

MAURÍCIO DOS SANTOS

**PRINCÍPIO DA RELATIVIDADE RESTRITA: UM PARALELO DE
GALILEU A EINSTEIN**

Ji-Paraná-RO,
2009

MAURÍCIO DOS SANTOS

**PRINCÍPIO DA RELATIVIDADE RESTRITA: UM PARALELO DE
GALILEU A EINSTEIN**

**DR: CARLOS MERGULHÃO JUNIOR
PROFESSOR: ORIENTADOR**

Ji-Paraná-RO, dezembro de 2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA

MAURÍCIO DOS SANTOS

**PRINCÍPIO DA RELATIVIDADE RESTRITA: UM PARALELO DE
GALILEU A EINSTEIN**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Departamento de Ciências Exatas e da natureza da Universidade Federal de Rondônia como parte dos requisitos para obtenção da graduação em Licenciatura Plena em Física.

Ji-Paraná-RO, dezembro de 2009

PRINCÍPIO DA RELATIVIDADE RESTRITA: UM PARALELO DE GALILEU A EINSTEIN

MAURÍCIO DOS SANTOS

Esta monografia foi julgada adequada para a obtenção da graduação em Licenciatura Plena em Física, sendo aprovada em sua forma final em ____/____/____ pelo Departamento de Ciências Exatas e da natureza da Universidade Federal de Rondônia – Campus de Ji-Paraná.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Mergulhão Junior
Orientador

Ji-Paraná,
2009

Dedico a minha mãe, Elza Maria da Silva Santos, que sempre me ensinou a trilhar o caminho do bem e da ética, lutou para proporcionar a seus filhos a melhor formação, sempre enfocando a conduta e a moral, sem se esquecer do respeito para com todos e da dignidade, trilhando o caminho da honra e honestidade para que consiga o bem estar com amigos e familiares. Dedico também a memória de meu pai Almerindo Almeida dos Santos que com honra me ensinou a respeitar o próximo me encorajando para aprender na vida a dignidade e o caminho da sabedoria.

Agradeço a Deus por ter me dado força e perseverança no meu caminho, ele é meu refúgio nas dificuldades. Deu-me saúde e força para trilhar um caminho árduo e cheio de pedras, mas também me deu esperanças e a certeza da vitória; Aos meus pais e irmãos e familiares que sempre me estimularam e me deram coragem ao longo deste curso, para que eu conseguisse vencer os momentos mais difíceis; Aos meus amigos que me encorajaram ao longo deste curso e deram-me forças para vencer, aqueles que foram pacientes em esperar e me ajudaram nas horas mais difíceis e que me compreendiam mesmo com o cansaço depois de uma jornada de estudos, mas que mesmo assim me deram forças, e cada dia se tornava uma luta e esforço para um novo recomeço para o amanhã.

Pensamento

“O que sabemos sobre a matéria, por mais abstrato e esquemático que seja, é o bastante, em princípio, para nos revelar as regras, segundo as quais ela produz percepções e sensações em nós; é dessas regras que o uso prático da física depende. E que embora saibamos muito pouco, é assombroso que saibamos tanto e ainda mais assombroso que tão pouco conhecimento possa nos dar tanto poder”.

Bertrand Russell.

RESUMO

Este trabalho é resultado de uma pesquisa literária sobre a teoria da relatividade restrita, onde o assunto se desenvolve a partir das idéias de Galileu e Newton até chegar a Albert Einstein através de materiais como livros para a pesquisa e assim desenvolver todo este estudo. No final do século XIX, muitos físicos famosos acreditavam que a tarefa da física tinha terminado que nada mais havia para descobrir e que restavam apenas pequenos problemas, contudo, segundo eles, bastaria apenas um pouco de empenho para resolvê-los. Com o passar do tempo, porém perceberam que esses problemas não eram tão pequenos quanto pensavam; por isso, só puderam ser resolvidos com a criação de duas novas teorias: a Teoria da Relatividade e a Mecânica Quântica. Essas teorias revolucionaram a física no início do século XX e ajudaram a conhecer muito da estrutura da matéria. Muitas partículas elementares foram descobertas, e com isso foi possível formular hipóteses sobre a origem do universo. A física desenvolvida a partir do início do século XX passou a ser chamada Física Moderna, enquanto a física desenvolvida anteriormente ficou conhecida pelo nome de Física Clássica. Na Física Clássica de acordo com a lei da inércia, um corpo livre da ação de forças deverá estar em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme. Mas quando o movimento depende do referencial, assim um corpo pode ter velocidade constante em relação a um referencial e velocidade variável em relação a outro. Neste caso, qual o referencial a ser adotado? No caso em que um movimento é descrito por observadores que estão em referenciais diferentes, mas de modo que um dos referenciais tem velocidade constante em relação ao outro, portanto, se a lei da inércia vale em um desses referenciais valerá também em qualquer referencial que se movam em relação a ele com velocidade constante, neste caso as leis da mecânica são as mesmas nos dois referenciais. Quando se trata de movimentos muito rápidos como o caso da luz surge vários problemas. Isto coube ao físico inglês James Clerk Maxwell formular através do eletromagnetismo que era ondas eletromagnéticas e estas ondas precisavam de um meio para se propagar afirmavam os cientistas da época então foi colocada uma substância que estava por todo o universo na qual se chamava de éter. Através de vários experimentos para determinar esta substância e que não se chegava a uma conclusão de que existia, Michelson e Morley não conseguiram provar se existia mesmo o éter. O que só foi compreendida com os postulados de Einstein.

Palavras-Chave: relatividade restrita, referenciais e observadores.

ABSTRACT

This work is resulted of a literary research on the theory of restricted relativity, where the subject if develops from the ideas of Galileu and Newton until arriving in Albert Einstein through materials as books it research and thus to develop all this study. The end of century XIX, many famous physicists believed that the task of the physics had finished, that nothing more it had to discover, remained some small problems, however, according to them, a little of persistence to decide them would be enough only. With passing of the time, however they had perceived that these problems were not so small how much they thought; therefore, they could only have been decided with the creation of two new theories: the Theory of Relativity and the Quantum Mechanics. These theories had at the beginning revolutionized the physics of century XX and had helped to know very of the structure of the substance. Many elementary particles had been discovered, and with this it was possible to formulate hypotheses on the origin of the universe. The physics developed from the beginning of century XX passed to be called Physical Modern, while the developed physics previously was known for the name of Classic Physics. In the Classic Physics in accordance with the law of inertia, a free body of the action of forces will have to be in rest or rectilinear movement and uniform. But when the movement depends on the reference, thus a body can have constant speed in relation to a reference and changeable speed in relation to another one. In this in case that, which to be adopted reference. In the case where a movement is described for observers who are in different reference but in way that one of the reference has constant speed in relation to the other, therefore, if the law of inertia valley in one of these reference will also be valid in any reference that if it with constant speed moves in relation, in this case the laws of the mechanics is the same ones in the two reference. When if it deals with fast movements very as the case of the light appears some problems, as the speed of the light was to corpuscular according to Newton, had controversies when the experiment appeared of Thomas Young who knocked down the particle idea which Newton had affirmed. The great doubt was if the light was wave, then it was wave of what!? This fit to the English physicist James Clerk Maxwell to formulate through the electromagnetism that was electromagnetic waves and these waves needed a way to spread affirmed the scientists of the time then were placed a substance that was for all the universe in which if it called ether. Through some experiments to determine this substance and that it was not arrived at a conclusion of that existed, Michelson and Morley they had not obtained to prove if ether existed exactly or not.

