns cientistas concluíram que já não havia mais perguntas sobre a natureza para serem respondidas pela física.

### PRÉ-REQUISITOS

O aluno deverá ter em mãos um pente ou uma régua e uma flanela. Também precisará lembrar-se de algumas histórias, como a de Frankenstein.



Furacão (Fonte: <http://www.library.com.br>).



Frankenstein (Fonte: <http://nalts.files.wordpress.com>).

# INTRODUÇÃO

O século XVIII se caracterizou pelo grande desenvolvimento de todos os ramos da ciência, que passou a ter um aspecto mais público, conforme as conferências e livros científicos foram se tornando mais populares, mostrando às pessoas a importância da ciência na vida diária. Na sequência, no século XIX, o ritmo do desenvolvimento científico e tecnológico cresceu imensamente. O clima era de confiança em relação à ciência, na medida em que ela explicava e solucionava cada vez mais problemas. Em consequência disso, a vida das pessoas sofreu alterações substanciais. A ciência, em especial a física, gerava novas invenções, as quais impulsionavam uma série de transformações na sociedade. Com efeito, estabeleceu-se uma relação entre os Homens e a Ciência, de tal maneira que esta passou a fazer parte das suas próprias vidas.

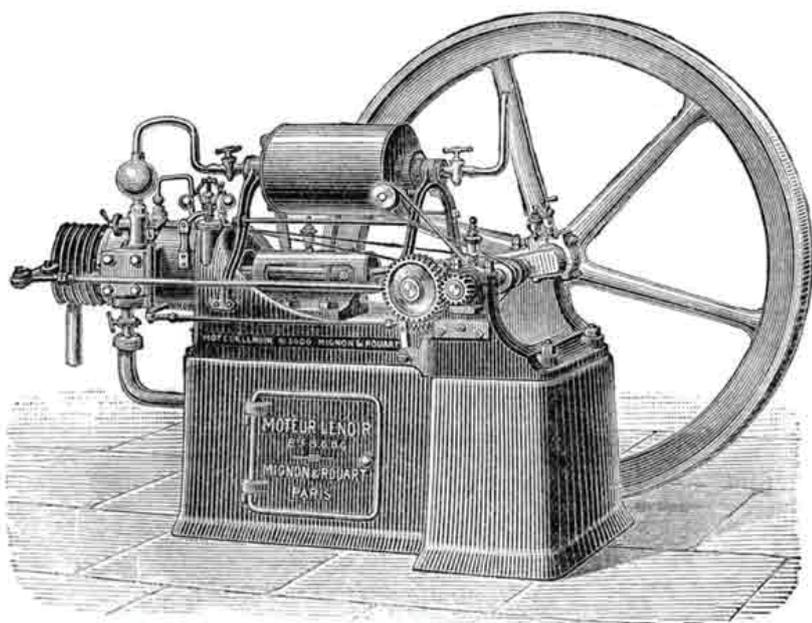
A área da Física que chamamos “Física Clássica” e que compreende a mecânica, a óptica, a termodinâmica e o eletromagnetismo já havia alcançado um grande aperfeiçoamento nesse tempo. Quase tudo aquilo que se ensina sobre Física no segundo grau já havia sido descoberto naquela época (claro que o nível de conhecimento dos físicos era mais elevado do que se ensina).

Os produtos gerados pelo desenvolvimento tecnológico, percebidos na época como consequência direta dos avanços da ciência, fizeram com que grande parte da humanidade acreditasse que estava vivendo o início de um tempo de progresso sem fim. A física era o exemplo de uma ciência que apresentava imensos resultados e que nos ajudava a compreender o mundo como nunca antes tinha sido possível.

A religião ia, assim, perdendo terreno no domínio do conhecimento. O corpo humano passa a ser explorado cientificamente, sem a culpa. São descobertas curas para as doenças e a longevidade humana deixa de ser desejo para se tornar um fato. A influência da física na medicina também

progredia a olhos vistos.

Por isso, veremos hoje que as descobertas científicas acabaram acarretando muitas mudanças em diversos setores da vida, das artes e até na forma das pessoas se comportarem. Diante de tantos grandes sucessos científicos, por volta de 1900, alguns físicos pensavam que a Física estava praticamente completa. Será mesmo?



Motor a vapor, desenvolvido pelo francês Etienne Lenor, no Século XIX. (Fonte: <http://www.museudantu.org.br>).

## A MATÉRIA

Lembra-se das perguntas de Lavoisier na aula anterior: por que exatamente nada se perde e tudo se transforma? O que poderia existir no interior da matéria, capaz de resistir até mesmo ao fogo?

No início do século XIX, o mistério da composição da matéria começou a ser desvendado. Na Inglaterra, John Dalton, um sujeito esquisito, que não gostava de gente, e jamais se casou, enxergava muito mal e não conseguia reconhecer a maioria das cores (a doença que ele tinha nos olhos veio a ser batizada de daltonismo em sua homenagem) foi capaz de mirar longe, e buscar lá na Grécia Antiga a resposta para o mistério da composição da matéria. Lembra-se dos atomistas Leucipo e Demócrito? Eles disseram: “tudo o que existe no mundo é feito de átomos”, não foi? Adivinhe qual foi a resposta de Dalton? “Tudo é feito de átomos!”, inspirada na sabedoria grega. Em 1803, Dalton publicou seu trabalho Absorção de gases pela água e outros líquidos, no qual delineou os princípios de seu modelo atômico. Em 1808, baseado nestes princípios, propôs sua teoria do modelo atômico, em que o átomo é uma minúscula esfera maciça, impenetrável, indestrutível e indivisível.

Faz sentido: se toda a matéria do mundo é composta de pequenos pedacinhos - os átomos, isso explicaria por que nada se perde quando um pedaço de madeira se queima. As coisas apenas se transformam. Os átomos mudam de lugar e de arrumação. Uma idéia revolucionária! Seguindo essa mesma idéia, em 1811, o italiano Amedeo Avogadro (1776-1856) sugeriu que, se dois gases têm o mesmo volume, a mesma pressão e a mesma temperatura, então eles são formados pelo mesmo número de partículas que são pequenas demais para serem vistas, ou seja, novamente os átomos.

Na metade do século 19, a ciência já sabia que elementos eram materiais puros, que não eram resultado de misturas. Ao todo, 63 deles já eram conhecidos. A Europa estava em plena Revolução Industrial. Foi quando as máquinas começaram a substituir a mão do homem no campo, na indústria e nas cidades que cresciam cada vez mais. Agora, mais do que nunca na história da humanidade, era fundamental entender exatamente do que as coisas eram feitas.

Em 1859, o alemão Gustav Robert Kirchhoff ao estudar o brilho de substâncias incandescentes percebe que cada elemento químico emite luz a sua maneira. Cada um tem suas próprias cores, que aparecem se a luz é decomposta por um prisma; esse conjunto de cores de um elemento é chamado de linhas espectrais. Hoje, sabemos que cada elemento da natureza possui suas próprias linhas espectrais.

Mas foi o russo Dimitri Mendeleev quem conseguiu pôr ordem no misterioso mundo da matéria. Ele observou que alguns elementos têm características muito parecidas. Como as pessoas, alguns elementos têm personalidade forte, e não se misturam com os outros. Mas também existem aqueles elementos que se combinam bem. Faltava só encontrar uma maneira de classificar esses elementos.

