

## *A paixão de Einstein pela ciência*

Albert Einstein nasceu no dia 14 de março de 1879 em Ulm, Alemanha.

Seus pais, Hermann e Pauline Koch, eram como a maioria dos judeus da Bavaria na época: bem assimilados e basicamente irreligiosos, mesmo que mantendo certas tradições como, por exemplo, casar-se na fé. Einstein passou sua juventude em Munique, onde sua família possuía uma pequena oficina destinada à construção de máquinas elétricas. No início, o desenvolvimento de Einstein foi um pouco lento. Ele só aprendeu a falar aos três anos, e ao que parece apenas aos nove anos tornou-se completamente fluente.

Entretanto, apesar de ter mais do que uma indicação de um problema mental, ele era uma criança muito independente e perfeitamente feliz dentro de seu próprio mundo. De fato, ele nunca perdeu essa habilidade de passar do mundo real para o mundo mental. Ele não tinha nenhum esforço para afastar-se do dia-a-dia. Ele simplesmente entrava e saía da rotina quando bem entendia.

Um mito bem popular era que Einstein era um estudante medíocre. Muito pelo contrário, suas notas eram, em geral, bem altas. Frequentemente, as mais altas da classe. De qualquer modo, é com certeza verdade que ele tinha um profundo desprezo pela rígida e autoritária estrutura do sistema educacional alemão. Desprezava qualquer tipo de autoridade, fosse ela em escola, governo, ou religiões. Esse desprezo talvez não o tenha ajudado a conseguir o apoio de seus professores, mas deu-lhe a coragem de duvidar, questionar idéias e noções aceitas pela maioria. É muito provável que, sem essa coragem muita de sua criatividade foi sufocada. Felizmente, Einstein não era do tipo de esconder suas idéias no sótão.

Albert Einstein não gostava do regime monótono e do espírito sem imaginação da escola em Munique. Quando sua família mudou-se para Milão, na Itália, Einstein tinha 15 anos. Nesta ocasião passou 1 ano com sua família em Milão. Terminou a escola secundária em Arrau, Suíça, e entrou na Escola Politécnica Nacional Suíça em Zurique. Einstein não gostava dos métodos de instrução lá. Frequentemente não assistia às aulas, usando o tempo para estudar Física ou tocar seu adorado violino. Passou nos exames e graduou-se em 1900.

Seus professores não o tinham como grande aluno, talvez devido à sua própria personalidade, e não o recomendariam para uma posição na Universidade. Por dois anos Einstein trabalhou como tutor e professor substituto. Em 1902, assegurou uma posição como examinador no Escritório de Patentes da Suíça em Bern. Em 1903, casou-se com Mileva Maric, que havia sido sua colega na Escola Politécnica.

Em 14 de fevereiro de 1919, Einstein divorcia-se de sua esposa, casando-se com sua prima Elsa.

Mais tarde se tornou diretor do Instituto Kaiser Guilherme de Berlim; depois por causa da política racial de Hitler, foi para a América, onde foi nomeado professor na Universidade de Princeton. Fez-se cidadão americano em 1940.

Seu romance com a ciência começou quando ele tinha cinco anos de idade. Em sua autobiografia, escreveu sobre a profunda emoção que sentiu quando, doente em sua cama, seu pai mostrou-lhe uma bússola para distraí-lo: "Eu me lembro - ou acredito

que me lembro - que essa experiência causou um profundo efeito em mim. Algo de fundamental tinha de estar escondido por trás das coisas."

Seu fascínio cresceu ainda mais aos doze anos, quando encontrou um livro sobre geometria euclidiana. O que mais o impressionou foi o poder do raciocínio de provar proposições complicadas envolvendo curvas, triângulos, círculos, e suas várias propriedades. Dali em diante, ele usou todo o seu tempo livre para ler livros sobre matemática e física, com apetite insaciável. E assim foi que, aos dezesseis anos, um precoce Einstein formulou a pergunta que o levaria a reavaliar a concepção newtoniana de espaço e tempos absolutos.

Entretanto, uma das peculiaridades de Einstein era sua paixão e devoção à ciência.

A dedicação à ciência era para Einstein, o objetivo supremo, o caminho para a transcendência do ser.

## ***Einstein muda a Física Moderna***

*"A mais profunda emoção que podemos experimentar é inspirada pelo senso de mistério". Albert Einstein*

O estudo da física moderna pode ser bem frustrante, principalmente porque as teorias de relatividade e da mecânica quântica, quando vistas pela primeira vez, causam uma certa perplexidade e parecem contradizer nosso bom senso. Parecem absurdos e mais absurdos, mas tudo tem sua explicação científica, e razoavelmente bastante complexa.