Key Words: restricted relativity, references and observers.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
SUMÁRIO	8
LISTAS DE FIGURAS	9
INTRODUÇÃO	10
1. ANTECEDENTES A RELATIVIDADE RESTRITA E AS IDÉIAS DE GALILEU E NEWTON.....	14
2. ELETROMAGNETISMO E MAXWELL.....	18
2.1 – Equações de Maxwell.....	21
3. O ÉTER.....	25
4. A EXPERIÊNCIA DE MICHELSON MORLEY	29
5. A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA.....	34
5.1 – Dilatação Temporal.....	44
5.2 – Contração Especial e o Paradoxo dos Gêmeos.....	50
5.3 – Simultaneidade.....	55
6. ENTENDENDO A RELATIVIDADE RESTRITA.....	60
7. O QUÊ $E = m c^2$ REALMENTE SIGNIFICA.....	66
CONCLUSÃO.....	68
REFERÊNCIAS.....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Onda eletromagnética.....	24
Figura 2: Experimento de Michelson-Morley.....	30
Figura 3: Observador S' acionando uma fonte de luz.....	47
Figura 4: Representando o trajeto da luz.....	47
Figura 5: Representando o trajeto da luz.....	49

INTRODUÇÃO

A visão de mundo, transformada pelas descobertas da física moderna baseava-se no modelo mecanicista Newtoniano do universo. Esse modelo constituía a estrutura sólida da física clássica. Tratava-se de uma fundação tão imponente quanto uma rocha poderosa sobre a qual se apoiava toda a ciência. Esse modelo ofereceu uma base firme para a filosofia natural ao longo de quase três séculos.

O palco do universo Newtoniano, no qual se desdobravam todos os fenômenos físicos, era o espaço tridimensional da geometria euclidiana clássica. Tratava-se de um espaço absoluto, sempre em repouso e imutável. Todas as mudanças verificadas no mundo físico eram descritas em termos de uma dimensão separada, denominada tempo; essa dimensão, por sua vez, também era absoluta, sem qualquer vínculo com o mundo material e fluindo suavemente do passado através do presente e em direção ao futuro.

Os elementos do mundo Newtoniano que se moviam nesse espaço e tempo absoluto eram partículas materiais Newton as concebia com objetos pequenos, sólidos e indestrutíveis, a partir dos quais toda a matéria era elaborada.

Todos os eventos físicos são reduzidos, na mecânica Newtoniana, ao movimento de pontos materiais no espaço causado por forças externas.

As equações do movimento de Newton constituem a base da mecânica clássica. Foram consideradas como leis físicas; os pontos materiais se movem de acordo como elas e se pensava que elas eram capazes de responder a todas as mudanças observadas no mundo físico.

Na ênfase da idéias de Maxwell sobre o eletromagnetismo vem a pergunta sobre a luz, onda de que? E as conclusões sobre o eletromagnetismo que ele realiza.

Nos fins do século XIX a física aplicada sobre as leis do movimento por Newton e o eletromagnetismo explicado por Maxwell parece dar todo o entendimento da física, mas será que ele realmente explica toda a física? O éter realmente existe ou não, os físicos do século XIX haviam determinado uma substância que estava em todos os lugares inclusive no vácuo como são explicadas estas idéias do éter que os cientistas as desenvolviam?

Michelson e Morley desenvolveram um dos experimentos mais brilhantes de toda a história na física para determinar o éter, substância esta que estava nas mentes dos cientistas da época.

As três primeiras décadas do século XX transformaram radicalmente toda a situação da física, a noção de tempo e espaço absolutos, as partículas sólidas elementares, a natureza estritamente causal dos fenômenos físicos. Nenhum desses conceitos podia ser estendido aos novos domínios em que a física estava então penetrando.

Na origem da física moderna situa-se a extraordinária façanha intelectual de um homem: Albert Einstein que, entre outras importantes contribuições, propôs a teoria espacial da relatividade. Essa teoria unificava e completava a estrutura da física clássica, mas demandava transformações drásticas nos conceitos tradicionais de tempo e espaço. Abalando um dos pilares da visão de mundo Newtoniano. De acordo com a teoria da relatividade, o espaço não é tridimensional e o tempo não constitui uma entidade isolada. Ambos acham-se intimamente vinculados, formando um conjunto quadridimensional, o espaço-tempo. Na teoria da relatividade nunca se pode falar acerca do espaço sem falar acerca do tempo e vice-versa o que inexistia qualquer fluxo universal do tempo.

Observadores diferentes ordenarão diferentemente os eventos observados. Dois eventos que são visto ocorrendo simultaneamente por um observador, podem ocorrer em diferentes instantes em outros observadores todas as medições que envolvem o espaço e o tempo perdem assim seu significado absoluto. Na teoria da relatividade, o conceito Newtoniano de espaço absoluto como o palco dos fenômenos físicos é posto de lado, ocorrendo o mesmo com o conceito de tempo absoluto, tanto o espaço quanto o tempo tornam-se meramente “elementos da linguagem” utilizada por um observador particular para descrever os fenômenos observados.

A relatividade é o campo de estudo dedicado à medida de eventos, onde e quando ocorrem e qual a distância que os separa no espaço e no tempo. A relatividade tem a ver com a

relação entre os valores medidos em referenciais que estejam se movendo um em relação ao outro com velocidade constante (referenciais inerciais).

A relação entre os resultados de medidas executadas em diferentes referenciais, em 1905 Albert Einstein propôs a teoria da relatividade restrita. O adjetivo restrito é usado para indicar que a teoria se aplica apenas a referenciais inerciais.

Partindo de dois postulados aparentemente simples, Einstein surpreendeu o mundo científico ao mostrar que as velhas idéias a respeito da relatividade precisavam ser melhoradas, embora todos estivessem tão acostumados com elas que elas pareciam óbvias. O fato de parecerem óbvias era uma consequência do fato de que só estamos acostumados a observar corpos que se movem com velocidade relativamente pequena, além disso, a relação entre espaço e tempo é diferente para observadores que estão em movimento um em relação ao outro. Uma consequência é o fato de que o tempo transcorre a uma taxa dependente do observador, ou seja, o fluxo do tempo é ajustável.

Segundo Capra (2006): os conceitos de espaço e tempo são tão básicos para a descrição dos fenômenos naturais que suas modificações impõem a modificação de vários conceitos que utilizamos para descrever a natureza. A consequência mais importante dessa modificação é a compreensão de que a massa nada mais é que uma forma de energia. Assim, mesmo um objeto em repouso possui energia armazenada em sua massa, a relação entre ambas é dada pela famosa fórmula $E = mc^2$, sendo c a velocidade da luz.