Em 1869, Mendeleev recortou cartões com os nomes dos elementos conhecidos e foi tentando arrumá-los para descobrir uma ordem. Ele viu que os elementos que compõem tudo o que existe no mundo podem ser divididos em ordem crescente e em grupos ou famílias. Cada uma com características que se repetem periodicamente. Ele organizou então os 63 elementos conhecidos na época numa tabela, agrupando em colunas os elementos que tinham características parecidas. A cada nova linha as características se repetiam, e assim ela foi denominada tabela periódica. Essa aí você já conhece bem, né?



(Fonte: <http://professoradeir.blogspot.com>).

### A VELOCIDADE DA LUZ

Nos séculos 17 e 18, independente da natureza corpuscular ou ondulatória, a velocidade de propagação da luz era um dado que ainda intrigava os pesquisadores. Muitos acreditavam que ela se propagava instantaneamente, com velocidade infinita. Em 1676, Dane Ole Christensen Römer, enquanto observava Júpiter e seu satélite Io, notou que havia um atraso, o que o levou a comentar num congresso de astronomia que a velocidade da luz poderia ser muito alta. Suas medições, combinadas com outras de Huygens, chegaram a um valor abaixo do real, porém muito mais alto do que o de qualquer fenômeno conhecido então:  $2.3 \times 10^8$  m/s. No entanto, observações de James Bradley, em 1728, corrigiram os dados de Römer e culminaram num valor para a velocidade da luz apenas um pouco menor que o aceito atualmente. Em 1850, Jean Bernard Leon Foucault determinou experimentalmente, com uma aproximação melhor a velocidade da luz na

água e no ar, usando a roda de medir a velocidade da luz inventada por Fizeu em 1849. Mas o valor preciso seria obtido finalmente só em 1926, por Albert Michelson.

## APLICANDO A ELETRICIDADE

No final dos anos de 1770, Luigi Galvani, um professor de anatomia e obstetrícia na Itália, começou a fazer experimentos sobre o relacionamento entre eletricidade e fisiologia. Em 1786, sua assistente, Lucia Galeazzi ficou impressionada ao observar que um sapo teve uma convulsão violenta ao ser tocado em um nervo pela ponta de um bisturi. Imediatamente questionou-se de onde teria surgido esse efeito. Foi confirmado, que a carga elétrica de uma faísca proveniente da máquina que estava sendo testada na mesma sala tinha sido responsável pelo efeito.

Após as explicações de Franklin sobre a eletricidade, uma pergunta ainda devia ser respondida: O corpo humano possui eletricidade?

Galvani, em outro experimento, notou que uma rã pendurada por ganchos de cobre às grades em torno de uma varanda de seu laboratório se contraía, não somente durante as tempestades, mas também às vezes em tempo bom. Ele descobriu que ele poderia causar as contrações pressionando gancho de cobre contra o ferro da treliça, e assim concluiu ter encontrado um terceiro tipo de eletricidade, diferente de ambas as origens conhecidas: aquela produzida artificialmente nas novas máquinas e a de ocorrência natural na atmosfera. Ele a chamou de eletricidade animal.

Em termos do fluido de Franklin, a parte interna dos músculos conteria um excesso de fluido elétrico, enquanto externamente haveria correspondente deficiência. Esse desbalanço era controlado pelo cérebro para realizar as contrações enquanto o ser estivesse vivo. Sem o cérebro, como no caso da rã, era necessário um meio artificial de produzir a contração.

O anúncio dos trabalhos de Galvani em 1791, em toda Europa, provocou muita discussão. Seu conterrâneo Alessandro Volta, professor de física, levou a linha de experimentos de Galvani em outra direção. Volta sabia que podia provocar um gosto amargo ao juntar dois metais diferentes em contato com a língua. Ele então começou a pensar que o contato entre metais é que gerava a eletricidade e produzia as contrações musculares nos experimentos de Galvani. Logo começou uma controvérsia entre Volta e Giovanni Aldini, sobrinho e defensor de Galvani.



(Fonte: <http://br.geocities.com>).

Descoberta a pilha.  
Agora podemos ligar  
nossos aparelhos elétricos!

Seguindo seus trabalhos, em 1800, Volta divulgou seu mais novo invento: a pilha! Nela ele havia imitado o arranjo de metais em contato com a boca. Volta colocou discos de zinco e prata, ambos em contato com um tecido encharcado de salmoura. Para aumentar o efeito, ele empilhou discos de prata e zinco separados por papel ensopado com a solução salina e mostrou que dois metais em contato, sob certas condições, poderiam produzir corrente elétrica.

Com isso, a descoberta de Volta foi tomada como uma correção da teoria de Galvani sobre a eletricidade animal, pois sua invenção da pilha confirmou seu ponto de vista sobre a produção de corrente elétrica com o contato entre metais. Assim, assumiu-se que o contato entre os metais era a única fonte de descarga elétrica nos experimentos de Galvani. Mas lembre-se que sempre pode haver surpresas na ciência! Na verdade a situação não era tão simples assim como julgava Volta. De fato, os dois investigadores estavam trabalhando com duas fontes diferentes de eletricidade: uma devida ao contato entre dois diferentes metais e a outra era uma fonte armazenada nos músculos. Portanto, no final das contas, ambos estavam certos!

A eletricidade também propiciou uma revolução nas comunicações. Em 1832, durante uma viagem de navio, o americano Samuel Finley Breese Morse participou de uma conversa sobre o eletroímã. Seu interesse pelo assunto o levou a desenvolver, em 1835, o primeiro protótipo funcional de um telégrafo, dispositivo que utiliza correntes elétricas para controlar eletroímãs que funcionam para emissão ou recepção de sinais. Em meados de 1838, finalmente estava com um código de sinais realmente funcional, chamado Código Morse. Em 1844, foi terminada a primeira linha telegráfica ligando Baltimore a Washington – DC nos EUA, quando se deu a primeira transmissão oficial. O telégrafo tornou-se um importante meio de comunicação a distância, pois permitia a troca de mensagens até de um continente para outro. Depois dele veio o telefone. Antes de 1900 já era possível fazer ligações interurbanas entre muitas cidades na Europa e nos Estados Unidos.

Primeira linha de telégrafo

Ainda se tratando de comunicações, o físico sérvio Nikola Tesla realizou, em 1893, a primeira transmissão de rádio, porém sua invenção seria creditada, com controvérsias, a Guglielmo Marconi, em 1904.

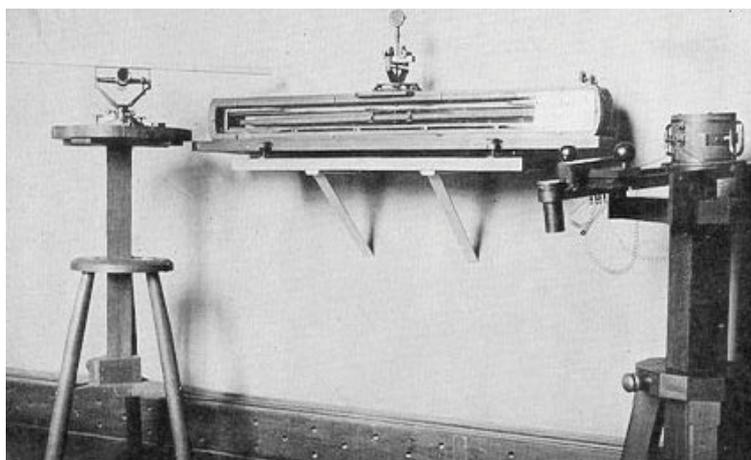
Obá, olha o rádio aí, gente!

Por volta de 1876, não se sabia como transmitir a energia elétrica gerada. A evolução dos conceitos sobre os sistemas de potência foi marcante dentro de um período de 15 anos, praticamente definindo as características dos sistemas como hoje se apresentam.

