

# SÉCULO XX E A “NOVA FÍSICA”

## META

Mostrar como as aparências em ciência realmente enganam e que a física no século XX fez com que todos tivessem que reavaliar todos os seus conceitos mais básicos sobre o mundo.

## OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá: identificar evolução histórica e contextualizar as grandes contribuições científicas ocorridas nos séculos XX; comparar as grandes mudanças conceituais da física ocorridas no século XX; reconhecer como os novos conceitos influenciaram a humanidade; e exemplificar coisas em nosso dia-dia fundamentadas na ciência dos séculos XX.

## PRÉ-REQUISITOS

O aluno deverá observar o movimento dos carros. Primeiro parado em algum lugar na rua. Depois, de dentro de um deles. Deverá refletir sobre o passar do tempo: Uma hora sempre parece durar o mesmo tempo para você ou às vezes parece mais longa e em outras o tempo voa? Se for possível, assistir os filmes: “Contato”, e “O Santo”.



Representação de um buraco negro (Fonte: <http://imagine.gsfc.nasa.gov>).

**A**prendemos na aula passada que a mecânica do século XIX tornou-se capaz de explicar movimentos complexos, como os dos piões; estudou os movimentos de líquidos e gases; e desenvolveu técnicas matemáticas muito sofisticadas com a chamada “mecânica analítica”. Sob o ponto de vista da tecnologia, esses conhecimentos foram aplicados no desenvolvimento de novos meios de transporte - grandes navios, submarinos, balões dirigíveis e até os precursores da asa-delta.

## INTRODUÇÃO

Embora inicialmente fosse apenas um assunto para pesquisa científica, a teoria eletromagnética, também desenvolvida nessa época, logo levou a resultados práticos importantes. Foram construídos dínamos que produziam eletricidade a partir do movimento, e nas duas últimas décadas do século 19 foram construídas grandes usinas termoelétricas para geração de eletricidade. Dessa forma, o uso doméstico e industrial da eletricidade começou a se tornar possível. As lâmpadas elétricas substituíram gradualmente os lampiões e a iluminação a gás. Os motores elétricos começaram a ser utilizados para várias finalidades. A eletricidade também revolucionou as comunicações.

Com todas essas inovações, o final do século 19 foi uma fase de excessivo otimismo. Muitos estudiosos de Física achavam que já conheciam os princípios e as leis fundamentais do funcionamento do universo. Não haveria mais nada muito inovador para ser feito em física!

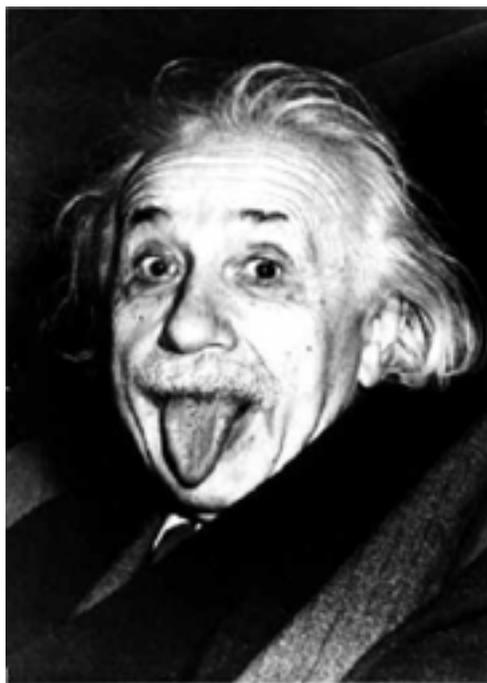
Mas as questões que se puseram aos Físicos, até meados do século 19, estavam relacionadas com partículas de dimensões apreciáveis e que se moviam com velocidades muito inferiores a da luz. Sem instrumentação que lhes permitisse observar o comportamento de partículas de dimensões atômicas (cerca de  $10^{-10}$  m), nem possibilidades de atingir velocidades da ordem da velocidade da luz ( $3 \times 10^8$  m/s), os cientistas apenas se preocupavam com o estudo do mundo macroscópico.

Assim, a maior parte dos cientistas não percebia a existência

do grande número de fenômenos inexplicados e de problemas teóricos e conceituais pendentes. Apesar de Lord Kelvin estar dentre eles e pensar que a Física estava praticamente completa, ele também mencionava que existiam “duas pequenas nuvens” no horizonte da física: os resultados negativos do experimento de Michelson-Morley e a dificuldade em explicar a distribuição de energia na radiação de um corpo aquecido, a radiação de corpo negro.

Pois foram essas duas “pequenas nuvens”, no entanto, que desencadearam o surgimento das duas teorias que revolucionaram a Física no século XX: a teoria da relatividade e a teoria quântica.

Pois é, a física se mostrava uma área aberta, instigante e interessante novamente. Havia uma infinidade de questões a serem respondidas!



Albert Einstein (Fonte: <http://www.maniacworld.com>).

**E**m 1905, um jovem cientista alemão, que havia sido rejeitado como professor universitário e por isso trabalhava em um escritório de patentes, publicou 5 trabalhos que mudariam radicalmente a física depois deles. Seu nome era Albert

## O MOVIMENTO BROWNIANO

Einstein. Num desses trabalhos, Einstein explicou o que seria o movimento browniano, que nada mais é que o movimento aleatório de partículas macroscópicas num fluido como consequência do choque, entre elas e o fluido. Isso também pode ser observado quando a luz incide em lugares muito secos, onde macropartículas “flutuam” em movimentos aleatórios, e que vulgarmente confunde-se com poeira, ou em grãos de pólem, como havia sido observado pela primeira vez pelo botânico Robert Brown. Brown havia pensado que se tratava de uma nova forma de vida, pois ainda não se tinha completa ciência da existência de moléculas, e as partículas pareciam descrever movimentos por vontade própria.

O francês Jean-Baptiste Perrin resolveu então, em 1908, fazer experimento para verificar a sugestão de Einstein. Moléculas de água, praticamente do mesmo tamanho de um átomo, poderiam empurrar as partículas bem pequenas, mas ainda visíveis ao microscópio, como de grãos de resina vegetal. De fato, ele registrou e mediu os saltos que elas davam nas colisões.

Boing, boing, boing. Que movimento frenético!!

Por meio dessas medidas, Perrin deduziu o tamanho das moléculas que empurravam os grãos de resina. Eram exatamente o tamanho que se esperava, e a partir de então a existência dos átomos passou realmente a ser aceita, colocando um fim na disputa de dois mil anos sobre a existência dos átomos e moléculas.

Mas você pode me perguntar para que isso serve? Ficar estudando o movimento aleatório de grãos de pólen? Que coisa chata e sem utilidade!

Pois é, é aí que você se engana! Há um padrão escondido nesse movimento aleatório. Hoje em dia, os físicos estudam tal movimento que está diretamente ligado com muitas reações em nível

celular, como a difusão e a formação de proteínas. Por incrível que pareça, também serve para descrever flutuações de preços de mercadorias, a condutividade elétrica em metais e a ocorrência de cheias nos rios. Uma observação de um movimento aparentemente inocente de Brown revelou-se muito mais importante do que parecia.

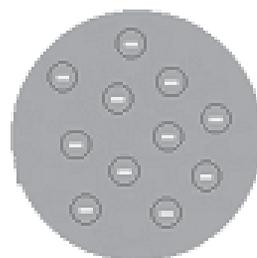
E agora, você está convencido de que foi importante estudá-lo?