A constante c a velocidade da luz, é de fundamental importância para a teoria da relatividade. Sempre que descrevemos fenômenos físicos envolvendo velocidades que se aproximam da velocidade da luz, nossa descrição tem que levar em conta a teoria da relatividade. Isso se aplica em particular aos fenômenos eletromagnéticos, entre os quais a luz é apenas um exemplo e que levou Einstein à formulação de sua teoria.

A física clássica baseava-se não apenas na noção de um espaço absoluto, tridimensional, independente dos objetos materiais que contém e obedecendo às leis da geometria euclidiana, mas também na noção do tempo como uma dimensão separada, que é igualmente absoluto e flui de maneira uniforme, independentemente do mundo material.

A teoria da relatividade fornece uma estrutura comum para a descrição dos fenômenos associados aos corpos em movimentos, à eletricidade e ao magnetismo; sendo a relatividade do

espaço e do tempo e sendo suas unificação no espaço-tempo quadridimensional as características básicas dessas estruturas.

O objetivo deste trabalho é entender melhor o princípio da relatividade restrita, fazendo um paralelo das idéias de Galileu e Newton sobre a mecânica e Maxwell sobre o eletromagnetismo até o desenvolvimento da relatividade restrita de Albert Einstein.

1. ANTECEDENTES À RELATIVIDADE RESTRITA E ÀS IDÉIAS DE GALILEU E NEWTON

Galileu explorou não apenas os céus, mas também o domínio terrestre. Para estudar ainda mais a gravidade, ele rolava bolas em planos inclinados de forma a atenuar o efeito da gravidade e assim possibilitar uma observação mais detalhada. Galileu reparou que uma bola que rolasse dentro de um plano inclinado côncavo subia até a mesma altura de onde havia partido. Em um plano inclinado mais gradual, a bola iria rolar para mais longe horizontalmente antes de atingir a altura inicial. Com base nisso, Galileu concluiu que a bola iria rolar para sempre em um plano perfeitamente horizontal.

A conclusão de Galileu representa uma mudança muito importante em nosso entendimento do movimento, pois sugere que este, em si, não precisa de causa ou explicação. De maneira específica, um objeto movendo-se horizontalmente em linha reta com velocidade constante vai continuar assim, a menos que uma força atue explicitamente para diminuir-lhe a velocidade, aumentá-la ou mudar-lhe a direção.

Se nos perguntarmos: Qual é o estado natural do movimento, para ele não é mais o repouso, mas o movimento em velocidade constante em linhas reta. Esse estado não exige causa. E o que causa o movimento? Para Galileu essa não é mais a pergunta certa. O movimento em si é natural e não requer causa ou explicação. O que requer uma explicação é qualquer mudança no movimento. E o que causa essa mudança? Uma força, isto é, um empurrão ou puxão, assim para Galileu as forças não causam o movimento, em vez disso, elas causam mudanças no movimento.

Conforme Bernstein (1995) Dentre as muitas contribuições de Galileu que dele recebeu a ciência, desejamos sublinhar duas. A primeira corresponde a conjectura de que, não havendo a resistência do ar, todos os objetos, independentemente da própria massa, cairiam com igual aceleração. A segunda contribuição de Galileu, a que nos desejamos referir, exige apresentação

algo mais sutil. Refere-se ao papel da “inércia” no movimento. Segundo a física aristotélica, para que um objeto se mantivesse em movimento, fazia-se necessária ação contínua daquilo que hoje chamaríamos força. Essa idéia brotou da experiência comum, da qual decorre que, se pretendemos deslocar um objeto sobre a superfície da Terra, devemos aplicar uma força para manter o objeto em movimento. Contudo, experiência também comum evidencia que, uma vez posto em movimento objeto, faz-se necessária a aplicação de uma força para detê-lo ou alterá-lo a direção de deslocamento. Quanto a este ponto, Galileu imaginou situação de que todos os efeitos da fricção estivessem afastados, superfície escorregadia como a do gelo, situação em que se manifesta a propriedade segundo a qual, posto em movimento, o objeto assim se conserva, enquanto sobre esse movimento não atuar uma força. Assentou Galileu que essa componente “inercial” desempenhava papel em todos os movimentos que observamos comumente. A título de ilustração, considerou ele o movimento de um projétil sobre o qual não atuasse a fricção do ar. Se o projétil é erguido e deixado cair, tomba verticalmente. De outra, parte, se o projétil recebe impulso inicial no sentido horizontal, descreverá trajetória curva, em verdade, uma parábola, antes de cair no chão. Galileu admitiu que, nesse movimento, havia a presença de duas componentes que agiam independentemente, uma força que leva o projétil a cair em sentido vertical e uma componente “inercial” que tenderia a manter o projétil em trajetória horizontal infinita, caso fosse possível afastar a primeira força. Estabeleceu-o, de modo particular, que o estado de repouso e o estado de movimento retilíneo uniforme correspondem a situação em que não atuam forças. Em outras palavras, o papel da força é o de alterar o estado de movimento ou de produzir aquilo que, em nossos dias, chamaríamos de aceleração. A observação era importante e contraditava e substituía a errônea análise aristotélica a propósito das forças e das relações entre elas e os movimentos. Estava o palco preparado para a síntese newtoniana.

Nestes estudos de Galileu com movimento terrestre veio de um problema inerente no esquema copernicano: se a terra se move ao redor do Sol, por que não sentimos o movimento da Terra? Porque não ficamos para trás durante seu movimento, por que não sentimos um puxão ou empurrão que faça com que continuemos no movendo junto com a terra? O novo entendimento de Galileu sobre o movimento fornece a resposta. Visto que nós e tudo o mais que está sobre a Terra compartilhamos do movimento de nosso planeta, continuamos naturalmente a nos mover com a Terra em um estado de movimento que não requer outras explicações. Sendo assim não sentimos o movimento da Terra porque compartilhamos dela e, portanto, estamos em repouso em

relação a Terra, ainda que no esquema de Copérnico nós e a Terra estejamos "realmente" nos movendo. No entendimento de Galileu e Newton estamos num movimento uniforme como um estado natural de movimento sem necessidade de outras explicações. Pelo fato de tudo na Terra compartilhar em movimento comum e continuar naturalmente este estado, o movimento da Terra não é relevante para nós. De fato, tanto Galileu quanto Newton sabia que as leis de movimento não favoreciam um lugar ou estado de movimento específico. Galileu argumentou que uma pedra jogada de cima de um mastro de um navio iria se comportar exatamente da mesma maneira se o navio estivesse se movendo com velocidade constante em águas calmas ou se o navio estivesse em repouso. Nos dois casos a pedra iria cair em linha reta e aterrizar na base do mastro. Expressamos essa idéia mais genericamente com o princípio da relatividade de Galileu, que diz que as leis de movimento atuam igualmente bem para qualquer observador em movimento uniforme. Pensada em função de referenciais, a relatividade de Galileu afirma que as leis de movimento são válidas em qualquer referencial que se move de maneira uniforme. Isso é essencialmente o que diz a relatividade de Galileu, especialmente porque no tempo de Galileu e Newton, muitos cientistas acreditavam que as leis de movimento poderiam explicar toda a realidade.