Veja algumas das idéias que iremos discutir a seguir:

- 1) um objeto em movimento sofre uma contração de seu comprimento na mesma direção em que se move;
- 2) um relógio em movimento bate mais devagar;
- 3) massa e energia podem ser convertidas entre si;
- 4) não podemos determinar se os constituintes da matéria são ondas ou partículas;
- 5) ao observarmos um sistema físico influenciaremos seu comportamento; não existe separação entre observador e observado;
- 6) a presença de matéria deforma a geometria do espaço e altera o fluxo de tempo;
- 7) não podemos determinar a posição de um objeto, apenas afirmar a probabilidade de ele estar aqui ou ali.

Parece ficção ou alguma frase do filme "Devolta para o Futuro", não parece? Entretanto, na medida do possível, iremos discutir cada idéia mais adiante. Infelizmente, o bom senso não nos ajuda muito a lidar com esses fenômenos. Isso torna as coisas difíceis, porque tendemos a nos basear no bom senso quando nos relacionamos com o mundo à nossa volta. Einstein define bom senso como "conjunto de todos os preconceitos que adquirimos durante nossos primeiros dezoito anos de vida". O dicionário Webster define como "as opiniões de homens comuns", ou "julgamentos sólidos e prudentes mas, em geral, não muito sofisticados". Alternativamente, podemos dizer que o bom senso resulta do contato repetido com

certas situações, sejam elas no nível emocional ou físico. De modo geral, a física clássica lida com situações mais palpáveis, como a lei da inércia (primeira lei de Newton), ou sobre as observações de Galileu sobre o movimento dos corpos em queda livre, que com um pouco de esforço, não é tão difícil de compreendermos que esses resultados fazem sentido.

No entanto, as coisas não são assim com a física moderna. À primeira vista, fenômenos relativísticos ou quânticos parecem bizarros porque estão muito além da nossa realidade imediata. Isso porque lidamos, neste caso, com objetos de escala atômica, ou não mais leves que estrelas e velocidades comparadas com a velocidade da luz. Nossa visão do mundo natural, portanto, é bastante limitada. Com mentes abertas, o que antes parecia não fazer sentido torna-se fascinante.

## ***A luz está sempre em movimento***

No final de sua vida, Einstein recordou-se da idéia (ou visão) que o levava à teoria da relatividade especial:

*"Se eu viajar lado a lado com um raio de luz, com a velocidade  $c$  (velocidade da luz no vácuo), eu deveria observar esse raio como um campo eletromagnético em repouso, oscilando espacialmente [como uma corda de violão]. Entretanto, tal fenômeno é impossível, tanto de acordo com os experimentos quanto com as equações de Maxwell. "*

Essa situação parecia bastante paradoxal para o jovem Einstein. Afinal, de acordo com a física newtoniana, para alcançarmos uma onda que se move com uma dada velocidade, tudo o que devemos fazer é nos movermos um pouco mais rapidamente que a onda. Mais ainda, se nos movermos com a mesma velocidade da onda, esta parecerá em repouso, como todo surfista sabe. O mesmo deveria ser verdade, pois segundo a física newtoniana, não há nada de especial na velocidade da luz, o que não seria possível segundo a teoria de Maxwell, que diz que não existe um campo magnético em repouso: a luz está sempre em movimento. Algo tinha de ceder, e, no final, a idéia de que a velocidade da luz é como qualquer outra velocidade foi abandonada.

Vamos refletir um pouco sobre isso. Considere um trem se movendo para leste (->) com velocidade constante  $V$  em relação a um observador de pé na estação. A primeira coisa que percebemos, é que, para um passageiro sentado no trem, é a estação que se move para oeste (<-). Consegui visualizar? Então prosseguimos. Quando dizemos que um objeto está em movimento, sempre nos referimos a algo que não está se movendo com esse objeto, seja nós próprios, uma árvore ou uma estação de trem. Em outras palavras, o movimento existe sempre em relação a algum ponto de referência.

Agora imagine a seguinte situação (um experimento mental): um passageiro que está no trem está se movendo em direção ao vagão restaurante com velocidade  $v$ , indo para o leste (->) em relação ao passageiro sentado no trem. Para a pessoa na estação, o passageiro está viajando para o leste com velocidade  $V + v$  (->). É claro também, se o passageiro estivesse andando na direção oeste (<-), a pessoa na estação mediria

sua velocidade como sendo  $V - v$ . Isso tudo faz sentido de acordo com o nosso bom senso e com a física newtoniana. O movimento do passageiro sentado no trem pode ser igualmente estudado pela pessoa sentada no trem ou pela pessoa na estação. Esse resultado é resumido no princípio da relatividade, que diz que as leis da física são idênticas para o passageiro se movendo com velocidades relativas constantes. Por exemplo, a energia conservada é constante.