## A TEORIA ATÔMICA

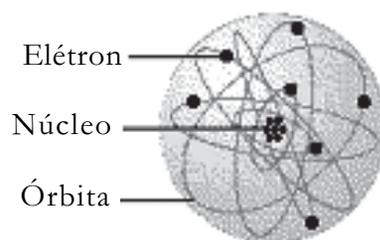
OK, vamos voltar aos átomos. Já se sabia que eles devem conter os elétrons, descobertos por Thomson em 1897, que comentamos na aula passada. Também se sabia que os átomos são neutros, portanto devem conter a carga positiva que compensa a negativa. O que não se sabia era como essas cargas estão distribuídas, isto é, não se sabia a estrutura dos átomos. O neozelandês Ernest Rutherford realizou, em 1911, experimentos que lhe permitiram verificar que o átomo tem um núcleo central minúsculo, no qual fica concentrada toda carga positiva e quase toda sua massa. Ele sugeriu que o resto da massa atômica, menos de 1 milésimo do total, estava associada aos elétrons que giram em torno do núcleo.

Então, isso mudou radicalmente a idéia daquele modelo proposto do pudim de passas?

Isso mesmo! Esse modelo atômico (chamado o modelo de Rutherford) era parecido com o sistema solar, em que temos o Sol (o núcleo), com sua imensa massa no centro, e os planetas (elétrons) orbitando em torno dele. O problema desse modelo foi que os movimentos dos elétrons foram considerados com base na teoria eletromagnética existente. Por essa teoria, qualquer carga que se move de maneira não uniforme deve emitir ondas eletromagnéticas, perdendo ao mesmo tempo sua própria



Modelo de Thomson

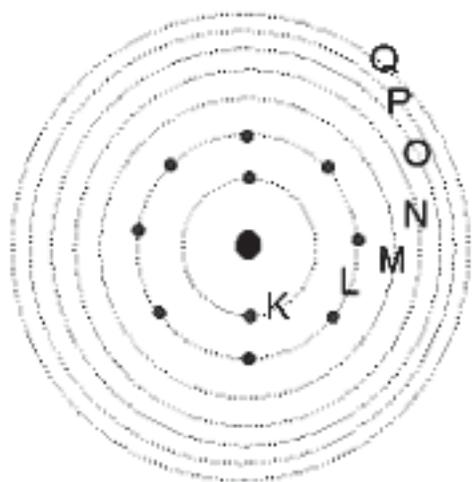


Modelo de Rutherford

energia. Aplicado isso ao modelo de Rutherford, significa que os elétrons perdiam gradualmente sua energia, e daí suas órbitas deveriam ficar cada vez mais próximas do núcleo até colidirem com ele. Como isso não acontece, o modelo atômico de Rutherford foi abandonado.

Mas dois anos depois, o dinamarquês Niels Bohr resolveu o problema! Ele introduziu algumas idéias que na época foram consideradas ousadas, pois contrariavam todo conhecimento adquirido

pelos físicos. Bohr sugeriu que os elétrons poderiam girar só em algumas órbitas determinadas, e que neste caso eles não irradiavam energia. Imagine o elétron como um equilibrista sobre uma corda (órbita). É claro que ele não pode sair dessa órbita para o espaço vazio. Para passar para outra corda, ou órbita, ele tem que saltar exatamente de uma para outra. Essa idéia de Bohr contribuiu bastante para o desenvolvimento de uma nova teoria física que descreve o mundo microscópico – a teoria quântica.



Modelo de Bohr.

Mas ainda não se sabia bem do que o núcleo era composto, isto é, a sua estrutura. Só se sabia que ele continha a carga positiva, concentrada em partículas chamadas prótons. Então, em 1932, o inglês James Chadwick detectou o nêutron, a outra partícula sem carga componente dos núcleos atômicos junto do próton e que resolvia um outro problema que era a distribuição de massa.

Pronto. Agora sabíamos tudo sobre os átomos, não é mesmo? Temos um núcleo, com prótons e nêutrons, com elétrons girando em torno deles.

Engano!!! Como veremos, a história não se encerra aí!

## NASCIMENTO DA MECÂNICA QUÂNTICA

Os físicos, no final do século 19, se deparavam com um ou-

tro “pequeno” problema não solucionado: o estudo da distribuição de energia da radiação emitida por sistemas conhecidos como corpos negros. Um corpo negro, em física, é um corpo que absorve toda a radiação que nele incide: nenhuma luz o atravessa nem é refletida. Apesar do nome, corpos negros produzem radiação eletromagnética conhecida como radiação térmica.

Este fenômeno é explicável qualitativamente pela teoria clássica, mas tornou-se insuficiente para fornecer uma descrição quantitativa. O problema finalmente foi resolvido em 1900, por Max Planck que estudou uma cavidade capaz de aprisionar certa quantidade de luz e tentou calcular a energia total concentrada lá dentro.

**Idéia de Planck:  
pacotes de luz**

Fazendo suposições e cálculos consistentes com a termodinâmica e o eletromagnetismo, ele achou uma fórmula matemática ajustando dados experimentais de maneira satisfatória. Mas ele ficou espantado porque suas contas só davam certo quando supunha que a cavidade possui uma infinidade de minúsculos “pacotes” de luz.

**Quanta e fótons**

Através de sua pesquisa, Max Planck mostrou que qualquer objeto emite radiação eletromagnética discretamente em “pacotes”. Planck chamou esses pacotes de quanta, plural de quantum. Em 1926, o químico Gilbert N. Lewis chamou pela primeira vez estes *quanta* de *fótons*, denominação usada hoje.

Hertz já havia comprovado existência das ondas eletromagnéticas. Mas ao mesmo tempo em que gerou ondas de rádio, Hertz observou outro fenômeno: a incidência de luz sobre um objeto metálico provocava uma corrente elétrica (o efeito fotoelétrico). Na verdade, o efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por um material quando exposto a uma radiação eletromagnética de frequência suficientemente alta. Einstein trabalhou em cima da idéia de Planck. Para ele os quanta seriam uma nova espécie de partículas: os “átomos de luz”. Então, mais um de seus trabalhos de 1905 foi a proposta da quantização da radiação eletromagnética para explicar o efeito fotoelétrico.

Todos esses resultados estavam em contradição com a teoria clássica da luz como uma mera onda contínua. A teoria de Einstein do efeito fotoelétrico afirmava que a luz tinha em certo momento um comportamento corpuscular (Ih, lembra-se da proposta de Newton?), isso porque a luz demonstrava carregar corpos com quantidades discretas de energia.

Então voltamos à polêmica? Seria a luz uma onda ou uma partícula? Ninguém vai acabar com essa polêmica não?

**Luz = ondas?**  
**Luz = partículas?**

Pior! Agora o mesmo espectro que rondava nossa compreensão da natureza da luz era estendido aos elétrons. Em 1923, o francês Louis-Victor-Pierre-Raymond de Broglie propôs que as partículas também agem como ondas. Para ele, o elétron irá aparecer ora como uma partícula, ou seja, um concentrado de matéria, ora como onda, como se sua massa estivesse espalhada pelo espaço, oscilando.

O austríaco Wolfgang Pauli pôs mais pimenta nesse molho: enunciou o princípio quântico da exclusão. Esse princípio implica, por exemplo, na impossibilidade de termos dois elétrons com características idênticas em um átomo ou molécula. O princípio de exclusão de Pauli é um dos mais importantes princípios da física, basicamente porque os três tipos de partículas que formam a matéria ordinária - elétrons, prótons e nêutrons - têm que satisfazê-lo.

Em 1927, os físicos norte-americanos Clinton Davisson, Lester Germer e George Paget Thompson (filho do J.J., que descobriu o elétron) produziram a difração de elétrons, demons-

trando que os elétrons também agem como ondas. Olha só que curioso, o pai J.J. ganhou o Prêmio Nobel de Física de 1906, por provar a existência do elétron como partícula e seu filho ganhou o mesmo prêmio em 1937, por provar que ele era uma onda! Fantástico, não?



Heisenberg (Fonte: <http://www.atomicarchive.com>).