O movimento absoluto não tem sentido algum pela perspectiva galileana e newtoniana, mas a mudança no movimento tem sentido absoluto e, na verdade, é disso que tratam as leis de movimento de Newton.

Segundo Tipler (2006.v.1) "é impossível idealizar um experimento que determine se você está em repouso ou movendo-se uniformemente. Mover-se uniformemente significa mover-se com velocidade constante em relação a um sistema de referencia inercial".

Segundo Balchin (2009) "Newton trabalhou com observações feitas anteriormente por Galileu e expôs as leis de movimento que tem sido a alma da física moderna desde então. A "lei da inércia" estabelece que um objeto em repouso ou em movimento em linha reta, em velocidade constante, permanecerá no mesmo estado até encontrar outra força".

Conforme Bernstein (1995) Em verdade, Einstein entreviu algo mais, que se revelou de grande importância para a verificação da teoria. Dito de maneira simples: qualquer elétron em movimento passa a ter massa maior quando se desloca em relação a um observador do que quando se encontra em repouso relativamente a esse observador. Na medida em que a velocidade desse objeto se aproxima da velocidade da luz, sua massa se torna infinita! Não há dúvida de que

isso parece estranho, apesar de o leitor achar-se preparado para acreditar em qualquer coisa. A idéia comum a propósito de massa é a de que ela representa a quantidade de matéria que se contém em um objeto. Como pode a quantidade de matéria alterar-se simplesmente pelo fato de o objeto colocar-se em movimento? Ocorre, porém, que “quantidade de matéria” não é, em termos exatos, o que os físicos pretendem dizer, ao se referirem a “massa”. Para perceber o que os físicos pretendem dizer, imaginemos ter dois objetos, uma bola de bilhar e uma de boliche, por exemplo, submetidos à mesma força (Presumimos saber o suficiente acerca da natureza da força em pauta, de modo a podermos assegurar que as forças são identificas.). Segundo a lei de Newton, cada qual dos objetos passará a sofrer aceleração. Contudo, essas acelerações serão diferentes. Mais fácil é comunicar aceleração a bola de bilhar do que à bola de boliche. E isso porque a bola de boliche tem maior massa. Em termos precisos, definimos a “massa inercial”, como a razão entre a força que atua sobre um objeto e a aceleração que produz. Isso enuncia de modo exato, a idéia de que uma bola de boliche é de aceleração mais difícil do que uma bola de bilhar porque tem massa maior. Assim, quando um físico diz que a massa inercial de um objeto aumenta com a velocidade, pretende dizer que a mesma força aplicada ao objeto terá resultado de aceleração cada vez menor na medida em que o objeto se mova mais e mais depressa e, quando o objeto atinge uma velocidade muito próxima à velocidade da luz, a força terá qualquer resultado.

2. ELETROMAGNETISMO E MAXWELL

Segundo Bernstein (1995) Ao início de sua carreira, Maxwell começou a formular o conjunto de equações que levam o seu nome e que, dando expressão quantitativa às linhas de força de Faraday, constituem atualmente o ponto de partida para a discussão da eletricidade e do magnetismo. Explicar essas equações ao não-especialista envolve dificuldade maior do que explicar as leis de Newton, pois que são equações “diferenciais parciais” sendo necessário, para compreendê-las, maior conhecimento de cálculo do que e exigido para compreender as leis de Newton, onde aparecem equações “diferenciais ordinárias”. A idéia básica não é porem, de apreensão difícil. Tal, um campo magnético que sofra variação induz uma corrente elétrica. Para descrever quantitativamente esse fenômeno, faz-se necessária uma equação que relacione a variação do campo magnético à corrente induzida ou, em mais amplo termo, que relacione essa variação com as variações do campo elétrico induzido. Um campo é suscetível de variar tanto no espaço quanto no tempo. Conferem formulação matemática precisa à observação empírica do tipo da que Faraday realizou. Interessante notar que, embora sem ter preparo matemático para penetrar, em pormenor, o significado das equações podiam traduzir o que ele vinha buscando expressar.

Segundo Balchin (2009) Maxwell examinou a idéia de Faraday que tratava da relação entre a eletricidade e o magnetismo, interpretados em termos de campos de força, e começou a buscar uma explicação para essa relação. Maxwell logo viu que ela era simples: eletricidade e magnetismo são apenas expressões alternativas dos mesmos fenômenos, um argumento que ele provou ao produzir ondas magnéticas e elétricas intercaladas a partir de uma corrente elétrica oscilante, além disso, ele descobriu que a velocidade dessas ondas seria semelhante à da luz e concluiu que a luz visível normal era, na verdade, uma forma de radiação eletromagnética. Ele

argumentou que as luzes infravermelhas e ultravioletas eram as mesmas e previu a existência de outros tipos de ondas que poderiam ser explicadas da mesma forma.

Maxwell demonstrou matematicamente que estas forças elétricas e magnéticas não se originam das partículas agindo diretamente uma sobre a outra; pelo contrario, cada carga e corrente elétrica cria um campo no espaço circundante que exerce uma força sobre a outra carga e corrente localizada nesse espaço. Ele constatou que um mesmo campo transporta as forças elétricas e magnéticas; portanto, eletricidade e magnetismo são aspectos inseparáveis da mesma força. Ele deu a essa força o nome de força eletromagnética e ao campo que a carrega, campo eletromagnético.

As equações de Maxwell previram que poderiam existir distúrbios semelhantes as ondas no campo eletromagnético que essas ondas se deslocariam a uma velocidade fixa, como as ondulações num lago. Ao calcular essa velocidade, ele constatou que coincidia exatamente com a velocidade da luz! A teoria de Maxwell implicava que as ondas de rádio ou de luz viajariam exatamente a velocidade da luz c . Isto era difícil de conciliar com a teoria de Newton de que não existe um padrão absoluto de repouso, porque, se não existir tal padrão, não poderá existir nenhuma concordância universal sobre a velocidade de um objeto. Para entender o porquê, imagine-se jogando pingue-pongue no trem. Se você lançar a bola em direção à frente do trem com uma velocidade que seu oponente mede e constata ser de dez quilômetros por hora, então você esperaria que um observador na plataforma percebesse a bola movendo-se a cem quilômetros por hora – os dez que ela está se movendo em relação ao trem, mais os noventa a que o trem está se movendo em relação à plataforma. Qual é a velocidade da bola, dez quilômetros por hora ou cem? Como você a define – em relação ao trem ou em relação à terra? Sem um padrão absoluto de repouso, não é possível atribuir à bola uma velocidade absoluta.