O trem e a estação são referenciais inerciais. Para referenciais não inerciais, como um trem acelerando em relação à estação, precisamos de uma teoria mais completa, a teoria da relatividade geral.

Agora vem a parte mais interessante. Em vez de um passageiro andando, imagine que o passageiro que estava sentado se levanta e aponta uma lanterna na direção leste (->). “Fácil”, você diz, “a luz da lanterna irá se mover com velocidade  $c$  ( $c$  é a velocidade de propagação da luz no vácuo. Aproximadamente 300.000 km/s) em relação ao trem e com velocidade  $V + c$  em relação a pessoa na estação. Certo?” ERRADO! Se isso fosse verdade poderíamos imaginar uma situação em que o passageiro apontaria sua lanterna na direção oeste (<-) e, se a velocidade do trem na direção leste (->) fosse igual à velocidade da luz, então a pessoa na estação veria um raio de luz em repouso, em contradição frontal com a teoria de Maxwell, citada anteriormente. Mas então como a teoria de Maxwell pode ser reconciliada com o princípio da relatividade?

Como solução, Einstein sugeriu que a velocidade da luz no vácuo (espaço vazio) não é como qualquer outra velocidade, mas é especial; a velocidade da luz é a velocidade limite de processos causais na Natureza, a velocidade mais alta com que a informação pode viajar. Mais do que isso, a velocidade da luz é independente da velocidade de sua fonte. O passageiro segurando a lanterna mede a velocidade das ondas de luz produzidas pela lanterna como sendo  $c$ , assim como a pessoa que está de pé na estação. Assim, a teoria de Maxwell pode ser reconciliada com o princípio da relatividade.

Em 1905, em seu brilhante manuscrito, Einstein construiu a fundação conceitual da teoria da relatividade especial a partir de dois postulados: 1) as leis da física são as mesmas para observadores movendo-se com velocidade relativa constante; 2) a velocidade da luz no espaço vazio é independente do movimento de sua fonte ou do observador. Esse segundo postulado é novo e, mesmo que possa soar muito inocente, ele tem conseqüências muito sérias para nossas noções newtonianas de espaço e tempo.

## ***Einstein entra para a galeria da ciência***

*"Deus pode ser perspicaz, mas não é malicioso" Albert Einstein*

No mesmo ano que Einstein escreveu seus manuscritos sobre a relatividade (1905), ele produziu outro manuscrito, brilhante o suficiente para garantir-lhe um lugar na galeria dos imortais na ciência e o grau de Doutor na Universidade de Zurique. Apesar do que a maioria pensa, Einstein não foi só um velho de língua para fora que inventou a relatividade. Pelo contrário, sua contribuição para a ciência foi muito além disso. Uma de suas obras era sobre o “*movimento browniano*”, o qual trata dos

movimentos de grãos pequenos (como por exemplo, um grão de pólen) flutuando sobre um líquido. Estes apresentam um complexo movimento de ziguezague, que, primeiramente, foi atribuído como a causa uma obscura “força vital” pelo botânico Robert Brown. Einstein, por sua vez, mostrou que este movimento aleatório era causado por colisões entre as partículas e as moléculas do líquido.

Outro de seus manuscritos era sobre o “efeito fotoelétrico”, descoberto por Hertz em 1887. Este continha uma hipótese revolucionária a respeito da natureza da luz. Era necessário novas idéias à respeito da capacidade da luz em eletrizar um metal. Não se entendia, por exemplo, por que a luz amarela não conseguia eletrizar uma amostra de metal eletricamente neutra, enquanto a luz violeta (ou ultravioleta) o fazia facilmente. Einstein não somente propôs que sob certas circunstâncias pode-se considerar a luz feita de partículas, mas também a hipótese que a energia carregada por qualquer partícula de luz, chamada de *fóton* (*átomo de luz*), é proporcional à frequência da radiação ( $E=hf$ ). Uma década mais tarde, o Físico americano Robert Andrews Millikan confirmou experimentalmente a teoria de Einstein. A resposta para a questão foi que a luz amarela não causa efeito porque, sendo de frequência (e, portanto, energia) mais baixa que a luz azul, ela não tem energia suficiente para remover elétrons da superfície do metal.