Em 1880, Thomas Alva Edison apresenta sua lâmpada incandescente (em corrente contínua), a primeira lâmpada elétrica comercialmente viável. Nesse mesmo ano, ele patenteia um sistema de distribuição elétrica baseado na transmissão de corrente contínua. Em 1882, Edison coloca em funciona-

mento seu sistema de corrente contínua em Nova York e funda a empresa Edison Electric Company.

Mas o uso prático dessas correntes elétricas se restringia a poucos, pois era impossível transmiti-las a longas distâncias. Para Nikola Tesla era claro que a corrente contínua era ineficiente e incapaz de transmitir energia a longas distâncias, e certamente deveria haver um outro método. A idéia dele da corrente alternada (AC) era tida pela comunidade científica com desdém. Houve então uma forte disputa entre Tesla e Edson na implementação dos sistemas de distribuição elétrica. Mas Tesla venceu finalmente, com a corrente alternada, essencialmente pelas suas características de diminuição de perdas na transmissão de energia. Em 1895, um sistema de energia AC foi financiado e inaugurado sem uma única falha, transmitindo energia até cerca de 30 km de distância. E assim, a energia elétrica começava a deixar de ser um privilégio de poucos.



Telégrafo (Fonte: <http://www.seara.ufc.br>).

Essa área de estudo, conhecida como eletricidade, recebeu seu nome somente após a descoberta de J. J. Thomson, em 1897 (que iremos relatar no final da aula), da partícula responsável por todas esses fenômenos: o elétron.

## O SURGIMENTO DO ELETROMAGNETISMO

Faça você também um experimento: Pegue um pente de plástico e passe em seu cabelo. Depois coloque o pente próximo a pedacinhos (bem pequenos) de papel. O que ocorre então? Agora passe a mão sobre o pente e aproxime novamente do papel. Você poderia explicar o que ocorreu?

Se seu cabelo não estiver cheio de creme, você verá que o pente irá atrair o papel na primeira parte do experimento. Você também pode tentar o mesmo experimento esfregando uma flanela no pente ou em uma régua plástica. Através do atrito, dois materiais diferentes podem ficar eletrizados. O mesmo acontece quando se penteia o cabelo. O atrito faz com que o pente fique eletrizado. Então surge o fenômeno de separação das cargas pela simples aproximação do objeto eletrizado. O pente tem poder de atração sobre os pedacinhos de papel, pois quando ele se aproxima do papel, as cargas deste se separam: as do

mesmo sinal do pente são atraídas, as do sinal contrário serão repelidas, isso fará com que o pente puxe o papel. Depois de passar a mão no pente você verá que ao aproximar do papel ele não será mais atraído, pois as cargas criadas foram transferidas para seu corpo através da sua mão e daí para a terra. Imagine só se você não tivesse nenhuma informação sobre eletricidade e magnetismo que tem agora, como seria difícil explicar este fenômeno que agora parece tão simples, né? Pois é, os físicos no século 19 queriam explicar esses fenômenos sem instrumentos para observar o que estava realmente acontecendo. Puxa, eles tinham muita imaginação!!

Inicialmente, a atração magnética era exibida apenas pelo ferro. Mas em 1774, o médico Mesmer estava convencido que a melhor analogia para o que ele chamou de gravidade animal era a ação do magnetismo. Ele utilizou suas teorias para tratar uma mulher que sofria de vários problemas, usando imãs para restaurar o fluxo do que ele chamava agora de magnetismo animal, acabando com as convulsões que ela sofria. Apesar de uma fama inicial com seus bons resultados, o trabalho de Mesmer também obteve muitas reações hostis das instituições sociais da época.

A atração e repulsão eletrostática já havia sido observada por Augustin



Augustin Coulomb (Fonte: <http://www.swehs.co.uk>).

tin Coulomb (1736-1806) que concluiu que fluidos elétricos iguais se repelem e os opostos se atraem. Em 1820, Hans Christian Ørsted aproximou uma bússola de um fio eletrificado, mostrando que a corrente elétrica podia mover o ponteiro da bússola. Com isso, deu a primeira demonstração prática de que as forças elétricas e magnéticas são parecidas. Menos de um ano depois a explicação desse fenômeno foi dada por André-Marie Ampère. O francês fez aparecer uma atração magnética entre dois fios eletrificados. No mesmo ano, Laplace calculou a força eletromagnética e os franceses Jean-Baptiste Biot e Félix Savart mediram a indução criada por uma corrente elétrica.

Em 1821, o inglês Michael Faraday (1791-1867) completou as experiências de Oersted e Ampère sobre forças elétricas e magnéticas. Ele verificou que um fio circular, ao ser eletrificado, faz girar um ímã próximo. Depois demonstrou que um ímã em movimento pode

criar corrente elétrica num fio desligado.

Os experimentos realizados por Faraday revelaram algo fantástico: um campo magnético variando com o tempo gera corrente elétrica em um

condutor. Então surgiu a pergunta: será que a Natureza não faz uso do inverso do processo descoberto por Faraday, de tal forma que um campo elétrico variando com o tempo gera um campo magnético?

O físico e matemático escocês James Clerk Maxwell descobriu que, na verdade, essa simetria é obrigatória. Caso contrário, um conjunto de equações, ou seja, a física não seria consistente. A partir de 1864, Maxwell se dedicou a formular matematicamente as teorias de Faraday sobre o magnetismo, conseguindo obter equações simples que permitiam descrever tanto os fenômenos elétricos quanto os magnéticos. Com isso, unificou em 1865 ambas as teorias, da eletricidade e do magnetismo, em uma só: a teoria eletromagnética.

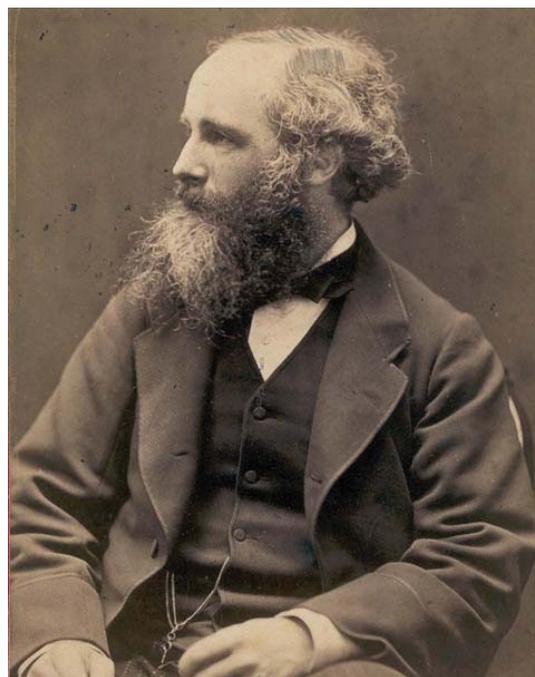
Maxwell demonstrou que a eletricidade e o magnetismo são, em essência, uma mesma coisa. São efeitos diferentes de uma única força, chamada então de força eletromagnética.

Maxwell foi mais além: previu, com suas formulações, que a oscilação de uma carga elétrica produz um campo magnético. Ao tentar calcular a velocidade de propagação desse campo, surpreendeu-se ao obter o valor aproximado de  $3 \times 10^8$  m/s, ou seja, a própria velocidade da luz, que já havia sido obtida experimentalmente por Foucault! Achou, então, que isso não podia ser mera coincidência. Ao contrário, afirmou que a luz nada mais era do que uma radiação eletromagnética, e que haveriam radiações de todos os comprimentos de onda, sendo a luz apenas uma variedade específica dessas radiações. Essa foi a chave que permitiu explicar toda a gama de fenômenos ópticos em termos das leis gerais do eletromagnetismo. Ou seja, Maxwell unificou em seus trabalhos: a eletricidade, o magnetismo e a óptica.