Segundo Hawking (2005) seria como dizer que a mesma bola tem qualquer velocidade, dependendo do sistema de referência em que a velocidade é medida. De acordo com a teoria de Newton, o mesmo deve ser válido para a luz. Então, na teoria de Maxwell, quais as implicações de as ondas de luz viajar a uma determinada velocidade fixa? A solução veio de uma direção inesperada. Do físico inglês Michael Faraday, tornou-se cada vez mais claro no século XIX, que o magnetismo e a eletricidade estão interligados entre si de maneira bastante direta. Sabia-se que uma corrente elétrica pode gerar campos magnéticos, e, inversamente, que a alteração de um campo magnético provoca corrente elétrica.

O inglês, James Clerk Maxwell, ofereceu finalmente, a explicação decisiva. Ele montou uma teoria segundo a qual a eletricidade e o magnetismo são dois lados da mesma moeda. Desse modo, a partir de Maxwell, fala-se do eletromagnetismo. Maxwell foi capaz de prever, de forma puramente matemática, que as ondas eletromagnéticas existem. É possível acompanhar seu raciocínio de um modo muito simples. Da mesma maneira que uma corrente elétrica gera um campo magnético um campo elétrico variável no tempo gera um campo magnético variável no tempo. Esse campo magnético variável no tempo gera por sua vez, um campo elétrico variável no tempo e assim por diante. Esses campos variáveis no tempo em seu todo são as ondas eletromagnéticas. Mais ainda, Maxwell obteve um resultado totalmente inesperado. Usando sua teoria matemática, ele calculou a rapidez com que as ondas se propagariam. Qual é a velocidade das ondas eletromagnéticas? Para grande espanto, o valor numérico calculado por ele para a velocidade das ondas eletromagnéticas concordava exatamente com o valor na época já muito bem conhecido, da velocidade da luz. Por esse motivo, era natural concluir que a luz nada mais é do que uma onda eletromagnética. Ou seja, o que oscila no caso da luz são campos elétricos e magnéticos – naturalmente muito, muito pequeno, e o faz exatamente com a frequência de 500 bilhões de vezes por segundo.

Conforme Wolfson (2005), dizemos que uma carga elétrica cria um campo elétrico em todo lugar no espaço, e que uma segunda carga reage ao campo em sua proximidade imediata vamos analisar de maneira mais atenta as duas últimas afirmações sobre o eletromagnetismo, agora reformuladas em função dos campos elétricos e magnéticos:

Uma carga elétrica em movimento cria um campo magnético.

Um campo magnético variável cria um campo elétrico.

Existe alguma coisa vagamente insatisfatória, alguma coisa assimétrica, em relação a essas duas afirmações. Se um campo magnético variável cria campo elétrico variável não poderia criar um campo magnético? Essa pergunta ocorreu ao grande físico James Clark Maxwell.

Ele descobriu que o poderia recuperar a coerência acrescentando um termo “campo elétrico variável”. E foi isso que fez, postulando que seu conjunto modificado de quatro afirmações apresenta uma descrição completa e coerente de todos os fenômenos eletromagnéticos. Na verdade percebeu Maxwell, essa estrutura de campos elétricos e magnéticos que se perpetua não ficaria simplesmente parada em um lugar. Em vez disso, ela se propagaria

através do espaço como uma onda eletromagnética Maxwell não só reconheceu a possibilidade das ondas eletromagnéticas, mas também explorou propriedades delas previstas por suas equações. Entre essas propriedades esta a velocidade das ondas eletromagnéticas, que Maxwell podia calcular facilmente com base em suas equações. A conclusão de Maxwell era inevitável: a própria luz era uma onda eletromagnética! Com um golpe brilhante, Maxwell colocou toda a ciência da óptica sob o teto do eletromagnetismo. Maxwell, primeiro, ele estabelece uma teoria de eletromagnetismo totalmente coerente, expressa de maneira sucinta em quatro equações diferenciais parciais. Então agora, uns sessenta anos depois de o experimento de interferência de Young ter estabelecido que a luz consiste de ondas, Maxwell tem a resposta para nossa pergunta: "ondas de quê? A luz consiste de ondas de eletricidade e magnetismo, ou seja, de ondas eletromagnéticas.

Afirma Gleiser (2006) o primeiro grande feito de Maxwell foi obter uma formulação das leis do eletromagnetismo, se linha de forças eram boas representações para campos, então a cada ponto do espaço deveria estar associado um valor do campo alternativamente, podemos dizer que um campo tem certo valor em cada ponto do espaço. Isso é o que entendemos por leis em formas locais: cada ponto do espaço é associado a um determinado valor do campo.

As equações de Maxwell descreviam o modo como o campo eletromagnético mudava no espaço e no tempo, possuíam informações sobre a velocidade com que esse campo se propagava através do espaço. Ele descobriu-se que o campo eletromagnético se propaga com a velocidade da luz!

2.1 Equações de Maxwell

Segundo Walker (2007, v.3), As quatro equações fundamentais do eletromagnetismo conhecidas como equações de Maxwell. Explicam toda a variedade de fenômeno eletromagnético, desde a razão pela qual a agulha de uma bússola aponta para o norte até o motivo para que um carro entrar em movimento quando girarmos a chave de ignição. Elas constituem a base para o funcionamento de dispositivos eletromagnéticos, como motores,

elétricos transmissores e receptores de televisão, telefones, aparelhos de radar e forno microondas.

Equações de Maxwell

Lei de Gauss para eletricidade:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = q_{\text{env}} / \epsilon_0$$

Relaciona o fluxo elétrico às cargas elétricas envolvidas.

Onde $d\vec{A}$ é a área de um quadrado diferencial numa superfície fechada com uma normal dirigida para fora definindo sua direção, e q_{env} é a carga livre abrangida pela superfície. Em um material linear, é diretamente relacionado ao campo elétrico e uma constante dependente do material chamada permissividade e qualquer material pode ser tratado como linear, desde que o campo elétrico não seja extremamente intenso. A permissividade do espaço livre é referida como ϵ_0 .

Lei de Gauss para o magnetismo:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

Estabelece a ausência de cargas magnéticas.

Esta equação define a inexistência de monopólos magnéticos. A força exercida sobre uma partícula carregada por um campo elétrico e um campo magnético. Semelhantemente à forma integral do campo elétrico, esta equação somente funciona se a integral for calculada sobre uma superfície fechada. Esta equação é relacionada à estrutura do campo magnético porque afirma que àquele dado elemento de volume, a magnitude líquida dos componentes vectoriais que apontam para fora da superfície deve ser igual à magnitude dos componentes vectoriais que apontam para

dentro. Estruturalmente, isto significa que as linhas do campo magnético devem ser linhas (trajetórias) fechadas. Outra maneira de se afirmar isso é que as linhas de campo não podem se originar de outro lugar; tentando seguir as linhas de volta à sua fonte e à posição original. Portanto, esta é a formulação matemática da hipótese de que não há monopólos magnéticos.

Leis de Faraday:

$$\oint \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{S}} = -d\Phi_{\mathbf{B}} / dt$$

Relaciona o campo elétrico induzido à variação do fluxo magnético.