Em 1921, Einstein (finalmente!) ganhou o prêmio Nobel. Todavia, na época muitos físicos não receberam com sorrisos e abraços as idéias da natureza quântica do efeito fotoelétrico. Isso porque até então, a luz, assim como qualquer outra radiação eletromagnética, era considerada uma onda. E como era possível a luz ser uma partícula, como dizia Einstein? Ora, uma partícula é um objeto pequeno, bem localizado no espaço; partícula e onda são descrições incompatíveis, antitéticas. Essa é a famosa dualidade *onda-partícula* da luz: a luz pode se comportar como onda ou como partícula dependendo da natureza do experimento. Fascinante, não? Se o experimento testar suas propriedades ondulatórias, como padrões de interferência, a luz se manifestará como onda; e se o experimento testar suas propriedades de partículas, como colisões com outras partículas, a luz se comportará como partícula. Portanto, a luz não é partícula ou onda, mas ambas! Tudo depende como nós decidimos investigar suas propriedades.

Diante disso, emerge um ponto fundamental da realidade do mundo quântico, radicalmente diferente do mundo clássico à nossa volta. No mundinho muito pequeno, o observador tem um papel passivo na descrição dos fenômenos naturais; se a luz se comporta como onda ou partícula dependendo do experimento, então não podemos mais separar o observador do observado. Em outras palavras, no mundo quântico, o observador tem um papel fundamental na determinação da natureza física do que está sendo observado. A noção de que uma realidade objetiva existe independentemente da presença de um observado tem de ser abandonada.

Ao mesmo tempo que foram surgindo esses novos conceitos, e visões diferentes do mundo, novas teorias apareciam produzidas por diversos cientistas da época como Schrödinger, Planck e Heisenberg. Um desses princípios é o famoso *princípio da incerteza*, que em sua forma mais popular, afirma que é impossível conhecermos com precisão absoluta tanto a posição como a velocidade (na verdade a quantidade de movimento) de um partícula.

“Um momento”, você exclama, ‘como isso pode ser possível? Certamente com instrumentos mais precisos sempre poderemos melhorar a precisão das medidas da posição e da velocidade de uma partícula. Certo?’ Errado! A raiz do problema é que o próprio ato de medir afeta no que está sendo medido. Por exemplo, para visualizarmos um objeto, temos de projetar luz sobre ele. Quanto mais detalhada a imagem que desejamos, menos o comprimento de onda de luz que devemos usar, se desejarmos visualizar um objeto de dimensões minúsculas, deveremos usar luz de comprimento de luz muito pequeno. E como sabemos, quanto menor o comprimento de onda, mais energia é transportada pela onda. Portanto, ao projetarmos luz sobre um objeto de dimensões minúsculas, obrigatoriamente mudamos sua posição; a luz, ao refletir-se sobre um objeto, não só o ilumina como também o empurra, assim como uma onda empurra na praia. Quanto maior a precisão que tentamos medir um objeto, mais forte será o empurrão da luz. O ato de medir interfere com o que está sendo medido.

Logo, não podemos prever a posição e velocidade dos objetos com total precisão. No mundo do muito pequeno, o próprio conceito de trajetória se torna vago. Assim, não podemos prever, por exemplo, se um elétron vai estar aqui ou ali, mas apenas calcular a probabilidade de ele ser encontrado aqui ou ali. O mesmo experimento repetido várias vezes, sob as mesmas condições, dará resultados diferentes. O que podemos prever com a mecânica quântica é a probabilidade de obter um determinado resultado.

Einstein não concordou com o princípio da incerteza de Heisenberg, por não acreditar que o universo estivesse sendo abandonado ao acaso. "Deus pode ser perspicaz, mas não é malicioso", disse ele sobre este princípio que destruía o determinismo que estava ancorada à ciência desde a Grécia antiga.

## *Einstein, o cidadão do mundo*

Vamos esquecer por alguns instantes a imagem popular de Einstein como um velho sábio, com uma vasta cabeleira branca, língua de fora e doces olhos negros. É uma espécie de híbrido entre um avô excêntrico e um profeta.

Alguns dizem, que nesta foto, Einstein teria como intenção passar uma imagem de louco, a fim de confundir e, ao mesmo tempo, gozar de todos aqueles que o criticavam na época.

Além de se ocupar com suas fantásticas contribuições científicas, Einstein também se preocupava com o social. Nunca se envolveu em disputas sobre a originalidade de suas idéias ou se aproveitou da glória de seu sucesso. "*O único modo de escapar da corrupção causada pelo sucesso é continuar a trabalhar.*", ele escreveu em uma ocasião.

*"É muito tentador pararmos para escutar elogios embevecedores. Mas a única coisa a ser feita é dar as costas a isso tudo e continuar a trabalhar. Trabalho. Não existe mais nada."*

Einstein gostava de discutir seus trabalhos com os colegas. Seus debates com o grande físico dinamarquês Niels Bohr foram cruciais para o desenvolvimento da mecânica quântica.