Maxwell, porém, acreditava que as ondas eletromagnéticas não se propagavam no vácuo, mas utilizavam a intermediação do éter, fluido que estaria presente em todo o universo, em meio à matéria e nos espaços desprovidos dela. Essa concepção seria rejeitada pelos pesquisadores que o sucederam.

Note que todas as conclusões inéditas de Maxwell foram obtidas exclusivamente a partir de cálculos e considerações teóricas, sem que fosse ainda possível desenvolver experimentos que os confirmassem. Até então somente eram conhecidos, além da luz visível, as radiações infravermelhas e ultravioletas.

A primeira verificação experimental só foi feita em 1888, pelo alemão Heinrich Rudolf Hertz. Ele demonstrou a existência da radiação eletro-



James Clerk Maxwell (Fonte: <http://www.clerkmaxwellfoundation.org>).

magnética, criando um aparelho que emitia ondas de rádio, e, assim, confirmou a existência das ondas eletromagnéticas imaginadas por Maxwell. Hertz produziu ondas eletromagnéticas por meio de circuitos oscilantes e, depois, detectou-se por meio de outros circuitos sintonizados na mesma frequência. Seu trabalho foi homenageado posteriormente colocando-se o nome “hertz” para unidade de frequência.

### A LUZ E O ÉTER

Como já vimos, já no ano de 1678, Huygens defendia a idéia de que a luz se propaga como onda, o que polemizava com as idéias de Isaac Newton, que defendia que os raios luminosos são feitos de partículas ou átomos de luz. Porém, ambos não apresentaram nenhuma prova conclusiva de suas teorias. Essa polêmica durou muito tempo.

Em 1800, o astrônomo inglês William Herschel descobriu que o Sol, além de luz visível, emite também um outro tipo de raio, o infravermelho. No ano seguinte, em 1801, o alemão Carl Ritter descobriu os raios ultravioleta. Atualmente se sabe que, apesar de invisíveis, esses raios são também um tipo de luz, porém de uma cor que os olhos não podem enxergar. Usamos, por exemplo, os raios infravermelhos no controle remoto das TVs.

O francês Augustin Fresnel desenvolveu, entre 1815 e 1819, uma monografia sobre a difração dos raios luminosos. Ele efetuou as primeiras medições de comprimento de onda elétrica e desenvolveu, matematicamente, sua teoria ondulatória em 1821, de forma a explicar fenômenos de interferência luminosa. Mas em seu tempo, suas teorias foram energicamente combatidas e seus trabalhos tiveram pouca divulgação. Somente com os trabalhos de Foucault, em 1850, é que a teoria ondulatória foi definitivamente aceita.

A teoria física no fim do século XIX postulava que, tal como as ondas de água têm de ter um meio por onde propagar-se (a água) e as ondas sonoras audíveis também requerem o seu meio (o ar), as ondas luminosas também iriam necessitar de um meio próprio, o “éter”. Assim, durante séculos, negar a existência do éter seria a maior asneira possível.

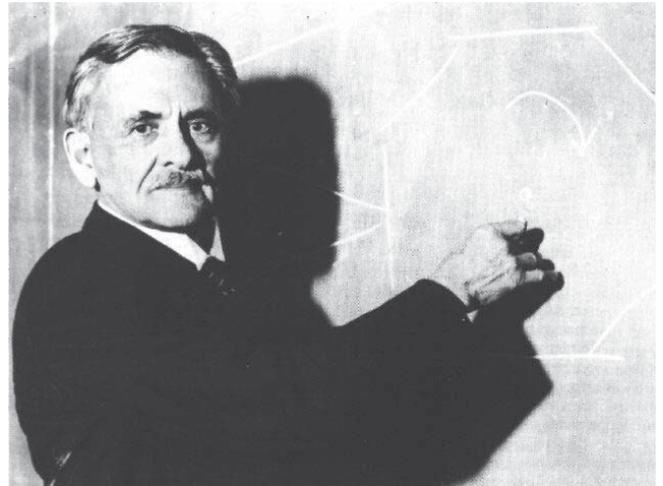
Mas um experimento iniciou uma grande mudança nessa idéia. Inspirado por uma idéia de Maxwell, que também acreditava na existência do éter, o físico norte-americano Albert Abraham Michelson, na época no laboratório do físico alemão Hermann Helmholtz, inventou um instrumento capaz de medir a velocidade da luz, conhecido como interferômetro de Michelson. Com ele, Michelson planejou um experimento que serviria para detectar, e assim provar a existência do “éter”. O experimento foi executado em 1881 e repetido em 1887, junto de seu conterrâneo Edward Williams Morley. No aparato era possível comparar o intervalo de tempo gasto por dois feixes de luz emitidos de uma mesma fonte em duas direções perpendiculares. Segundo a Mecânica Clássica, se uma dessas direções fosse a do movimento da Terra em sua órbita ao redor do Sol e a outra perpendicular,

deveria ser detectada uma diferença no intervalo de tempo percorrido pela luz nas duas direções diferentes.

O éter seria arrastado pelo movimento da Terra e, portanto, teria um fluxo como no exemplo do rio. Mas, inacreditavelmente para a época, o que se constatou foi que não houve mudança no tempo percorrido! O éter mostrou não ter qualquer efeito sobre a velocidade da luz, quer o feixe se deslocasse na mesma direção ou perpendicular ao movimento terrestre. Então, Michelson começou a questionar a existência real do éter, visto que se ele existisse, a Terra deveria estar em repouso! Esse é o exemplo mais famoso de um experimento que deu resultado negativo. Eles queriam provar a existência do éter, mas provaram exatamente o contrário! Apesar disso, por este trabalho, Michelson ganhou o Premio Nobel de Física em 1907. foram energeticamente combatidas e seus trabalhos tiveram pouca divulgação. Somente com os trabalhos de Foucault, em 1850, é que a teoria ondulatória foi definitivamente aceita.

A teoria física no fim do século XIX postulava que, tal como as ondas de água têm de ter um meio por onde propagar-se (a água) e as ondas sonoras audíveis também requerem o seu meio (o ar), as ondas luminosas também iriam necessitar de um meio próprio, o “éter”. Assim, durante séculos, negar a existência do éter seria a maior asneira possível.

Mas um experimento iniciou uma grande mudança nessa idéia. Inspirado por uma idéia de Maxwell, que também acreditava na existência do éter, o físico norte-americano Albert Abraham Michelson, na época no laboratório do físico alemão Hermann Helmholtz, inventou um instrumento capaz de medir a velocidade da luz, conhecido como interferômetro de Michelson. Com ele, Michelson planejou um experimento que serviria para detectar, e assim provar a existência do “éter”. O experimento foi executado em 1881 e repetido em 1887, junto de seu conterrâneo Edward Williams



Albert Abraham Michelson (Fonte: [www.lefo.ro](http://www.lefo.ro)).

Morley. No aparato era possível comparar o intervalo de tempo gasto por dois feixes de luz emitidos de uma mesma fonte em duas direções perpendiculares. Segundo a Mecânica Clássica, se uma dessas direções fosse a do movimento da Terra em sua órbita ao redor do Sol e a outra perpendicular, deveria ser detectada uma diferença no intervalo de tempo percorrido pela luz nas duas direções diferentes.