Note o sinal negativo; isto é necessário para manter a conservação da energia. Isto é tão importante que tem seu próprio nome, lei de Lenz. Esta equação relaciona os campos elétrico e magnético, mas isso também tem várias aplicações práticas. Esta equação descreve como motores elétricos e geradores elétricos trabalham. Especificamente, isto demonstra que a "voltagem" pode ser gerada pela variação do fluxo magnético passando através de uma dada área no tempo, tal como acontece com uma espira girando uniformemente através de um campo magnético fixado.

Lei de Ampere – Maxwell:

$$\oint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{S}} = \mu_0 \epsilon_0 d\Phi_{\mathbf{E}} / dt + \mu_0 i_{emv}$$

Relaciona o campo magnético induzido à variação do fluxo elétrico e à corrente envolvida.

Se a densidade de fluxo elétrico não variar muito rapidamente, o segundo termo do membro direito (o fluxo de deslocamento) é desprezível, e a equação se reduz à lei de Ampère.

A partir desta equação Maxwell deduziu-se que uma carga elétrica vibrando produziria um campo magnético ao seu redor. Este campo magnético também seria variável e, desta maneira, induziria um campo elétrico também variável. A repetição deste fenômeno dará como resultado uma onda eletromagnética se propagando pelo espaço. A figura abaixo mostra um

esquema de uma onda eletromagnética com os campos elétricos e magnéticos perpendiculares entre si.

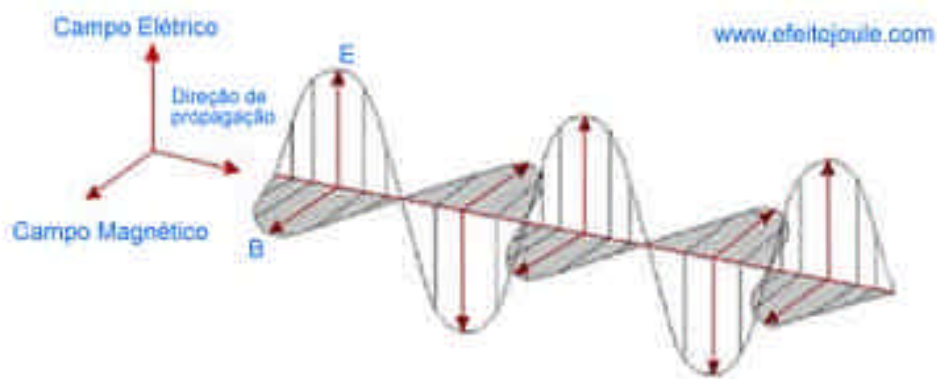


Figura 1. Onda eletromagnética.

Figura retirada da página ([http://es.wikipedia.org/arquivo/Maxwell - experimento](http://es.wikipedia.org/arquivo/Maxwell_-_experimento))

Maxwell demonstrou a natureza da luz como sendo uma vibração do campo eletromagnético se propagando no espaço. As ondas eletromagnéticas não precisam de um meio para se propagar, ou seja, elas também se propagam no vácuo e é assim que a luz do Sol e de outras estrelas pode chegar até nosso planeta. Também são exemplos de ondas eletromagnéticas as ondas de rádio e os raios-X. Maxwell elaborou uma teoria eletromagnética, uma teoria de campos, que uniu a eletricidade, o magnetismo e a óptica. Esta foi a grande contribuição deste grande cientista.

3. O ÉTER

Segundo Zeilinger (2005), uma questão porem permaneceu em aberto por muito tempo. No caso da luz, exatamente o que oscila para lá e para cá quando falamos de onda? No caso das ondas em uma superfície de água, sabemos que é a própria água que oscila para cima e para baixo. E a luz? De esperar que houvesse aqui também uma substância que oscilasse para lá e para cá. Essa substância foi chamada de éter da luz, que caso existisse, teria de possuir algumas propriedades curiosas. O mais intrigante era que o éter da luz aparentemente penetraria em tudo, mas não poderia manifestamente ser percebido por nós. Como poderia existir algo tão estranho como esse éter da luz? Aqui se chamaria a uma resposta totalmente espantosa.

Conforme Tipler (2006.v.1) a existência de um sistema de referencia preferencial que pudesse ser considerado como em repouso foi aceita pela grande maioria dos estudiosos. Esse referencial foi imaginado como o sistema de referencia do éter, o meio que, supostamente, preenchia todo o espaço através do qual a luz pudesse se propagar. O éter foi considerado o sistema de referencia preferencial “em repouso”.

Para conciliar a teoria de Maxwell com as leis de Newton foi sugerida que existiria uma substancia, denominada éter, que estaria presente em todos os lugares, até mesmo no vácuo do espaço “vazio”. A idéia do éter os cientistas que tiveram a impressão de que, qualquer que fosse o caso, assim como as ondas de água precisam de água ou as ondas sonoras do ar, as ondas de energia eletromagnética devem exigir que algum meio o transporte.

Então aqui estamos, no fim do século XIX, com o que parece ser um completo entendimento de todos os aspectos da realidade física. Esse entendimento advém de dois ramos diferentes da física: a mecânica (as leis do movimento) de Newton e o eletromagnetismo de Maxwell, muitos fenômenos, do comportamento dos gases passando pelo o movimento dos

planetas, até as propriedades e propagação do som, tem explicações newtonianas. Os fenômenos eletromagnéticos, incluindo todos os da óptica, vêm das equações de Maxwell. Historicamente, a mecânica de Newton veio primeira, e foi entre 1600 e 1750 que se testemunharam os seus maiores avanços em relação o seu entendimento do universo. O eletromagnetismo veio em seguida, com grande avanço 1750 até quase 1900. Juntos, esses dois ramos diferentes pareciam explicar toda a física.

Mas será que eles realmente explicam toda a física? E suas explicações são consistentes? Lembre-se de que a mecânica newtoniana obedece a um princípio de relatividade – o que significa que as leis de Newton funcionam igualmente bem em qualquer referencial que se move de maneira uniforme. O mesmo pode ser dito sobre as leis de eletromagnetismo de Maxwell? Você agora já tem conhecimento suficiente para levá-lo diretamente para um entendimento do pensamento de Einstein.

Fomos levados ao conceito de éter nos perguntando em relação a que a luz viaja à velocidade c , em qual referencial as leis eletromagnetismo são válidas? As duas questões estão relacionadas porque uma previsão das leis do eletromagnetismo é que deveria haver ondas eletromagnéticas e que elas deveriam se mover à velocidade da luz.

Quando respondemos “o éter” surge à pergunta “em relação a qual meio a luz viaja à velocidade c ”, ou seja, as ondas eletromagnéticas que se move à c é realmente validas apenas em relação ao éter? Observadores movendo-se em um referencial que se move através do éter obterão outra velocidade para luz em relação a eles próprios? No contexto do referencial de observadores moveis com relação ao éter, as predições das equações de Maxwell não serão validas? É por isso que as duas perguntas, uma sobre a velocidade da luz e outra sobre a validade das equações de Maxwell, são essencialmente equivalentes. As equações de Maxwell predizem as ondas eletromagnéticas movendo-se a c , então essas equações só podem ser válidas em um referencial no qual, de fato, c será a medida da velocidade da luz.