Ele é o único cientista cujo pôster é mostrado lado a lado com o dos Beatles ou de Pelé em lojas especializadas. A reação quase alucinada da imprensa após o astrônomo inglês, sir Arthur Eddington, ter confirmado, em 1919, uma das previsões da teoria da relatividade geral. Isso transformou Einstein, quase da noite para o dia, num homem famoso em todo mundo. Para sua enorme surpresa, ele se tornou um homem público, um símbolo de gênio, o mais famoso cientista do mundo, talvez de História. Abraham Pais, físico e famoso biógrafo de Einstein afirmou: "*Ele parecia ter contato direto com Deus, assim como os santos e profetas de outrora.*"

Após 1919, Einstein tornou-se internacionalmente reconhecido. Ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1921. Sua visita a qualquer parte do mundo tornava-se um evento nacional; fotógrafos e repórteres o seguiam em qualquer lugar.

Em 1922, Einstein tornou-se membro do Comitê de Cooperação Intelectual da Liga das Nações. Em 1925, juntamente com o líder dos direitos civis indianos Mahatma Gandhi, trabalhou numa campanha pela abolição do serviço militar obrigatório. E, em 1930, Einstein colocou novamente seu nome em outro importante manifesto internacional, desta vez organizado pela Liga Internacional da Mulher pela Paz e Liberdade. Pedia o desarmamento internacional como sendo a melhor maneira de assegurar uma contínua paz. Todavia, em 1939, Einstein escreveu ao presidente Frankling Delano Roosevelt, encorajando os Estados Unidos a iniciarem pesquisas sobre os possíveis usos militares da energia atômica. Em 1954, ele disse ao químico Linus Pauling: "Cometi um grande erro em minha vida quando assinei a carta ao presidente Roosevelt recomendando a construção de armas atômicas; mas alguma justificativa eu tinha - a possibilidade de elas serem construídas pelos alemães."

Em maio de 1925, como parte de seu roteiro na América do Sul, Albert Einstein veio ao Brasil. Esteve no Rio de Janeiro, em visita a instituições científicas e culturais. Proferiu duas conferências: na Academia Brasileira de Ciências e no Instituto de Engenharia do Rio de Janeiro.

Quando Adolf Hitler começou seu governo na Alemanha, Einstein decidiu deixar a Alemanha imediatamente. Foi para os Estados Unidos e ocupou uma posição no Instituto para Estudos Avançados em Princeton, New Jersey.

Quando a morte de Einstein foi anunciada em 1955, a notícia apareceu nas primeiras páginas dos jornais de todo o mundo: "Morreu um dos maiores homens do século 20".

## ***O tic-tac de Einstein***

Para apreciarmos melhor algumas das incríveis conseqüências da teoria da relatividade especial, devemos definir o que é um evento. Um evento é algo que acontece, um ocorrência em algum local do espaço e em algum momento no tempo, como, por exemplo, uma bola batendo no chão. O segundo postulando de Einstein leva ao seguinte resultado surpreendente: a simultaneidade é relativa. Dois eventos que são simultâneos para o observador A, como duas bolas batendo no chão ao mesmo tempo, não serão simultâneos para um observador B, movendo-se com velocidade constante em relação ao observador A.

Você não acredita? Pois bem, vamos voltar ao exemplo do trem em movimento. O observador A está de pé na estação, e, como antes, o trem está se movendo na

direção leste(->) com velocidade  $V$  em relação ao observador A sentado exatamente no meio do trem está o observador B. De repente, o observador A vê dois relâmpagos atingirem a frente e a traseira do trem exatamente ao mesmo tempo. ( Não se preocupe, ninguém se machuca num experimento mental.)

O observador A sabe que os relâmpagos atingiram o trem ao mesmo tempo porque sua luz demora exatamente o mesmo tempo para viajar até seus olhos. Portanto, os dois eventos serão simultâneos para o observador A, mas será que são simultâneos para o observador B? Bem, B está se movendo na direção leste com velocidade  $V$ . Ele está se dirigindo em direção ao relâmpago que atingiu a frente e se distanciando daquele que atingiu a traseira do trem. Ele verá a luz do relâmpago que atingiu a frente ANTES de ver a luz do relâmpago que atingiu a traseira. Portanto, para o observador B, os eventos não são simultâneos. O que é simultâneo para um não é simultâneo para outro. Cada observador tem seu tempo particular; dois observadores podem calcular suas medidas se eles conhecerem sua velocidade relativa. Tempo absoluto simplesmente não existe.

Existem duas outras conseqüências do segundo postulado de Einstein que contradizem o nosso bom senso. Eles são conhecidos respectivamente, como DILATAÇÃO TEMPORAL e CONTAÇÃO ESPACIAL. Basicamente, afirmam que um relógio em movimento bate mais lentamente que um relógio em repouso, e que um bastão encolhe na direção de seu movimento. No limite em que o relógio e o bastão se movem com a velocidade da luz, o tempo pára ( o intervalo entre o “tic” e o “tac” se torna infinitamente longo) e o bastão desaparece. Perplexo? Primeiramente, tentarei convencê-lo que um relógio bate mais devagar.