O éter seria arrastado pelo movimento da Terra e, portanto, teria um fluxo como no exemplo do rio. Mas, inacreditavelmente para a época, o que se constatou foi que não houve mudança no tempo percorrido! O éter mostrou não ter qualquer efeito sobre a velocidade da luz, quer o feixe se

deslocasse na mesma direção ou perpendicular ao movimento terrestre. Então, Michelson começou a questionar a existência real do éter, visto que se ele existisse, a Terra deveria estar em repouso! Esse é o exemplo mais famoso de um experimento que deu resultado negativo. Eles queriam provar a existência do éter, mas provaram exatamente o contrário! Apesar disso, por este trabalho, Michelson ganhou o Premio Nobel de Física em 1907.

A idéia básica do experimento Michelson e Morley pode ser ilustrada utilizando a seguinte analogia:

Suponha que temos um rio e dois nadadores que nadam na mesma velocidade. A água do rio flui em uma taxa estável. Ambos saem simultaneamente de pontos diferentes do rio, um deles parte do ponto da A em direção transversalmente ao ponto B do outro lado da margem, enquanto o outro parte do ponto C em direção ao ponto B, ambos na mesma margem do rio, ou seja na direção do fluxo de água. Quem chega primeiro em B? É claro que o fluxo de água irá influenciar nessa prova, sendo que um fatalmente chega primeiro que o outro. Pois então, o efeito do fluxo de água sobre os nadadores seria como o efeito do fluxo do éter sobre a luz.

Esse experimento também mostrou que a velocidade da luz não é a relativa, ou seja, não muda, independentemente do referencial. A velocidade da luz é sempre absoluta! Foi o aparato real do experimento de Michelson-Morley que deu significativo impulso ao desenvolvimento da Teoria da Relatividade, que será discutida na próxima aula.

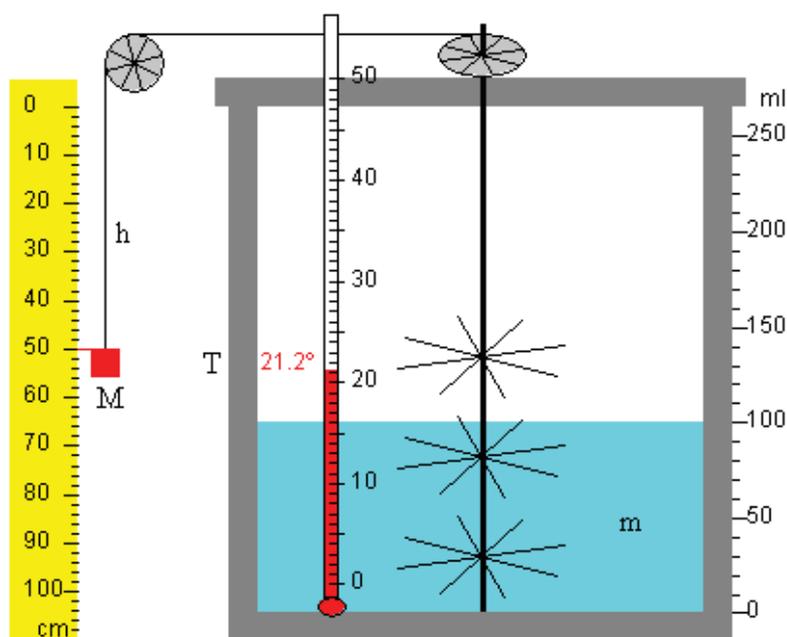
## TERMODINÂMICA E MECÂNICA ESTATÍSTICA

Como obter o equivalente mecânico do calor? Quanto equivaleria 10C em energia mecânica?

Em 1843, o físico britânico James Prescott Joule teve uma idéia brilhante para responder essa pergunta: ele fez uma hélice metálica girar dentro de um tanque com água e verificou que a temperatura da água subia. Ou seja, a rotação da hélice, que é energia em forma mecânica, virava calor. Hoje, a unidade de energia no sistema internacional é chamada joule em sua homenagem. A experiência de Joule mostrando que a energia mecânica vira energia na forma de calor leva à definição de uma das leis mais importantes da física: a energia não pode ser criada nem destruída. É a chamada Lei de Conservação da Energia, ou Primeira Lei da Termodinâmica. Ela foi definida pelo alemão Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz, em 1847.

No ano seguinte verificou-se que a temperatura dos corpos não pode diminuir indefinidamente. Existe um limite a partir do qual ela não cai mais!

E foi o inglês William Thomson, mais conhecido como Lord Kelvin, quem determinou esse ponto, denominado zero absoluto, cujo valor atual é de  $-273,15^{\circ}\text{C}$ . Em homenagem a Thomson, a unidade de temperatura mais usada atualmente pela ciência é o Kelvin.



Representação esquemática do experimento mecânico de Joule. (Fonte: <http://www.fisica.ufs.br>).

Lembra-se também que na aula passada falamos dos estudos de Carnot sobre o rendimento das máquinas? Pois o alemão Rudolf Julius Emanuel Clausius concluiu, em 1850, que sempre que a energia muda de forma, uma parte vira calor e não pode ser aproveitada. Nas hidrelétricas, por exemplo, uma queda-d'água faz girar um conjunto de ímãs, o que gera eletricidade. A energia mecânica de rotação vira energia elétrica. Mas não totalmente, porque, ao girar os ímãs o atrito entre a água e os ímãs faz com que esquentem, desperdiçando energia na forma de calor. Isso o levou a enunciar o que chamamos de Segunda Lei da Termodinâmica.

Em 1910, Johannes van der Waals foi agraciado com o Prêmio Nobel de Física, pois em 1873, ele havia concluído que, embora as moléculas de gás sejam extremamente pequenas, cada uma delas tem um tamanho diferente. Sendo assim, o tamanho da molécula e a força que atuam entre elas afetam seu comportamento.

A teoria cinética dos gases que começou com a derivação da lei de Boyle em 1738, por Daniel Bernoulli, através da aplicação das leis do movimento de Newton às moléculas, seguiu com estudos teóricos de Maxwell, foi realmente aprofundada pelo alemão Ludwig Eduard Boltzmann, em 1884. Suas novas pesquisas fortaleceram duas idéias que foram decisivas para o progresso da física do século

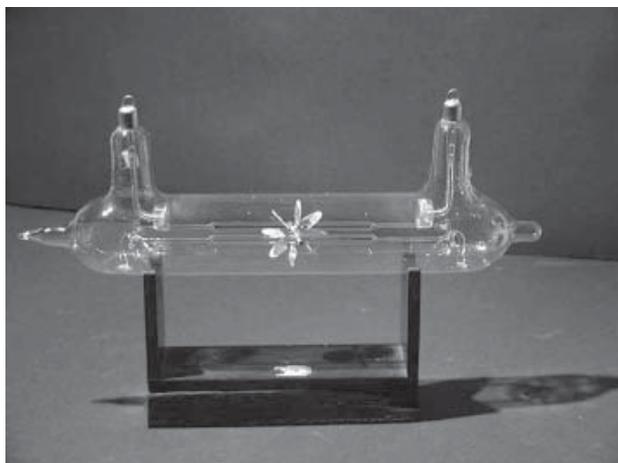
“Todas as substâncias são feitas de átomos”.  
Boltzmann

XX. A primeira é que todas as substâncias são feitas de átomos; portanto, ao estudar o comportamento dos átomos, é possível entender as propriedades gerais das substâncias, como a temperatura de um gás ou a quantidade de luz que ele emite ao ser aquecido. A segunda é que esse estudo deve ser feito de maneira estatística, por meio do cálculo de probabilidades. Boltzmann com suas idéias acabava de criar a Mecânica Estatística!