Finalmente, o passo decisivo para o estabelecimento da mecânica

quântica foi dado em 1927, pelo alemão Werner Carl Heisenberg, com o Princípio da Incerteza, sobre o qual se baseia quase toda a física moderna. De acordo com ele, não é possível medir com absoluta precisão, ao mesmo tempo, a velocidade e a posição dos átomos. Ao medir uma velocidade, o cientista sempre perturba o átomo, tirando-o um pouco de sua posição. Esta, então, já não pode ser estimada com todo o rigor, e vice-versa: quando se tenta descobrir a posição do átomo, modifica-se sua velocidade, e a medição fica prejudicada.

Juntando todas essas idéias o austríaco Erwin Schrödinger criou, em 1927, uma nova imagem dos átomos, aplicando a mecânica ondulatória à teoria atômica. Os elétrons, agora, não se parecem mais com partículas girando em torno do núcleo atômico. Em vez disso, tudo se passa como se a massa dos elétrons estivesse espalhada em volta do núcleo, ou seja, como se cada elétron fosse uma onda vibrando ao redor do núcleo. No entanto, os elétrons continuam também a serem vistos como partículas em órbita. Eles mudam de aspectos conforme as circunstâncias, ora aparecendo como partículas, ora como ondas.

Avanços teóricos resultaram, em 1940, na substituição do eletromagnetismo clássico pela eletrodinâmica quântica. Também, esses resultados levaram ao desenvolvimento de versões quânticas para a mecânica estatística, chamada estatística de Fermi-Dirac e estatística de Bose-Einstein, cada uma aplicável à classes diferentes de partícula.

Com isso acabou-se a polêmica. Os elétrons podiam se comportar como ondas e as ondas também podiam se comportar como partículas, ou *quanta*.

Opa, então é daí que vem o nome mecânica quântica?

Isso mesmo! Portanto, na Teoria Quântica, tanto a radiação

### Nascimento da mecânica quântica



Erwin Schrödinger (Fonte: <http://osulibrary.oregonstate.edu>).

**Elétrons = partículas?**  
**Elétrons = ondas?**

quanto as partículas, ora se parecem com partículas, ora se parecem com ondas!

Mas e daí? Para que serve isso? Isso muda alguma coisa em minha vida?

Um efeito quântico que pode ser observado macroscopicamente é a supercondutividade. A descoberta de materiais supercondutores, em 1987, pelo alemão Johannes Georg Bednorz e o suíço Karl Alex Müller causou grande impacto. Os materiais supercondutores são capazes de conduzir eletricidade sem resistência, ou seja, não há perda de energia. Desde o início do século se sabe que a supercondutividade ocorre em metais, como o níquel, mas apenas a cerca de  $270^{\circ}\text{C}$  negativos. Nas cerâmicas, mais práticas, a resistência fica zero em condições mais amenas, de  $96^{\circ}\text{C}$  negativos. Essa descoberta possibilitou um grande desenvolvimento nas pesquisas mundiais de supercondutores, no sentido de se conseguirem materiais que funcionem a temperaturas cada vez mais elevadas. O desenvolvimento de bobinas com materiais supercondutores está sendo aplicado, por exemplo, na construção de MagLevs, trens que levitam, ou em aparelhos de ressonância magnética nuclear, que geram imagens médicas de pacientes. E supercondutividade é só um exemplo das milhares de aplicações da mecânica quântica!

### **REAVALIANDO OUTROS CONCEITOS**

Mas você pensa que as mudanças dos conceitos pararam por aí?

Engano total se sua resposta foi sim. Esse período de tantas novas descobertas trouxe consigo mais uma alteração importante. Tivemos também que reavaliar o velho conceito de que tanto o espaço quanto o tempo são absolutos.

Não entendeu? Vamos explicar isso então!

Veja esse exemplo: o tempo parece passar muito rápido quando você faz alguma coisa muito legal? E um minuto não iria parecer uma eternidade se você estivesse sentado sobre uma chapa muito quente? Afinal, o passar do tempo não lhe parece relativo?

Pois é! Então vamos ao início dessa história: foi Galileu quem introduziu na ciência moderna o princípio da relatividade, pois afirmava que o movimento só tem algum significado quando comparado com algum outro ponto de referência.

Por exemplo, o movimento de um ônibus é bem diferente se você está dentro ou fora dele, ou seja, você o está observando de pontos de referência diferentes. O ônibus está em movimento em relação a nós quando o esperamos no ponto, mas ele também pode estar parado em relação a nós quando estamos sentados em um de seus bancos dentro dele. Nesse último caso, sabemos que ele está se movendo, pois observamos as coisas do lado de fora se moverem em relação ao ônibus, e claro, em relação a nós.

Agora imagine que estamos em uma nave espacial em uma região do espaço muito afastada de qualquer outro corpo. Não há nenhum meio de sabermos se estamos parados ou em movimento. Certo?

Na mecânica de Newton não se questionava a validade de seus conceitos; como por exemplo a questão sobre o referencial no qual são feitas as medidas ou a influência do método de medida sobre as grandezas em questão. O primeiro a questionar alguns conceitos desse tipo foi o físico alemão Ernst Mach. Em seu texto intitulado “The Science of Mechanics” de 1883, Mach levantou a questão sobre a distinção entre movimento absoluto e relativo, discutiu o problema da inércia dos corpos e, acima de tudo, apontou como ponto fraco



**O tempo é medido pelo movimento repetitivo de um corpo**

a concepção de espaço e tempo absolutos.

Mach observou que se o tempo é medido necessariamente pelo movimento repetitivo de um corpo ou sistema físico (por exemplo, um pêndulo ou o movimento da Terra – dia, noite, ano) é óbvio que suas propriedades devem, de alguma forma, estar conectadas com o movimento. Da mesma forma, ele afirmava que o conceito de espaço deve estar intimamente ligado com as propriedades do sistema de medida, e não deve ser considerado como algo absoluto.

Tais críticas não causaram muito efeito de imediato, mas foram de profunda importância para o jovem físico Einstein. Einstein foi fortemente atraído pelas idéias de que os conceitos físicos devem ser definidos em termos de grandezas mensuráveis. Portanto, a maneira de observação e realização de medidas físicas devem influenciar esses conceitos. Este pensamento gerou uma revolução na Física, culminando com o aparecimento da Teoria da Relatividade.

Sabe quando ela foi publicada? Novamente: em 1905! É isso aí. Por isso esse ano é chamado de miraculoso.

## TEORIA DA RELATIVIDADE

Vamos voltar ao exemplo da nave espacial. Ainda estamos dentro da nave no espaço longe de tudo, mas agora observamos uma outra nave se aproximando. É possível saber se somos nós ou a outra nave que está em movimento?

A resposta é não! Não é possível saber! Não existe movimento absoluto!

**“Não existe sistema de referência absoluto”.**  
**Galileu**

Segundo o princípio da relatividade de Galileu, *não existe sistema de referência absoluto* pelo qual todos os outros movimentos

possam ser medidos. A partir desse princípio, Galileu elaborou um conjunto de transformações compostas de cinco leis para sintetizar as leis do movimento. As leis de Newton, por exem-

plo, estão em total acordo com o Princípio de Relatividade de Galileu.

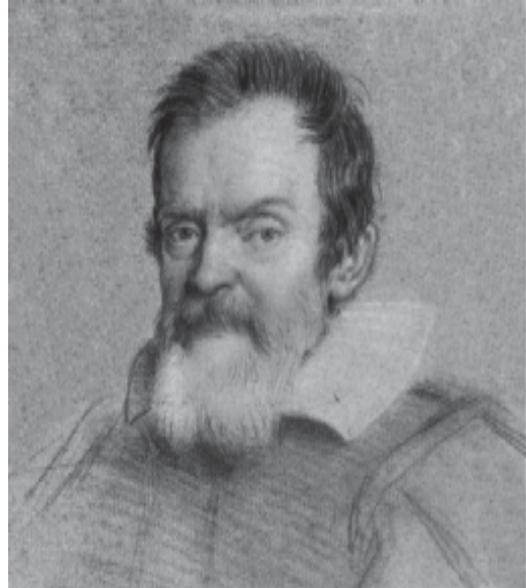
Desde Galileu se sabia que medidas laboratoriais de processos mecânicos nunca podiam mostrar diferenças entre um equipamento em repouso e um outro que estivesse em movimento com velocidade constante em linha reta.