Vamos voltar ao trem que está parado na estação. Um instrumento chamado “relógio de luz” foi posto no trem. Este consiste em uma caixa transparente com dois espelhos idênticos postos frente a frente, um no chão outro no teto. De algum modo, é possível fazer com que um pulso de luz viaje continuamente entre os dois espelhos, sendo refletido de cima para baixo e de baixo para cima. Quando o pulso de luz bate no espelho inferior, ouvimos um “tic”, e quando o pulso bate no espelho superior, ouvimos um “tac”. O intervalo de tempo entre um tic e um tac chamamos de  $T_0$ . Esse é o intervalo de tempo quando o relógio está em repouso. O trem inicia sua viagem, passando pelo observador A, com velocidade constante  $V$ , que ouve um “tic” seguido de um “tac”. Ele chama o intervalo de tempo entre os dois de  $T_v$ . Quando ele compara as duas medidas ele percebe que  $T_v$  é maior que  $T_0$ : o intervalo de tempo entre um tic e um tac é maior para o relógio em movimento.

Vamos analisar o resultado. Como podemos ver na figura, o trajeto percorrido pelo pulso de luz entre os dois espelho e é maior do que quando ele está em repouso. Como a luz viaja sempre na mesma velocidade (segundo postulado), o observador A, conclui que quando em movimento um relógio bate mais devagar. Note, que esse efeito é medido apenas para o observador A. Para o observador B, sentado no trem em repouso em relação ao relógio, o intervalo de tempo entre um tic e um tac é exatamente  $T_0$ . A dilatação temporal é um fenômeno que depende do movimento relativo entre dois referenciais inerciais, no nosso caso, o trem e a estação.

Esse resultado não depende do tipo de relógio que usamos em nosso experimento. Caso tivéssemos usado nosso coração para marcar a passagem do tempo, os resultados teriam sido idênticos.

Finalmente, temos a contração espacial. Vamos repetir o experimento com o relógio de luz, mas agora com o relógio posicionado na horizontal, de modo que os espelhos estejam na vertical. O observador A, na estação, mede o intervalo de tempo entre um tic e um tac quando o relógio está em movimento com o trem. O observador a mede o mesmo tempo que antes. Entretanto, na presente situação, o pulso de luz tem de viajar uma distância mais longa, já que ele não só deve cobrir a distância entre os dois espelhos, mas também deve “alcançar” o espelho que está se movendo para o leste (->). Como a luz viaja sempre com a mesma velocidade, a única explicação é que a distância entre os dois espelhos encolheu, ou seja,  $d'$  é menor que  $d$ . Os objetos se contraem na direção de seu movimento.

“Espere um momento!”, você exclama, “se Einstein está certo, por que nunca observamos objetos em movimento se contraindo, relógios em movimento se atrasando, ou a relatividade da simultaneidade?” A razão é que a velocidade da luz é tão maior do que as velocidades ordinárias de nosso dia-a-dia que para nós esses efeitos relativísticos são completamente desprezíveis.

Assim sendo, a teoria da relatividade especial relacionava o espaço e o tempo de tal modo que é mais conveniente pensarmos nele como sendo fundidos em um novo espaço quadridimensional, o espaço-tempo (uma dimensão para o tempo e três para o espaço: altura, largura e profundidade). Uma distância nesse espaço-tempo engloba tanto distâncias espaciais como intervalos temporais.

As três conseqüências discutidas acima são complementadas por mais uma, apresentada por Einstein num terceiro manuscrito, também publicado em 1905. A massa é uma forma de energia, a famosa  $E=mc^2$ .

E, mesmo que um objeto esteja em repouso, ele tem energia “armazenada” em sua massa  $m$ . Em movimento, o objeto tem mais energia de que quando está em repouso. Einstein propôs que a massa de um objeto aumenta com sua velocidade, atingindo um valor infinito à medida que ele se aproxima da velocidade da luz. Desse modo, para acelerarmos um objeto até a velocidade da luz, é necessário uma quantidade infinita de energia. Em outras palavras, nenhum objeto com extensão espacial pode atingir a velocidade da luz.