Já, Willard Gibbs conseguiu generalizar as idéias introduzidas por Maxwell e Boltzmann de uma forma que é independente do tipo de sistema tratado. Em 1902, ele apresentou o seu livro *Elementary Principles in Statistical Mechanics*, tendo sido a primeira pessoa a realmente utilizar o termo mecânica estatística.

### RAIOS X E RADIOATIVIDADE

Em torno de 1879, o inglês William Crookes estava interessado na condutividade elétrica em gases sob baixa pressão. Então, em uma ampola (um tubo de vidro fechado à vácuo contendo um gás rarefeito) colocou dois eletrodos com pólos positivo e negativo, e estabeleceu entre eles um diferencial de potencial elétrico. Ao aplicar uma descarga elétrica, ele percebeu um feixe de luz ligando um pólo ao outro. Esses raios causavam fosforescência em alguns objetos sobre os quais eram aplicados e produziam grande quantidade de calor no impacto.



Tubo de Crookes (Fonte: <http://www.ca.ufsc.br>).

O físico Eugen Goldstein observou que essa luminosidade era provocada por raios invisíveis à olho nu. Que uma vez acelerados a partir do cátodo atravessavam o tubo em linha reta em direção perpendicular à sua superfície. Então, atribuiu essa luminosidade aos raios provenientes do pólo negativo, chamado cátodo, e, portanto, os raios observados foram denominados raios catódicos.

Muitos cientistas na Europa começaram a estudar os raios catódicos. Havia porém uma grande dificuldade na época, pois ninguém podia mostrar de fato que tais radiações existiam. Inclusive, não se tinha certeza naquela época se aqueles raios eram partículas ou ondas eletromagnéticas.

Em 1895, Wilhelm Conrad Röntgen observou um estranho fenômeno: raios que escapavam do tubo de Crookes faziam luminescer, a uma certa distância do tubo, uma superfície que tinha recebido uma camada de material fosforescente. Próximo ao tubo de Crookes havia um pedaço de papel para chapa fotográfica. Röntgen percebeu que, quando fornecia corrente elétrica ao tubo, a chapa fotográfica velava, ou seja, ficava escura, como

quando exposta à luz. Intrigado, resolveu intercalar entre o dispositivo e o papel fotográfico, corpos opacos à luz visível, como por exemplo, envolvendo o tubo em uma caixa de papelão negro. Desta forma obteve provas de que vários materiais opacos à luz diminuam, mas não eliminavam a emissão desta estranha irradiação induzida pelo raio de luz invisível. Com isso, Röntgen revelou a existência de novos raios, que mais tarde se comprovaria serem mais uma forma de ondas eletromagnéticas.

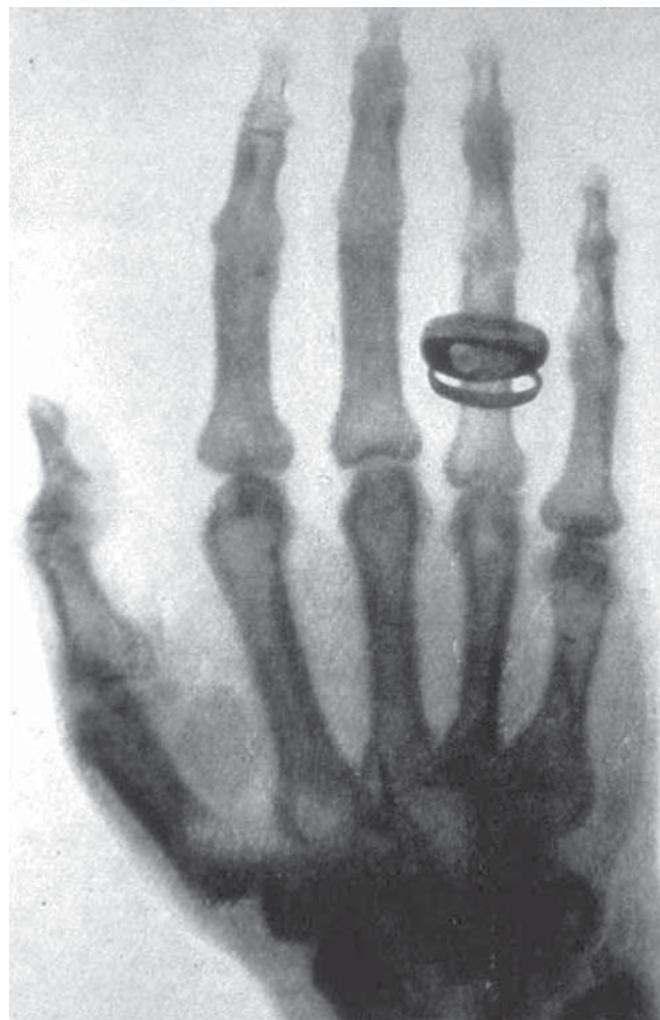
Röntgen batizou esses raios de X, para salientar que a ciência nada sabia sobre eles até então e fez a primeira radiografia da história, da mão de sua esposa. Por ser capaz de atravessar o corpo humano, deixando ver os ossos, os raios X viraram manchetes dos jornais no mundo inteiro. Essa descoberta revolucionou os campos da Física e da Medicina. Por sua descoberta, Röntgen recebeu o primeiro Prêmio Nobel em Física, em 1901.

Posteriormente, a mesma descoberta de Röntgen levou muitos outros cientistas a receberem o prêmio Nobel de física com pesquisas sobre o assunto. Em 1896, semanas depois dessa descoberta, Henri Poincaré fez um relatório sobre os Raios X para a academia Francesa de Ciências. Além de sua explicação sobre os raios X,

estavam algumas observações referentes a fosforescências estranhas que ele mesmo observou. Este fenômeno interessou Henri Becquerel que pensou em investigar se todos os corpos fosforescentes poderiam emitir raios similares.

Becquerel iniciou suas investigações utilizando um composto à base de urânio. Ele colocou o composto sobre uma chapa fotográfica por um período e, então, revelou a chapa. Com isso, constatou que este material afetava a chapa de forma similar aos raios X. Becquerel havia então descoberto a Radioatividade, ou seja, a espontânea emissão de radiação vinda de um material.

Depois, Becquerel demonstrou que a radiação emitida pelo urânio compartilhava certas características como os raios X, porém não exatamente igual, pois podia ser desviada por um campo magnético (os raios X não) e, por essa razão, deveria ser composto por partículas com carga elétrica.



Radiografia da mão da esposa de Röntgen (Fonte: <http://img242.imageshack.us>).

Vejam como um achado pode levar a outro diferente! Por sua descoberta, Becquerel foi laureado, em 1903, com um Prêmio Nobel em Física.