Por exemplo, calcule a velocidade de um ônibus vindo em sua direção no ponto. Se ele não estiver acelerando nem freando, você pode calcular a velocidade simplesmente dividindo o espaço percorrido por ele ( $x$ ) pelo tempo decorrido ( $t$ ):  $v=x/t$ . Porém, se você estivesse dentro de um carro em movimento fazendo essa mesma medida durante o mesmo intervalo de tempo, a velocidade do ônibus iria parecer diferente, mas o tempo não, certo?

Entretanto, nem todas as leis da física são consideradas universais e independentes do observador. O físico holandês

Hendrik Antoon Lorentz e outros comprovaram que as equações de Maxwell, que governam o eletromagnetismo, não se comportam da mesma forma quando o sistema de referência muda.

Você se lembra da aula passada do experimento de Michelson-Morley? Com ele verificou uma exigência da teoria do eletromagnetismo: a velocidade  $c$  da luz é constante, não muda.



Galileu Galilei (Fonte: <http://www.df.ufpe.br>).



## ATIVIDADES

Vamos fazer um cálculo: se a luz percorre uma distância  $x$ , com a velocidade  $c$  num tempo  $t$ , no referencial  $R$ , dividimos distância percorrida pelo tempo e podemos encontrar a velocidade através de:  $c=x/t$ . Em relação a outro referencial  $R'$ , a distância percorrida será diferente,  $x'$ , mas como o tempo  $t$  deve permanecer absoluto e imutável, como prevê a Mecânica Clássica, teremos:  $c'=x'/t$ .

Qual seria a conclusão na mecânica clássica?

### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Classicamente concluímos que a velocidade  $c$  deve se alterar para o valor  $c'$ . Ou seja, em um novo referencial, a velocidade da luz deveria mudar, já que  $x$  mudou, mas  $t$  não mudou. Certo? Mas o experimento de Michelson-Morley mostrou que velocidade da luz não mudava! Ué? Xiii, algo deu errado?!!

No entanto, pelo princípio da relatividade de Galileu, a velocidade  $c$  deveria variar. Para eliminar esse impasse, foi necessário fazer  $c=c'$ , ou seja, supor que o tempo  $t$  variava simultaneamente a variação do comprimento  $x$  percorrido pela luz, de forma a

manter  $c$  sempre constante. Designando  $t'$  como novo valor de  $t$ , poderemos escrever:  
 $c=x/t=x'/t'$

**“Tempo e espaço variam”.**

*Einstein*

Foi Einstein quem primeiro propôs essas idéias fazendo uso de relações formuladas por Lorentz. Essa análise acabou com o espaço e tempo absolutos: o tempo e o espaço devem variar segundo o sistema de referência, confirmando a invariância da velocidade da luz no vácuo e eliminando a necessidade de qualquer meio (como o éter) para a luz se propagar.

Então, em 1905, Einstein revolucionou a física apresentando essa

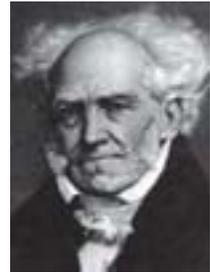
sua nova teoria, denominada *Relatividade Especial*, que descreve a física do movimento na ausência de campos gravitacionais. Ela foi imediatamente reconhecida pelos físicos como uma das maiores conquistas do intelecto humano. A Teoria da Relatividade demonstrou, desde então, que passou por todos os testes e experimentos construídos para desafiá-la. Todas aquelas certezas, baseadas nas leis mecânicas de Newton, tiveram que ser revistas.

Einstein trocou os conceitos independentes de espaço e tempo da Teoria de Newton pela idéia de espaço-tempo como uma entidade geométrica. Não é possível um corpo se mover nas dimensões espaciais sem se deslocar no tempo. Mas mesmo quando não nos movemos espacialmente, estamos nos movendo na dimensão temporal (no tempo). Este movimento é tão válido na geometria do espaço-tempo quanto os que estamos habituados a ver em nosso dia-a-dia. Na presença de uma massa surge uma distorção da geometria do espaço-tempo. Isto é o efeito que se costuma chamar de gravidade.

A confirmação prática disso veio em 1919, através de observações astronômicas feita por duas equipes de cientistas britânicos lideradas por Arthur Stanley Eddington, uma no Brasil (em Sobral, no estado do Ceará) e outra na ilha Príncipe, ao oeste da África. Através delas verificou-se que a luz de uma estrela distante sofre um pequeno desvio ao passar, em seu caminho rumo à Terra, muito perto do Sol. A física clássica, anterior a Einstein, não previa que a luz fosse afetada pela gravidade. O teste de Eddington foi decisivo para a aceitação da nova teoria.

Algumas conseqüências dessa teoria são consideradas bizarras por muitas pessoas. Isso é perfeitamente compreensível, pois estas conseqüências estão relacionadas a comparações entre observadores movimentando-se a velocidades próximas a da luz.

Ao estudar física você provavelmente perceberá que uma



**Arthur Schopenhauer**

Filósofo prussiano (1788/1870). Interessava-se por política, moral, literatura, filosofia, estilo e metafísica e escreveu *O Mundo como Vontade e Representação* (1836).

**“A descoberta da verdade é impedida mais efetivamente não pela falsa aparência das coisas presentes que nos leva ao erro, e não diretamente pela fraqueza dos poderes do raciocínio, mas sim pela opinião pré-concebida, pelo preconceito”.**



**Carl Sagan**

Biólogo e astrônomo norte-americano (1934/1996). Pesquisou sobre vida extraterrestre, colaborou com a NASA nos estudos sobre Venus, Marte e Saturno e publicou, entre outros livros, *O Mundo Assombrado Pelos Demônios*.

**“Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, elas são a abertura para achar as que estão certas”.**

das lições da ciência é que a aparência é muito enganadora. Desconfie, pois, da obviedade!

Por exemplo, a massa de um objeto nunca parece mudar, não é mesmo? Um pião girando parece ter o mesmo peso de quando ele está parado. Assim uma “lei” tinha sido criada: a massa é constante, independentemente de sua velocidade. Einstein era bastante desconfiado!, juntando conhecimento prévio com idéias geniais, mostrou que essa “lei” sobre as massas estava incorreta. Na sua Teoria da Relatividade a massa aumenta com a velocidade.

Mas então, por que não observamos essas mudanças?

Isso ocorre porque um aumento apreciável requer velocidade próxima a da luz! Afinal Newton não estava completamente errado. A verdade é que se um objeto se mover com uma velocidade muito menor que a da luz a massa parecerá constante para nós.

Ah, então você pode pensar que na prática a nova lei não faz nenhuma diferença significativa.

Bem, sim e não. Para velocidades ordinárias podemos certamente esquecê-la e usar a simples lei de massa constante como uma boa aproximação. Mas para velocidades elevadas nós estaremos errados, e quanto maior a velocidade, mais errados estaremos. Na prática essa teoria foi empregada, por exemplo, nos conceitos para a produção de energia nuclear. Seja em reatores para produzir eletricidade, seja em armas nucleares, essa nova teoria fez uma diferença enorme, não acha?

Na verdade, Einstein apresentou, em momentos diferentes, duas teorias: da Relatividade Restrita, em 1905, e da Relatividade Geral, em 1915; que, porém formam uma só. Einstein ampliou sua Teoria da Relatividade para englobar os efeitos da força da gravidade. Com ela, pela primeira vez, os físicos passaram a ter fórmulas que podiam ser aplicadas ao Universo inteiro. É por meio dessas fórmulas que, mais tarde, se calculou a expansão das galáxias após uma grande explosão inicial, o Big Bang.