## ***Einstein pensa no Universo***

*"Ainda acredito na possibilidade de construirmos um modelo da realidade"*

*Albert Einstein*

Juntamente com a revolução na nossa compreensão da física do muito veloz e do muito pequeno, as três primeiras décadas do século XX presenciaram uma outra revolução: uma nova física da gravidade e do Universo como um todo; ou seja, uma física do muito grande. Mais uma vez o estímulo intelectual crucial veio da mente de Einstein. Logo após ter completado seu trabalho em relatividade especial, Einstein se perguntou como seria possível incluir também observadores movendo-se com velocidades variáveis. Numa visão que ele considerou “o pensamento mais fortuito de minha vida”, Einstein descobriu uma profunda conexão entre movimento acelerado e gravidade: uma teoria “geral” da relatividade, capaz de incorporar movimentos acelerados, necessariamente implicava uma nova teoria da gravidade.

Do mesmo modo que a relatividade especial revelara as limitações da mecânica newtoniana na descrição de movimentos com velocidades comparáveis à velocidade da luz, a nova teoria da gravitação desenvolvida por Einstein revelou as limitações da teoria de gravitação newtoniana. Tal como o eletromagnetismo, os efeitos da gravidade também poderiam ser representados por campos. Uma massa tem um campo gravitacional associado, “um distúrbio no espaço” que influenciará outras massas colocadas em sua vizinhança. Para sua nova teoria de relatividade geral, Einstein teve de desenvolver uma estrutura conceitual radicalmente diferente, que combinou de modo belíssimos conceitos físicos e matemáticos.

Ao invés de espaço e tempo absolutos, na relatividade geral o espaço-tempo se torna plástico, deformável: a presença de matéria altera a geometria do espaço e o fluxo de tempo.

Em 1907, enquanto trabalhava no escritório de patentes em Berna, Einstein, escrevendo um artigo sobre a sua teoria de relatividade especial, se deu conta que as leis físicas não podem ser diferentes para observadores com movimentos relativos acelerados. As leis da relatividade deveria incluir todos os tipos de movimento, acelerado ou não. Foi então que ele teve sua visão:

*“Eu estava calmamente sentado numa cadeira no escritório de patentes em Berna quando, de repente, um pensamento me ocorreu: em queda livre, um pessoa não sente seu próprio peso. Eu fiquei chocada. Esse simples pensamento causou uma profunda impressão em mim. Ele me conduziu em direção à nova teoria da gravitação.”*

Para compreendermos a importância dessa visão, devemos voltar um pouco atrás. Uma das grandes descobertas de Galileu foi que todos os objetos caem com mesma aceleração, independentemente de suas massas. Largadas da mesma altura, uma bala de canhão e uma pena (na ausência de ar!) tocarão o chão ao mesmo tempo. Agora imagine que ao invés de um pena, fizéssemos este experimento com você! O que você verá durante a queda? Fora que o chão se aproxima rapidamente, você verá a bala de canhão caindo junto a você, lado a lado. De fato, se você não pudesse olhar para os lados, você não poderia dizer se você está ou não caindo; você não sentiria nem mesmo o próprio peso. Você não acredita? Pois então, vamos a um experimento menos drástico. Imagine-se num elevador, descendo rapidamente de uma altura de cinquenta andares. Assim que o elevador começa a descer você se sente mais leve. Quanto mais rapidamente o elevador descer, mais leve você se sentirá. Se o elevador simplesmente cair, você não sentirá seu próprio peso. Você e tudo mais no elevador estarão em queda livre, flutuando livremente.

Essa visão fez com que Einstein compreendesse que os efeitos da gravidade poderiam ser “cancelados” num sistema referencial adequado. Por exemplo, no interior do elevador em queda livre, não existe gravidade, e, portanto, não existe aceleração. Em outras palavras, em um elevador em queda livres, os princípios da relatividade especial são perfeitamente válidos.

A visão também disse algo mais a Einstein igualmente importante: para um observador numa cabine, sem contado com o mundo exterior, seria impossível distinguir entre a aceleração causada pela gravidade e a aceleração causada por qualquer outra força. Imagine-se que você foi posto numa cabine fechada e lançada ao

espaço interestelar. A cabine está sendo puxada por um foguete com aceleração igual a da Terra. De repente uma voz vinda de um auto-falante ordena que você pegue duas bolas no armário, uma de madeira, outra de aço. “Largue-as simultaneamente de um altura de um metro”, diz “a Voz”. Ao largar as duas bolas você percebe que elas caem ao mesmo tempo. Inexplicavelmente você dispõe de um equipamento de medida de alta precisão, e mede o tempo de queda de ambas as bolas.