Então qual é a resposta à nossa nova pergunta, em qual referencial as equações de Maxwell são válidas? A resposta é óbvia: no contexto dos físicos do século XIX, existe apenas um referencial no qual a previsão de Maxwell sobre as ondas eletromagnéticas é válida, e esse referencial está em repouso no que diz respeito ao éter.

O princípio da relatividade de Galileu, que afirma que as leis de movimento de Newton são válidas em todos os referenciais que se movem uniformemente, então em qual referencial as leis do eletromagnetismo são válidas? Parece que o eletromagnetismo de Maxwell não é válido em qualquer referencial. Em vez disso, as leis do eletromagnetismo deveriam ser válidas apenas em um referencial muito especial um referencial em repouso no que diz respeito ao éter, dito de outra forma as leis de movimento obedecem a um princípio da relatividade mas as leis de eletromagnetismo parecem não fazer isso. Então embora não haja um experimento que possamos fazer com as leis de movimento para responder a pergunta “eu estou me movendo?” deveria haver experimentos eletromagnéticos capazes de responder a essa pergunta. Isto é, o conceito de movimento absoluto não tem sentido para a mecânica, mas aparentemente tem sentido para o eletromagnetismo. Embora não exista um estado de movimento privilegiado para o eletromagnetismo – ou seja, o de estar em repouso em relação ao éter.

Por que a dicotomia? Porque na Mecânica não se importa com os estados de movimento, enquanto, aparentemente, no Eletromagnetismo se importa? Não seria mais simples e mais coerente se os dois ramos da Física obedecerem ao princípio da relatividade? Mas, caso você abandone o éter, então eu o desafio mais uma vez a responder a pergunta “em relação a que a luz se move à velocidade c ? De maneira equivalente em qual referencial as leis de eletromagnetismo são válidas? Se der a mesma resposta para as leis de movimento então terá demonstrado que o forno de microondas deveria funcionar da mesma maneira em todos os estados de movimento. Mas se der essa resposta, vai se vir à beira do abismo filosófico. Isto porque está insistindo em uma aparente contradição: a de que dois observadores diferentes devem ambos, considerar válida a previsão maxwelliana de que as ondas de luz se movem à velocidade c – mesmo se tais observadores estivessem se movendo um em relação ao outro! Segundo os físicos do século XIX, estabelecemos o éter como o meio através do qual as ondas de luz se propagam com a velocidade c , e reconhecemos que as equações de Maxwell de eletromagnetismo só podem ser válidas em um referencial em repouso no que diz respeito ao éter. Então de que maneira a nossa Terra está se movendo em relação ao éter? É óbvio que não estamos nos movendo muito rápido através do éter, porque se estivéssemos veríamos diferenças óbvias na velocidade da luz vindo de diferentes direções, por exemplo, se a Terra estivesse se movendo a 90% de c então a luz das estrelas na qual a terra está se movendo estaria a $1,9 c$ em relação a nós. Mas a luz na direção oposta estaria a $0,1 c$, então, em relação ao éter, em que

medida o movimento da terra é rápido e em que direção ele está? Em primeiro momento parece que a Terra teria que arrastar o éter consigo, mas essa idéia não seria um planeta tão especial, se a Terra arrastar o éter então precisaria mudar o ângulo dos nossos telescópios para observar uma mesma estrela a cada seis meses, em relação ao éter em que direção a Terra está se movendo e qual a velocidade? Os físicos do século XIX tentaram responder através de experimentos, eles procuraram medir o movimento da Terra através do éter.

A mecânica de Newton e o eletromagnetismo de Maxwell parecem explicar todos os fenômenos físicos conferidos. Existe uma dicotomia filosoficamente perturbadora pelo fato de um princípio da relatividade se apoiar na mecânica e não no eletromagnetismo, mas isso não diminui o poder explanatório desses dois grandes ramos da física. A luz é entendida como uma onda eletromagnética, propagando-se com velocidade c através de um meio que permeiam o universo, chamado éter.

Como vamos determinar o movimento da a Terra em relação ao éter? Se a luz se move com velocidade c através do éter, então, como já mencionei antes, os observadores que estão se movendo em relação ao éter deveriam obter outros valores para a velocidade da luz. Assim a maneira mais óbvia de detectar o movimento da Terra através do éter é medir a velocidade da luz e ver se ela concorda com o valor de c previsto com base nas equações de Maxwell em vários estados de movimento.

4. A EXPERIÊNCIA DE MICHELSON-MORLEY

Albert Michelson e Edward Morley realizaram em experimento bem metuculoso e difícil. Eles perceberam que, já que a Terra órbita em torno do sol a uma velocidade de quase 30 quilômetros por segundo, o próprio laboratório deveria estar se movendo através do éter a uma fração relativamente alta da velocidade.

Como a repetição de um experimento em diferentes épocas do ano, quando a Terra se encontrava em diferentes posições ao longo de sua órbita, eles tinham a esperança de levar em conta estes fatos desconhecido. Portanto, Michelson e Morley montaram um experimento para comparar a velocidade da luz medida na direção do movimento da Terra através do éter, com a velocidade da luz em ângulos retos em relação a esse movimento. Para sua grande surpresa, constataram que a velocidade em ambas as direções era exatamente a mesma.

Conforme Wolfson (2005) a velocidade da luz era a paixão de Michelson, ele fez uma série de experimentos, para medir o movimento da Terra em relação ao éter sem ambigüidade, culminante em uma versão de 1887 que até hoje se mantém entre os experimentos mais famosos de toda ciência. Usando, seu aparelho chamado de interferômetro de Michelson ele usa a interferência das ondas de luz para detectar diferenças minúsculas no tempo que a luz leva para percorrer duas trajetórias diferentes, seu aparelho pode medir os tempos menores que o período de oscilações da luz, com esta precisão Michelson sabia que poderia detectar variações na velocidade da luz devidas ao movimento orbital da Terra.

A idéia de Michelson produza um único raio de luz monocromática divide o raio em dois, e mande os raios resultantes em duas trajetórias iguais em ângulos retos. Tal separação é feita por um espelho semi-prateado, também chamado de separador de feixe. Assim apenas metade da luz que o atinge é refletida, enquanto a outra metade o atravessa diretamente. Michelson posicionou seu separador de feixe em um ângulo de 45 graus em relação ao raio de luz original. O resultado demonstra que metade da luz é mandada diretamente para frente e metade

dela é refletida perpendicularmente a sua direção inicial. Os dois raios de luz então percorrem trajetórias de comprimento igual, refletem em espelhos comuns e retornam ao espelho semi-prateado. Mais uma vez, a metade de cada raio é refletida e a metade o atravessa. O aspecto importante é que porções de cada raio se encontram novamente, viajando em direção ao visor no fundo da imagem.