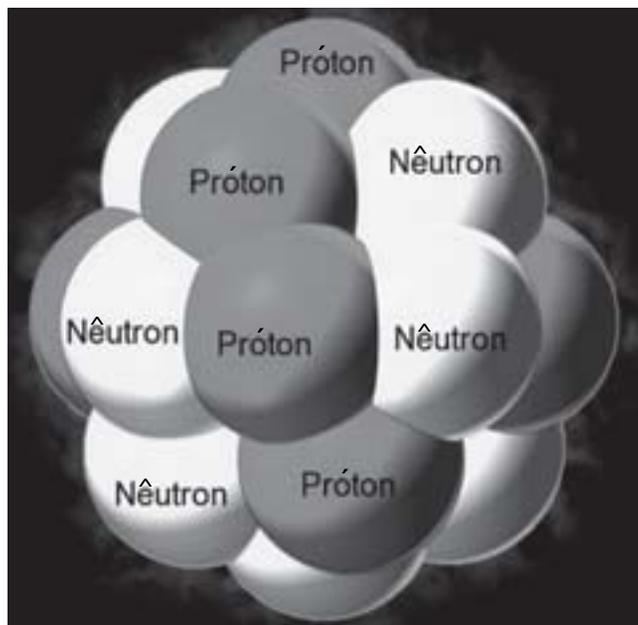
A Teoria da Relatividade Geral tem implicações profundas

Você sabia que já fizemos contato com seres em outros planetas? Após uma grande batalha para conseguir fundos e manter um projeto de procura por sinais de vida extraterrestre, a doutora Ellie Arroway descobriu e decodificou uma mensagem enviada à Terra por seres que habitam um sistema planetário em Vega.

Claro que isso não passa de ficção científica. Mas é de ótima qualidade e apresenta personagens que poderiam ser bem reais no mundo científico. *Contato* é um filme dirigido por Robert Zemeckis, adaptado em 1997 do romance homônimo do cientista norte-americano Carl Sagan, tendo como atriz principal Jodie Foster no papel da Dr<sup>a</sup> Arroway. O filme conta a história de Eleanor Arroway, uma radioastrônoma, e sua incessante busca por contato com alguma civilização extraterrestre. O filme mostra em muitos momentos os conflitos e dificuldades encontrados por cientistas, além de demonstrar as divergências de pensamentos existentes entre a religião e a ciência e como elas influem na vida de Ellie e no processo de construção de uma máquina para viajar pelo espaço, cujas instruções ela havia recebido dos próprios alienígenas.

no nosso conhecimento. Mas não vamos entrar em detalhes agora. Deixe a curiosidade lhe invadir e procure as respostas em livros e nas disciplinas futuras desse curso!

E sabe do que mais, apesar do impacto gerado pela Teoria da Relatividade, não foi por esse trabalho que Einstein ganhou o Prêmio Nobel da Física de 1921, mas sim pela correta explicação do efeito fotoelétrico. Cara incrível esse tal de Einstein, hein?



## DAS PARTÍCULAS PARA O UNIVERSO

Você já parou pra pensar por que um monte de prótons ficam lá juntinhos no núcleo, que é tão pequeno? Afinal, eles todos têm carga positiva, e cargas de mesmo sinal se repelem, como você já viu lá no ensino médio. Se você não pensou, outra pessoa já fez isso: o nome dele era Hideki Yukawa. O japonês Yukawa, em 1935, pensou numa força que devia ser muito mais forte que a repulsão eletromagnética e assim “grudar” os prótons e os nêutrons uns aos

outros dentro dos núcleos atômicos: a força nuclear forte. Apesar de Yukawa não chegar a formular uma teoria completa, ela ainda hoje auxilia os físicos de partículas a tentar entender o Universo.

Por falar em partículas, o inglês Paul Adrien Maurice Dirac, em 1932, já havia previsto matematicamente a existência do anti-elétron, chamado de pósitron, que é a antimatéria do elétron. Anti-quê???

Antimatéria: isto significa que o elétron e o pósitron são idênticos em tudo, menos na carga elétrica, que é negativa no primeiro e positiva no segundo. Como o pósitron é a anti-partícula do elétron, quando se juntam, ambos desaparecem, e no lugar deles surge apenas radiação eletromagnética. Pura energia!!

Isso está parecendo filme de ficção científica!

Não! Isso é a mais pura realidade. O norte-americano Carl David Anderson provou que o pósitron realmente existe. Hoje sabemos da existência de muitas outras partículas e anti-partículas. E mais, há poucos anos atrás, em 1995, uma equipe do Centro Europeu de Pesquisas Nucleares, o CERN, conseguiu montar o primeiro antiátomo de hidrogênio.

Uau! Até então, todos haviam fracassado na tentativa de juntar um pósitron e um antipróton para construir um átomo in-



Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (Fonte: <http://www.orbit.zkm.de>).

teiro. Com o sucesso do CERN, o próximo passo será fazer antiátomos maiores, com maior número de antiprótons e pósitrons.

Tudo aquilo o que nos cerca (casas, carros, ar, luz), tudo o que existe no universo, é formado pela união de um número incontável de partículas subatômicas. Bom, se as partículas formam os átomos e os átomos formam todo o resto, então, pensando no número de átomos necessários para formar uma gota d'água, você já pode ter uma idéia do número aparentemente infinito de partículas contidas apenas nessa gota. Agora pense no universo! Nossa!!

**Unindo forças:  
teoria eletrofraca**

Vivemos em um mundo formado por partículas e experimentamos os efeitos das interações entre elas em nosso cotidiano. É a partir dessas experiências que formamos nosso conceito de realidade e descrevemos o funcionamento da natureza que nos cerca. Conhecemos 4 interações fundamentais: a gravitacional, a eletromagnética, a forte, que mantém o núcleo estável, e a fraca responsável, por exemplo, pelas desintegrações nucleares.

Os americanos Steven Weinberg e Sheldon Lee Glashow e o paquistanês Abdus Salam estavam preocupados com essas interações e como descrevê-las de uma forma melhor. Então, em 1968, criaram uma fórmula única para calcular os efeitos de duas forças fundamentais do Universo: a eletromagnética e a nuclear fraca. A prova de que estavam certos veio em 1983, quando o ítalo-americano Carlo Rubbia detectou uma partícula subatômica chamada de  $Z^0$ , que havia sido previsto na teoria da força eletrofraca, confirmando que é uma mistura das forças eletromagnética e nuclear fraca. Os três teóricos conquistaram o Prêmio Nobel de Física em 1979 e Rubbia ganhou o de 1984. Hoje a busca é pela união de todas as outras forças numa só.

Ah, então o mundo é feito dessa partículas, como elétron, prótons e nêutrons, que são as menores porções da matéria. Certo?

Errado! Ops, veja que surpresas ainda iriam nos assombrar. Em

1972, o teórico americano Murray Gellmann apareceu com a teoria de que partículas como o próton e o nêutron eram feitos de coisas ainda menores, chamadas quarks. Pois não é que sua teoria explica muito bem vários fenômenos naturais! A cromodinâmica quântica, baseada nesses quarks, explica não

**Se você gosta de leitura de ficção deve ler o livro “Anjos e Demônios” de Dan Brown, o mesmo escritor do famoso “O Código Da Vinci”. Nele há citações sobre a matéria e anti-matéria, do CERN, e uma série de outras referências à ciência, sob o olhar de um leigo. Vale como diversão, pois há enormes falhas científicas nas descrições. Mas é uma forma de ilustrar como a ciência fascina a mente das pessoas.**

apenas a constituição de prótons e nêutrons como a dos mésons e dos híperons, outras partículas conhecidas. Hoje, assume-se que a matéria é constituída por 6 quarks, que são partículas elementares que formam os prótons, nêutrons, e outras, e 6 léptons (um deles é o elétron). E essas formam os átomos, que formam as moléculas, que formam as substâncias... O estudo dessas partículas influi diretamente na compreensão do universo e gera explicações sobre sua origem, como a teoria do Big-bang, que diz que ele teria surgido de uma explosão de um ponto com densidade infinita.