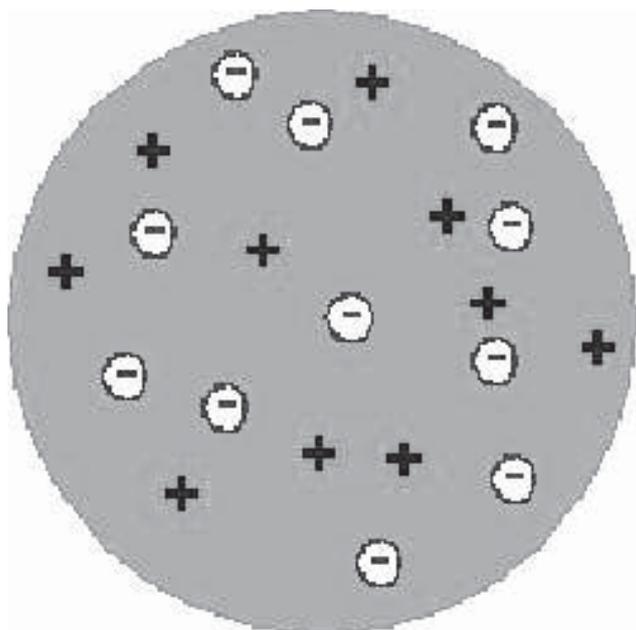
O estudo dos raios catódicos levou a mais uma outra descoberta importante. Joseph John Thomson observou que esse fenômeno é independente do gás e do metal utilizado no cátodo. Ele demonstrou que os raios catódicos podiam ser interpretados como um feixe de partículas carregadas negativamente e que possuíam massa.

Mas que relação essas partículas tinham com os átomos da matéria? Até essa época, ninguém havia suspeitado que pudessem existir coisas menores do que os átomos que os químicos estudavam.

Em 1897, Thomson sintetizou seus estudos na idéia segundo a qual a matéria, quaisquer que sejam suas propriedades, continha partículas de mesmo tipo cuja massa é muito menor que a dos átomos dos quais elas são parte. Essa linha de pensamento levou à descoberta de um corpo menor do que o átomo do hidrogênio, e disso resultou a identificação das partículas que denominou corpúsculos. Essas partículas elementares de carga negativa contribuíram de modo significativo para a revolução científica do século XX, mediante o conhecimento da estrutura do átomo. Elas ficaram conhecidas como elétrons e deram nome a sua área de aplicação: a eletricidade.

Com seus resultados, Thomson propôs que o átomo não fosse maciço, mas sim um fluido homogêneo e quase esférico com carga positiva, no qual estavam dispersos, também de maneira homogênea os elétrons. Podemos fazer a analogia desse modelo atômico com um pudim recheado de uvas passas, em que a massa seria positiva e as passas seriam as partículas negativas.

Diante de tantos grandes sucessos científicos que haviam ocorrido por volta de 1900, alguns físicos pensavam que a Física estava praticamente completa. Será isso mesmo? Não havia mais questões a serem solucionadas? Acho que não foi bem essa história que ocorreu, afinal não falamos de alguns personagens bem conhecidos do público em geral, como Einstein, não é mesmo? O que será que ele conseguiu de novidade nesse campo de conhecimento que parecia esgotado?



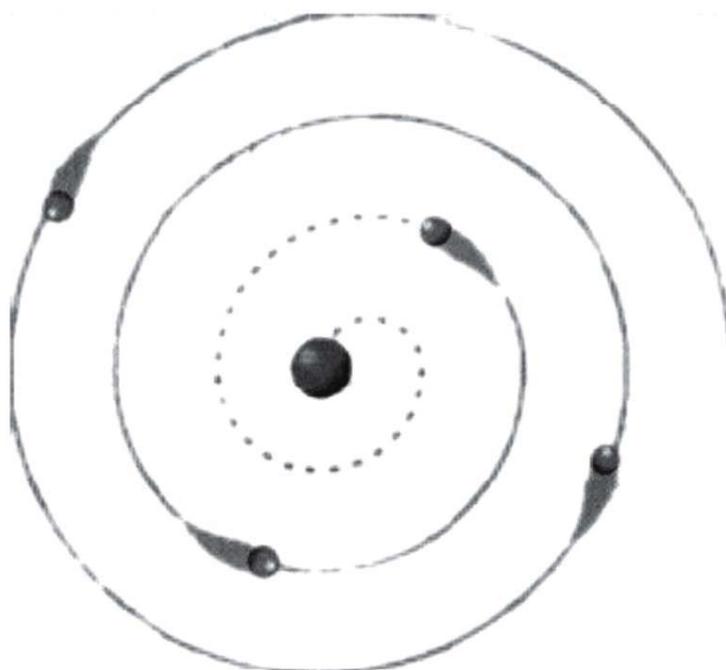
Modelo de pudim de ameixas de Thomson (Fonte: <http://www.if.ufrgs.br>).

## CONCLUSÃO

Nesta aula, foi possível verificar como novas descobertas em ciência freqüentemente provocam desenvolvimentos em áreas completamente diferentes, da Química à Medicina. Por exemplo, a descoberta dos raios catódicos estimulou várias pesquisas que conduziram à descoberta dos raios X, da radioatividade e a uma mudança no modelo atômico até então proposto.

Novos fenômenos foram descobertos, novas leis foram estabelecidas, além das propostas de resultados teóricos bastante gerais. Foi um momento de grandes sínteses em áreas aparentemente diversas da Física: Eletromagnetismo, com união da Eletricidade, do Magnetismo e da óptica; a Mecânica Estatística, com a união da Mecânica e da Termologia. Portanto, os maiores sucessos da Física do século XIX não foram as descobertas de novos fenômenos, mas sim resultados teóricos que reuniram os principais fenômenos físicos estudados e mudaram a forma de vê-los.

A convergência das idéias e a excelente explicação do mundo macroscópico obtida pelos físicos, nesse período, parecia ter solucionado todas as dúvidas da física do mundo natural. Seria o fim das pesquisas em Física? Será que as dúvidas haviam mesmo se esgotado?



(Fonte: [www.fcf.usp.br](http://www.fcf.usp.br)).



### RESUMO

Vimos que no início do século 19, a busca da composição da matéria conduziu ao ressurgimento da teoria atômica, sugerida pelos gregos antigos Leucipo e Demócrito. Nessa busca, vários elementos químicos foram identificados, mas não eram agrupados de forma a mostrarem qualquer relação uns com os outros. Até que Mendeleev os agrupou na tabela periódica, organizando as informações, inclusive prevendo com ela a existência de elementos ainda não identificados.

Continuando as investigações sobre eletricidade estática produzida em diversos fenômenos e acrescentando busca por explicações racionais para os fenômenos naturais em medicina, como a eletricidade animal, chegou-se a invenção da pilha, que depois teve uma infinidade de aplicações. Na tentativa de explicar a eletricidade animal, a discussão gerada entre as propostas do médico Galvani e o físico Volta provou que às vezes duas teorias podem estar corretas, mesmo quando parecem tão divergentes.

Apesar de tantas descobertas sobre a eletricidade, vimos que os fenômenos eletromagnéticos, essenciais para a nossa vida e nosso conforto, só foram compreendidos definitivamente no final do século 19, com os trabalhos de Faraday e Maxwell. O eletromagnetismo conseguiu inicialmente unir duas áreas de estudo que eram totalmente separadas antes - a eletricidade e o magnetismo.

Essa síntese foi apenas um primeiro passo, pois o estudo dos fenômenos eletromagnéticos levou, na segunda metade do século XIX, à previsão de ondas eletromagnéticas com a mesma velocidade da luz. Essas ondas foram depois criadas experimentalmente por Hertz, e confirmou-se que elas tinham propriedades muito semelhantes a das ondas luminosas. Concluiu-se então que a luz era um tipo especial de ondas eletromagnéticas, de alta frequência, e assim a óptica passou a ser uma parte do eletromagnetismo.