Então, a Voz pergunta: “Usando apenas seus dados, será que você descobre onde está?”. Lembrando-se um pouco de suas aulas de física, você sabe calcular a aceleração das bolas, e conclui que esta é a mesma aceleração medida na superfície da Terra. Você responde à Voz: “É claro, como eu medi um aceleração igual a da Terra, devo estar na Terra”. “Seu tolo” diz a Voz. Ao dizer isto, as paredes da cabine se retraem, revelando um sistema de paredes, feitas de um cristal transparente. Assim, você se depara que está em pleno espaço. Raciocinado um pouco, você chega a conclusão que a aceleração do foguete pode simular os mesmos efeitos da força gravitacional. Imagine um elevador subindo; a aceleração extra do elevador faz com que você se sinta mais pesado, ou seja ele aumenta a força gravitacional que você sente. O mesmo acontece com a espaçonave puxando a cabine. Essa é a consequência da terceira lei de Newton, a lei da ação e reação.

Você conclui que, na prática, é impossível distinguir uma aceleração para cima de uma força gravitacional para baixo. Esse resultado é conhecido como o *princípio da equivalência*. Qualquer campo gravitacional pode ser simulado por um referencial acelerado. Agora podemos entender por que Einstein ficou tão empolgado com sua visão: uma teoria geral da relatividade capaz de incluir movimentos acelerados é necessariamente uma teoria do campo gravitacional.

Agora imagine que em outra espaçonave esteja um amigo seu. Como antes, ambas as cabines têm paredes transparentes e seriam puxadas lado a lado, independente uma da outra. Porém, enquanto a sua cabine seria puxada com aceleração constante, a de seu amigo viajaria com velocidade constante. Assim, no momento que você executa os experimentos, seus amigos os observam do ponto de vista de um referencial inercial (velocidade constante).

O primeiro experimento é simples. As duas espaçonaves viajam lado a lado com velocidade constante. Então, “a Voz” pede para que você joga uma bola na direção horizontal com velocidade constante e observe sua trajetória comparando sua observações com seu amigo. Assim que você joga a bola, sua espaçonave começa a acelerar para cima. Portanto, mesmo que você e a cabine sofram uma aceleração para cima, a bola, que não estava mais em contato com você, não sofre nenhuma aceleração. Enquanto seu amigo vê a bola viajar com velocidade constante em linha reta, você vê a percorrer uma trajetória curva. Esse resultado não o surpreende muito, já que você sabia que um referencial acelerado pode simular um campo gravitacional.

Para a segunda parte do experimento, em vez de jogar uma bola, você tem que disparar um raio laser, sempre na direção horizontal em relação ao chão da cabine. Para esse experimento a espaçonave irá impor uma aceleração muito maior sobre a cabine, de modo a simular um campo gravitacional bem forte. Claro, graças a uma tecnologia desconhecida, você permanecerá perfeitamente imune aos efeitos extremamente desconfortáveis causadas por tais acelerações, como, transformá-lo em uma panqueca! Digamos que, você possa ver a trajetória do laser através de uma

neblina bem densa que há na cabine, por razões desconhecidas. Tal como a bola, seu amigo vê o laser percorrer uma trajetória retilínea. E exatamente como a bola, você vê o raio laser curvar-se para baixo. Você mal acredita em seus próprios olhos. A conclusão desse experimento é incrível; já que um referencial acelerado simula um campo gravitacional, um raio luminoso pode ser curvado por um campo gravitacional! Esse efeito é uma consequência do princípio da equivalência.

Daí podemos, seguindo o mesmo raciocínio, explicar a existência de um buraco negro. Os Buracos Negros são criados a partir da morte de uma estrela gigante. As estrelas morrem em grandes explosões que jogam suas partes externas para o espaço e esmagam suas partes internas. Se a massa da estrela for maior que três vezes a do Sol, a morte da estrela dará origem a um Buraco Negro, no seu centro a força gravitacional será tão intensa, devido a grande densidade, que nem a luz poderá escapar, por isso o seu nome. Assim, seus raios luminosos, encurvados sobre si mesmos, “cairiam” novamente sobre a própria estrela.

Os buracos negros são detectados pelos efeitos que causam em outros corpos. Esta ilustração mostra um buraco negro sugando gases duma estrela (representação artística de um buraco negro - no retângulo menor - e sua ampliação).

Entretanto, Mais tarde Einstein notou que existe outro modo de interpretar esse fenômeno: em vez de afirmarmos que o campo gravitacional defletiu o raio luminoso, podemos igualmente afirmar que o raio seguiu uma trajetória curva por que o próprio espaço era curvo! A trajetória curva é o caminho mais curto possível nessa geometria espacial deformada. Afinal, a luz sempre toma o caminho mais curto possível entre dois pontos. Logo, concluímos que a matéria dita a geometria do espaço e o espaço dita a geometria da matéria.

De fato, a formulação da teoria da relatividade geral ocupou Einstein durante oito anos, até que chegasse a sua forma definitiva em 1915. Todavia os esforços de Einstein foram recompensados: a teoria da relatividade geral é um dos maiores feitos do intelecto humano.