Nesse campo há ainda muito mais pra contar: viagens espaciais, expansão do universo, buracos negros, super novas,... Ih, mas acho que não vai dar pra contar tudo agora! Ficou curioso? Pois então, vamos lá. Você escolheu o curso certo pra desvendar esses mistérios: Física!!!

### **DA REVOLUÇÃO CONCEITUAL PARA A REVOLUÇÃO TECNOLÓGICA**

Você viu no fim da aula passada que, no finalzinho do século 19, aconteceu a descoberta dos raios X por Röntgen e da radioatividade por Becquerel. Pois é, após a divulgação dessas estra-

nhas emissões de radiação vinda de alguns materiais, houve um pequeno período de grande interesse por este fenômeno e um intervalo de cinco anos sem maiores descobertas. Até que, ao iniciar os estudos para obter seu doutorado, Marie Sklodowska-Curie interessou-se pelo fenômeno observado por Becquerel.

Opa, acho que é a primeira mulher a ser citada em todas essas aulas de história da ciência, não? Finalmente, ufa!!

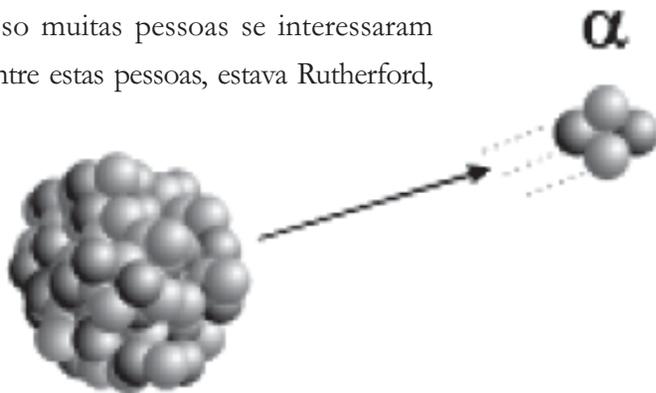
A relativa negligência de Becquerel com relação aos raios foi uma das razões que fizeram Marie Curie decidir estudá-los, além de ser um excelente assunto para ser apresentado como tese de doutorado.

Marie e seu marido, Pierre, souberam desta estranha emanção e que ela ionizava o ar (separava cargas elétricas negativas e positivas) à volta do material. Sendo Pierre um mecânico talentoso que preferia fazer sua própria aparelhagem, eles desenvolveram um método com o qual podiam medir o quanto era radioativa uma amostra de material com relação a outra. Então, em 1903, Marie e Pierre divulgaram suas descobertas sobre a radioatividade de determinados materiais. A partir disso muitas pessoas se interessaram pelas pesquisas neste campo. Dentre estas pessoas, estava Rutherford, que já citamos lá nos modelos atômicos.

Em seu primeiro ensaio escrito, Rutherford observou que as substâncias radioativas têm alto peso atômico e sua radioatividade parece ser inde-

pendente de seu estado químico. O que confundia era o fato de não haver fonte para a emissão desta energia. Em 1899, ele publicou um ensaio, em que afirmava o fato de que as emissões radioativas são compostas de, no mínimo, dois tipos diferentes de “raios” (raios beta, que penetram através de grossas barreiras; e os raios alfa, que levavam uma carga bem maior mas não atravessavam nem mesmo uma fina barreira).

Para compreender a explicação de Rutherford sobre a radio-



atividade, era preciso um salto de imaginação muito grande com relação a qualquer uma das duas explicações já existentes. Radioatividade é uma manifestação da desintegração dos núcleos atômicos. Quando o rádio, por exemplo, emite radiação, e se transforma em outro elemento, está enviando partículas subatômicas: minúsculos elétrons e partículas maiores (embora extremamente pequenas) com cargas positivas, bem como raios gama, que são ondas eletromagnéticas mais energéticas do que a luz visível. Todos os elementos mais pesados, como se verifica, são inerentemente radioativos.

### **Olha a Física mudando o mundo**

Tempos depois, Pierre, Marie e Becquerel fizeram ensaios nos quais mostraram que os raios beta eram, de fato, idênticos às partículas com cargas negativa que J. J. Thomson havia descoberto. Marie, junto com seu marido Pierre Curie e Becquerel, foi laureada com o Prêmio Nobel de Física de 1903. Ela ainda recebeu o Nobel de Química de 1911 pela descoberta dos elementos químicos rádio e polônio, e Rutherford recebeu esse mesmo prêmio, em 1908.

Mas a interação responsável pela desintegração atômica só seria determinada em 1934, pelo italiano Enrico Fermi. Fermi não tinha ainda exatamente uma teoria dessa força, chamada posteriormente de nuclear fraca, ele apenas elaborou uma fórmula aproximada para calcular sua intensidade.

Claro que tantas novas idéias levaram a uma infinidade de inovações tecnológicas. No início do século XX, houve um grande desenvolvimento no campo da eletrônica, basicamente com o desenvolvimento da válvula, seguido pelos transistores criados em 1948 pelos americanos John Bardeen, Walter Brattain e William Shokley. Daí foi um pulo para os estudos de telecomunicações e a ciência da computação. Muito se avançou na forma de transmissão da informação e no processamento dessas informações. Coisas bastante positivas, afinal você não estaria aqui cursando física a distância sem ajuda do computador!

Mas mesmo com pontos tão positivos, algumas tecnologias

desenvolvidas a partir dos novos conhecimentos tiveram um lado “negro”: seu uso nas guerras!

Um exemplo do uso das novas descobertas na guerra foi o radar. Em 1917, Tesla concebeu uma estação emissora que emitiria ondas exploratórias de energia, permitindo que seus operadores determinassem com precisão a localização de veículos inimigos distantes. Ele apresentou seu trabalho ao departamento de guerra dos EUA, mas foi ridicularizado. Porém, uma geração mais tarde, esta mesma invenção, o radar, ajudou os aliados a vencer a segunda guerra mundial.

### A Física e a guerra

No início do século XX, muitos grandes cientistas tiveram problemas por causa anti-semitismo na Alemanha. Por exemplo, o alemão Einstein era odiado pelos nacionalistas por seu pacifismo e por sua origem judaica.

Em 1933, os alemães Otto Hahn, Fritz Strassmann e junto da austríaca Lise Meitner estavam em busca da elucidação do fenômeno que ocorria com o bombardeamento do urânio com neutrons, quando descobriram a fissão nuclear. Meitner, de origem judaica, foi quem provou que a divisão do átomo de urânio libera energia, que por sua vez causa fissão em mais átomos liberando neutrons e assim sucessivamente, dando origem a uma série de fissões nucleares com liberação contínua de energia, num processo denominado reação em cadeia. Meitner reconheceu o potencial explosivo desse processo, mas ficou de fora na entrega do prêmio Nobel a Hahn pela descoberta, pois havia fugido da Alemanha durante as pesquisas e não teve como provar na época sua participação.

Uma vez que a idéia da fissão foi aceita, Hahn continuou em Berlim suas experiências demonstrando a enorme quantidade de energia que a fissão nuclear com neutrons produz, que seria útil para a fabricação de armas nucleares. Ele publicou seus resultados em janeiro de 1939, que imediatamente foram confirmados no mundo inteiro. Tal descoberta fez com que outros cientistas se juntassem para convencer Einstein, que já gozava de uma excelente



(Fonte: <http://img57.imageshack.us>).

reputação, a escrever uma carta ao Presidente americano, alertando-o sobre os perigos das armas nucleares. Einstein era profundamente pacifista, mas a Alemanha Nazista também estava investigando tais armas para si.