O desenvolvimento da termodinâmica também culminou em uma outra síntese. Embora os fenômenos térmicos possam ser estudados sob o ponto de vista puramente macroscópico (daquilo que se observa e mede), os físicos começaram a imaginar modelos microscópicos para explicar os fenômenos gasosos e assim se desenvolveu a termodinâmica. A temperatura passou a ser uma indicação da energia cinética média das moléculas do gás e foi possível relacionar o calor específico dos gases à sua composição molecular. As leis probabilísticas aplicadas ao estudo dos movimentos das partículas da matéria permitiram explicar a segunda lei da termodinâmica a partir de um modelo mecânico. Com isso, conseguiu-se uma síntese entre a mecânica e a termologia: nasceu a Mecânica Estatística.

Vimos que foi nessa época que se determinou a velocidade da luz. E apesar da crença geral da existência do éter como meio necessário para sua propagação, o experimento de Michelson e Morley demonstrou que o éter não existia realmente, e que a velocidade da luz é constante, isto é, não muda.

Nas últimas décadas do século XIX foram estudadas descargas elétricas em gases rarefeitos, em que primeiro descobriu-se os raios catódicos. Depois, a partir desses mesmos raios, descobriu-se os raios X, que logo se mostraram muito úteis em várias áreas. A partir dos estudos sobre os raios X, que hoje sabemos são associados com movimentos de elétrons, chegou-se a descoberta da radioatividade, que é uma propriedade dos núcleos atômicos. E ainda, com o uso dos mesmos raios catódicos foi proposto um novo modelo atômico, no qual o átomo deixava de ser indivisível para ser composto de partículas com cargas elétricas negativas em uma massa de carga positiva. Iniciava-se a conexão entre a teoria atômica e as propriedades elétricas da matéria.

Com tantos bons resultados muitos estudiosos de Física achavam que já conheciam os princípios e as leis fundamentais do funcionamento do universo. Havia apenas algumas “pequenas dúvidas” a serem sanadas. Será?

### ATIVIDADES

1. Quais foram os temas mais investigados pelos cientistas no período descrito nessa aula? Em que teorias e descobertas eles culminaram?



### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Foram diversos os temas. A busca de explicações racionais para os fenômenos naturais em medicina, como as explicações de Mesmer sobre fluidos corporais e a conexão entre a eletricidade e a geração de movimentos musculares. Ainda na busca pelas respostas sobre os fenômenos ligados a eletricidade estática, juntou-se investigações sobre o magnetismo e a luz, que culminaram com a teoria que os sintetizava no eletromagnetismo. O estudo dos fenômenos gasosos, que levou ao nascimento da teoria cinética dos gases e a Mecânica Estatística. Investigações sobre descargas elétricas em gases rarefeitos que conduziram a descoberta dos raios X, da radioatividade e também da proposta de um novo modelo atômico, cujo átomo não seria mais “indivisível”, mas seria composto de cargas negativas e positivas.

2. Você é capaz de conectar a famosa história fantástica de Frankenstein da escritora britânica Mary Shelley com os experimentos de Galvani? Comente suas idéias.

### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Frankenstein é um romance de terror, o qual relata a história de Victor Frankenstein, um estudante de ciências naturais que constrói um “monstro” em seu laboratório. Frankenstein interessa-se pelas ciências naturais indo estudá-la na Universidade. Victor procura seus futuros mestres, que lhe apresentam as “modernas” ciências naturais do século XIX. Empenhado em descobrir os mistérios da criação, Victor estuda febrilmente e acaba encontrando o segredo da geração da vida: o fluxo elétrico. Ele usa o fluxo proveniente dos raios para criar um ser humano gigantesco, usando restos mortais de várias pessoas.

Mary Shelley escreveu a história entre 1816 e 1817, e a obra foi primeiramente publicada em 1818. Provavelmente ela também estava impressionada com os resultados de Galvani divulgados cerca de 25 anos atrás. Pode-se notar que o poder exercido pelos cientistas sobre a Natureza é o tema principal da obra, e encaixa-se no espírito da época. Uma curiosidade, Shelley, de apenas 19 anos, havia sido incumbida pelo Lord Byron de escrever uma história de horror. Parece que ela teria “visto” um estudante “dando vida a uma criatura”. Provavelmente um choque elétrico teria provocado movimentos em um animal morto, como ocorreu na rã nos experimentos de Galvani. Assim, Shelley teria ligado essa idéia, a de dar vida a um ser humano já morto através de raios.

3. Diga como a pesquisa em química, evolução genética, eletricidade, magnetismo e óptica, vistas aqui, influenciam sua vida hoje.

### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Você conseguiria imaginar nosso mundo sem energia elétrica? E sem nossos equipamentos fantásticos como o computador, através do qual você está fazendo esse curso a distância? Sem falar em coisas muito mais simples, como o rádio em que todos gostam tanto de ouvir música ou saber notícias. E a medicina? Estaríamos ainda morrendo de simples gripes se não fossem as investigações desses gênios. Então, penso que tanto você como eu devemos muito a esses caras, não?

4. Comente os fatos que levaram os cientistas a acreditarem que a física já seria uma ciência completa no final do século 19. Comente também por que eles não estavam corretos.

### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Uma série de fatos levou a essa conclusão: a mecânica do século XIX tornou-se capaz de explicar movimentos complexos, era capaz de estudar os movimentos de líquidos e gases; teoria eletromagnética era capaz de explicar fenômenos elétricos, magnéticos e até mesmo unificou a luz como uma onda eletromagnética. Até mesmo técnicas matemáticas muito sofisticadas já haviam sido desenvolvidas pelos físicos.

Diante dos grandes sucessos científicos que haviam ocorrido em 1900, parecia que realmente não havia nada mais a ser descoberto. Alguns físicos, como Lord Kelvin, pensavam que a Física estava praticamente completa. Ele, por exemplo, chegou a recomendar que os jovens não se dedicassem à Física, pois faltavam apenas alguns detalhes pouco interessantes a serem desenvolvidos, como o refinamento de medidas e a solução de problemas secundários.

Mas as questões que se puseram aos Físicos até meados do século XIX estavam relacionadas com partículas de dimensões apreciáveis (o mundo macroscópico) e que se movem com velocidades muito inferiores à da luz, visto que eles não tinham instrumentos para fazer observações desse "outro mundo". Foram essas duas "pequenas coisas", no entanto, que desencadearam o surgimento das duas teorias que revolucionaram a Física no século XX: a teoria da relatividade e a teoria quântica.

### PRÓXIMA AULA

As explicações dos fenômenos propostas no século XIX teriam levado ao fim das questões em física? Quais foram os novos fatos e as idéias que levaram personagens como Einstein novamente a revolucionar a física? Onde estão os limites dessa ciência hoje. Isso é o que veremos na próxima aula.



## REFERÊNCIAS

FRANCO, H. **Curso de evolução dos conceitos da Física do IFUSP.** Disponível em <<http://plato.if.usp.br/1-2003/fmt0405d>>. Acesso em 01/02/2008.

GREGORY, F. **The history of Science 1700 - 1900. Course Guidebook. Chantilly:** The Teaching Company, 2003.

MACEDO, C. A. **Apostila do Curso de Introdução à Física da UFS.** São Cristóvão, 2006.

MARTINS, R. A. **A Física no final do século XIX: modelos em crise.** Disponível em <<http://www.comciencia.br/reportagens/fisica/fisica05.htm>>. Acesso em 18/02/2008.

**Portal de ensino de Física da USP.** Disponível em <<http://efisica.if.usp.br>>.

VALERIO, M. E. G. **Notas de aula do Curso de Introdução à Física da UFS.** São Cristóvão, 2006.

<http://hpdemat.vilabol.uol.com.br/Biografias.htm>.