Então, em 1941 deu-se início ao *Projeto Manhattan*, que foi um esforço para desenvolver as primeiras armas nucleares pelos EUA, com o apoio do Reino Unido e do Canadá. A pesquisa foi dirigida pelo físico americano J. Robert Oppenheimer. Uma equipe liderada por Enrico Fermi, que também havia fugido para os EUA, conseguiu estabelecer a primeira reação nuclear em cadeia auto-sustentada, necessária para a fabricação da bomba.

O projeto concluiu produção e detonação de três bombas nucleares em 1945: a primeira, detonada em forma de teste no Novo México, no dia 16 de julho; logo em seguida, em 06 de agosto, os EUA lançaram a bomba atômica sobre Hiroshima e três dias depois lançaram outra sobre Nagasáqui, ambas no Japão.

Quem sabe qual destino teria a humanidade caso tivessem sido os nazistas que fizessem primeiro a bomba? Parece que foi bom que tantos gigantes da ciência fossem de origem judaica, e por isso não estivessem na Alemanha. Mas quem realmente sabe com certeza?

OK, a bomba atômica também não é o único produto dessa

fissão nuclear. A energia gerada na fissão pode ser usada para um fins bem mais nobres: gerar energia elétrica, em pesquisas de propriedade da matéria, na produção de produtos usados na medicina, etc. O primeiro reator nuclear, no qual se provoca a fissão controlada do urânio, foi construído em 1942 nos EUA sob coordenação do Italiano Enrico Fermi.

Bem, a fissão é a quebra do núcleo atômico, e gera essa enorme quantidade de energia. Mas você sabia que a fusão, ou seja, a união de dois núcleos pode gerar mais energia por unidade de massa obtida?

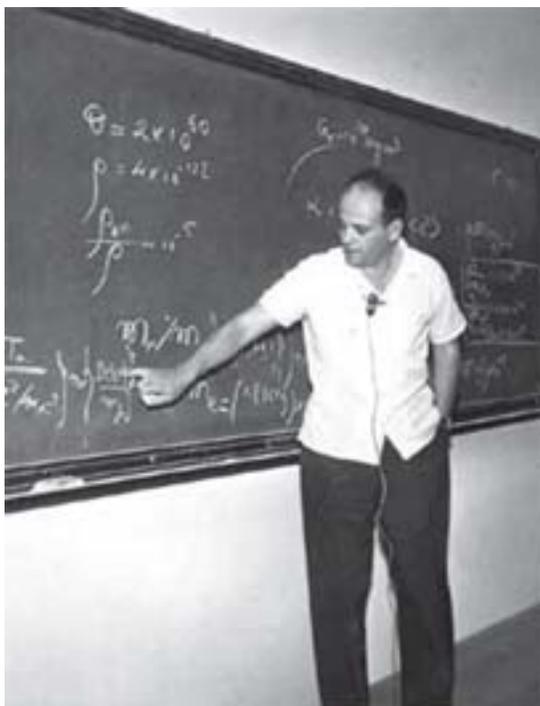
Uau? Mais energia? É!!

O primeiro a estudar isso foi o alemão Hans Bethe, em 1938. Ele estava estudando a produção da energia solar e estelar, quando explicou que essa energia é produzida por reações nucleares. Nessas reações, quatro núcleos de hidrogênio se fundem para formar dois núcleos de hélio. E Bethe foi um dos primeiros que haviam perdido emprego na Alemanha Nazista.

Até hoje não se conseguiu um reator de fusão que renda energia. Quer dizer, ainda se gasta mais energia para produzir a fusão do que se consegue com ela, pois não é nada fácil produzi-la. Afinal, são necessárias temperaturas altíssimas que nenhum material agüentaria manter. Portanto, para juntar os núcleos, precisamos de campos eletromagnéticos. Em 1982, na Universidade de Princeton, EUA, foi realizada a primeira fusão nuclear controlada, por 5 segundos, a 100.000°C.

Imagine se você fosse capaz de conseguir a fusão a frio: Fi-

**Se você gosta de filmes de Hollywood há um muito divertido sobre a tal fusão a frio. O filme se chama “O Santo”, protagonizado por Val Kilmer e Elisabeth Shue. A grande física, interpretada por Shue, consegue obter a tal fusão e resolve o problema de aquecimento que a Rússia está sofrendo com a ajuda do ladrão, interpretado por Kilmer. Claro que está muito longe da realidade, mas mesmo assim é divertido!**



César Lattes (Fonte: <http://www.algosobre.com.br>).

caria rico e famoso, não é?

Pois o inglês Martin Fleishmann e o americano Stanley Pons afirmaram, em 1989, ter obtido fusão nuclear à temperatura ambiente (a fusão “a frio”). Logo depois, Fleishmann admitiu ter se enganado.

## NO BRASIL

Poxa, cadê os brasileiros? E no Brasil, não acontece nada de interessante?

Claro que acontece, mas a proporção de fatos de impacto internacional é bem pequena, pois não temos tanto dinheiro e tanta infra-estrutura para realizar tais descobertas. Mas nossos cientistas também colaboraram em muito para as renovações. Lembre-se

que a história das ciências é construída todos os dias por todos aqueles que se esforçam em investigar e compreender a estrutura e o funcionamento da natureza. As idéias, as técnicas e as práticas que imaginam para investigarem a Natureza, as entidades, os princípios e as leis que descobrem, as múltiplas instituições que criam, as aplicações que planejam - todas essas coisas modelam as ciências. E claro que nós brasileiros estamos incluídos nisso.

Um exemplo famoso ocorreu na descoberta do méson, em 1947, pela equipe do inglês Cecil Frank Powell. O brasileiro César Lattes estava entre eles. Outro fato famoso que envolveu o Brasil foi a comprovação da teoria da relatividade de Einstein. A observação foi feita em Sobral, no nordeste brasileiro. Mas isso é pouco para falar da participação brasileira. Durante o curso de física você ficará sabendo muito mais detalhes da participação brasileira no desenrolar da história e do que nós estamos fazendo hoje.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Citamos alguns nomes e fatos importantes ligados à evolução do conhecimento humano sobre o mundo físico. Centenas de outros poderiam ser acrescentados. É muito difícil concentrar tantos anos de pensamentos filosóficos, pesquisas experimentais e teóricas sobre as ciências naturais em apenas algumas aulas. Penso que você agora tem um panorama geral do que aconteceu nesse período e pode procurar mais informações sobre os detalhes que mais lhe interessaram.

Discutimos como a ciência interfere e é interferida pela sociedade. Vimos que são as condições históricas de uma determinada sociedade que favorecem ou não a ampliação do saber. Mas, o mais importante é entendermos que a evolução obtida não é resultado da ação individual de alguns homens notáveis e, sim, obra coletiva, da qual você também poderá participar um dia.

---

### ATIVIDADES



1. Cite os trabalhos publicados por Einstein em 1905 e comente o que mudou no mundo com eles.

### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Em 1905, o jovem rebelde e contestador Einstein estava trabalhando como técnico de terceira classe em um escritório de patentes em Berna (Suíça). Sem título de doutor e rejeitado pela comunidade acadêmica, nesse ano ele publicou cinco trabalhos, todos de excelente qualidade.

O primeiro artigo deste ano miraculoso foi publicado com o título “Sobre um ponto de vista heurístico concernente à geração e transformação da luz”. O artigo tratava da radiação e das propriedades energéticas da luz. É nele que Einstein formula a lei do efeito fotoelétrico. Sob vários aspectos, esse trabalho ocupa um lugar de destaque na história da física. Em primeiro lugar ele retoma a interpretação corpuscular da luz, uma idéia defendida por Isaac Newton e que fora abandonada com o triunfo da teoria ondulatória da luz com o estabelecimento das equações de Maxwell. Nesse trabalho, Einstein propôs o que mais tarde ele mesmo classificaria como a idéia mais revolucionária de sua vida: a luz, sob certos aspectos, apresenta uma natureza corpuscular. Portanto estava proposta a dualidade onda-partícula.

O segundo artigo, “Sobre uma nova determinação das dimensões moleculares”, foi aceito como sua tese de doutoramento na Universidade de Zurique, em 1906. O artigo tratava de um novo método para determinar as dimensões das moléculas e o número de Avogadro. Como os átomos e as moléculas não podiam ser observados diretamente através dos microscópios existentes na época, Einstein precisou desenvolver uma outra maneira para obter os seus resultados: utilizando a viscosidade de um líquido e o coeficiente de difusão de uma substância imersa neste líquido.

O terceiro artigo, “Sobre o movimento de partículas suspensas em fluidos em repouso, como postulado pela teoria molecular do calor”, trata do movimento Browniano. Nele descreve que o movimento desordenado observado é resultado do choque entre as moléculas de água, que estão em movimento, com os grãos de pólen. Em seu artigo, Einstein fez previsões à respeito das propriedades dos átomos que podiam ser testadas experimentalmente, o que

foi comprovado por Perrin, eliminando as dúvidas em relação à existência de moléculas que se tinham na época. O quarto artigo, “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento” era, segundo Einstein, “apenas um esboço grosseiro” sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento, usando uma modificação da teoria do espaço e tempo. Mas esse “esboço” continha o primeiro trabalho sobre a teoria da relatividade restrita. No quinto artigo “A inércia de um corpo depende da sua energia?” Einstein propõe sua famosa equação  $E=mc^2$ . Numa carta Einstein comenta: “Ocorreu-me mais uma consequência do artigo sobre a eletrodinâmica (dos corpos em movimento). O princípio da relatividade, em conjunção com as equações de Maxwell, requer que a massa seja uma medida direta da energia contida num corpo; luz transporta massa com ela.” Esse dois o levou a criar a teoria da relatividade geral, que trata de questões gravitacionais e cosmológicas, que destruiria o caráter absoluto atribuído, durante séculos, ao tempo e ao espaço.

Seus trabalhos tiveram uma enorme repercussão, tanto no meio científico, como no grande público e o respeito por ele adquirido transformaram-no, em menos de cinco anos, de jovem marginalizado pelos cientistas, em disputado cientista para proferir conferências em eventos de prestígio e para trabalhar em renomados centros de pesquisa.

2. Você conhece a célebre relação de Einstein,

$$E = mc^2$$

que admite que uma partícula em repouso possui energia (E) (em qualquer forma) em forma de massa (m) de um corpo, em que c é a velocidade da luz? Ela foi proposta na teoria da relatividade de Einstein. Faça as contas de quanto a massa de uma nota de um real (cerca de 1 g) equivale em energia?

## COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Lembre-se  $1 \text{ g} = 1 \times 10^{-3} \text{ kg}$

Substituindo na equação de Einstein

$$E = (1 \times 10^{-3} \text{ kg}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 9 \times 10^{16} \text{ Joules}$$

Se formos comparar, essa energia equivale a cerca de = 21 kt de TNT

(ou seja, 21 kilotons de dinamite!)

Por exemplo, as bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki tiveram uma explosão equivalente a 21 kt de TNT.

3. Comente a mudança filosófica, sobre o mundo que nos cerca, provocada pelos dos resultados da teoria da Relatividade de Einstein que modificaram a teoria clássica.

## COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Filosoficamente nós estamos completamente errados com a lei aproximada. Nosso retrato inteiro do mundo tem que ser alterado mesmo que a massa mude só um pouquinho. Esta é uma coisa muito peculiar sobre a filosofia, ou as idéias, por trás das leis. Mesmo um efeito muito pequeno às vezes requer mudanças profundas em nossas idéias.

Pois é, depois dessa aula podemos dizer que a física moderna não representa a matéria como passiva e inerte, mas em contínuo movimento de dança e vibração, cujos padrões rítmicos são determinados pelas estruturas moleculares, atômicas e nucleares. A teoria da relatividade demonstrou que a atividade da matéria é a essência de sua existência. A existência da matéria e sua atividade não podem ser separadas, são aspectos diferentes de uma mesma realidade espaço-temporal - exatamente a mesma forma como os místicos orientais encaram o mundo material.

## CONCLUSÃO

Mudamos de idéia? O místico e o religioso passaram a fazer parte da física? Difícil afirmar qualquer coisa. Em geral, os físicos tentam afastar as idéias místicas da realidade científica. Mas na realidade, mesmo aquilo que é tido como certo e imutável pode muito bem deixar de fazer o menor sentido de uma hora para outra – por exemplo, pela descoberta de uma nova teoria física em nosso mundo.

Esteja preparado para os novos passos da ciência. Quando tudo parece já estudado, muito bem estabelecido, pode vir uma avalanche de teorias e fatos que vão mudar tudo o que conhecemos. É assim que caminha a ciência, e é por isso que é tão divertido trabalhar com ela!



Tomografia do crânio (Fonte: <http://www.scielo.br>).

## RESUMO



Após meados do século XIX, a Mecânica Newtoniana não conseguia explicar de um modo convincente, o comportamento de sistemas de partículas que se moviam com velocidades perto do valor da velocidade da luz ou de sistemas de partículas com dimensões atômicas. Na busca de soluções dessas dúvidas ocorre uma revolução nos conceitos estabelecidos.

O princípio de relatividade proposto por Einstein destruiu o caráter absoluto atribuído, durante séculos, ao tempo e ao espaço. A descoberta de que as ondas eletromagnéticas poderiam ser explicadas como uma emissão de pacotes de energia (chamados quanta) conduziu ao ramo da física que lidava com sistemas atômicos e subatômicos. A Teoria Quântica é incompatível com alguns conceitos usuais da mecânica clássica, como por exemplo, prevê que a energia do elétron deve ser quantizada.

O princípio de relatividade e da quantização levaram ao entendimento de diversos fenômenos e a novas previsões, tais como a existência de anti-matéria. Tornou-se possível liberar energia com a fissão atômica, que levou a produção das bombas, mas também a produção energética em usinas nucleares.

A radioatividade dos núcleos, observada no início do século XX, é registrada por diversos cientistas, dentre eles destaca-se a primeira mulher ganhadora do Prêmio Nobel, Marie Curie. Surgem diversas propostas sobre a estrutura nuclear, e detectam-se seus componentes. Mas a ciência continua sua investigação e chega a conclusão de que existem mais partículas do que aquelas que existem nos átomos. E mais, conclui-se que toda matéria do universo é constituída, na sua essência, por partículas fundamentais menores ainda, e que compõe essas partículas: 6 quarks e 6 léptons.

Há o estabelecimento das 4 interações fundamentais que determinam todas as propriedades da matéria: Gravitacional, Eletromagnética, Fraca e Forte. Com o desenvolvimento, mostra-se que a força eletromagnética e força fraca são uma só, a força eletrofraca.

Com os progressos da física do século XX, chegamos a triste aplicação na produção e detonação das bombas nucleares. Mas também se tornaram possíveis a aquisição, transmissão e armazenamento de dados de forma espantosa, como a que vemos hoje com nossos computadores sem fio, celulares; vemos ainda trens que levitam; viagens espaciais; detecção e cura com formas incríveis para diversas doenças, e um grande número de aplicações positivas dessa produção científica.

## PRÓXIMA AULA



Com tantos ramos de estudo, como atualmente se dividi a física? Quais são seus campos de atuação? O que se faz nelas? 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 20/02/2008.

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 20/02/2008.

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

**Revista Ciência Hoje Online**. Disponível em <<http://cienciahoje.uol.com.br>>. Acesso em 20/02/2008.

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

<http://educar.sc.usp.br/licenciatura/trabalhos/relat.htm>.

<http://hpdemat.vilabol.uol.com.br/Biografias.htm> consultado em 20/02/2008.

<http://satie.if.usp.br/relatividade.pdf>.