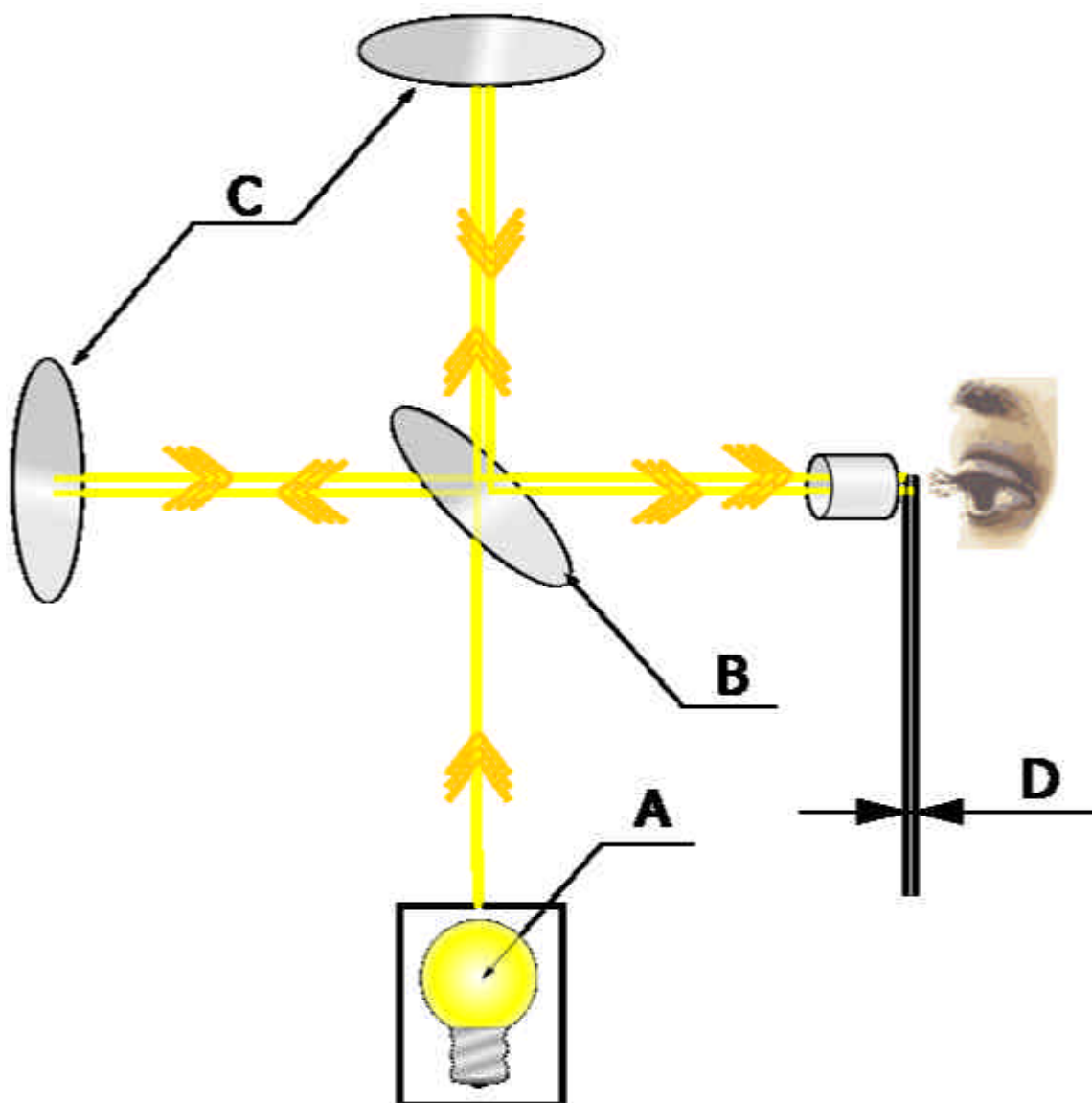


Figura 2. Experimento de Michelson-Morley.

Figura retirada da página ([http://es.wikipedia.org/arquivo:Michelson-Morley_experiment-\(en\).svg#file](http://es.wikipedia.org/arquivo:Michelson-Morley_experiment-(en).svg#file))

A - Fonte de luz monocromática

B - Espelho semirrefletores

C - Espelhos

D - Diferença de caminho.

Se as trajetórias dos raios fossem exatamente iguais, e se não houvesse vento de éter, então os raios retornariam exatamente em cadência e as ondas de luz interferiam. Um observador que estivesse olhando por um visor veria uma luz brilhante. Mas suponha que o vento de éter retardasse um feixe exatamente o bastante para que seus vales se alinhassem com as cristas do outro feixe. Dessa forma teríamos interferência ocasionando o aparecimento de franjas claras e escuras no visor. Isso, em princípio, é a forma para qual o interferômetro de Michelson conseguiria detectar o movimento da Terra através do éter. Michelson trabalhando com Edward Morley, em 1887 realizaram experimento girando lentamente o aparato enquanto um deles dava a volta o outro com o olho no visor. Repetiram o experimento em tempos diferentes, de modo que o laboratório inteiro apresentasse orientação diferente em relação ao vento do éter. E qual foi o resultado? Um terrível fracasso: eles nunca viram nenhuma alteração significativa nas bandas de interferência! Resultado totalmente negativo do experimento Michelson-Morley representa um dos mais importantes resultados experimentais de toda a ciência. Para entender a razão disso, é bom lembrar onde estamos: em 1887, a percepção de que a luz é uma onda eletromagnética, suscita a questão do meio no qual a luz se propaga. A física do século XIX responde a essa questão propondo o éter como o meio para luz e outras ondas eletromagnéticas se propagarem.

E Lorentz demonstrou que, para se manifestarem no éter ondas transversais, o éter haveria de ser infinitamente rígido. Teria de ser não apenas um meio onipresente, através do qual os corpos se movessem sem encontrar resistência, mas, ao mesmo tempo, infinitamente rígido.

Restava desta maneira, a de que o éter se encontrasse em repouso, movendo-se a terra através dele e que, conseqüentemente, o éter fornece o referencial em repouso absoluto necessitado pelas leis newtonianas. Ocorreu que essa proposição seria submetida a rigoroso teste experimental. Isso coube ao experimento de Albert Michelson e que não conseguiu determinar em seu experimento se existia a substância éter.

Em 1895, Lorentz, que também havia chegado a um conceito de contração para explicar o resultado ou não-resultado alcançado por Michelson propôs, uma justificação provisória. Lorentz se havia empenhado no desenvolvimento de uma teoria de forças eletromagnéticas que suplementasse a teoria dos campos, elaborada por Maxwell. Sua idéia básica era a de que a matéria eletricamente carregada opera com fonte dos campos de Maxwell, campos que existiriam no espaço vazio entre as partículas de matéria. Sugeriu-o, em outras palavras, clara distinção

entre a matéria e campos. A seu ver, duas partículas carregadas interagiriam reciprocamente por influência mútua dos recíprocos campos.

Conforme Bernstein (1995) Poderá entender a possibilidade da presumida alteração de dimensões, se tivermos em mente que a forma de um corpo sólido depende das forças que atuam entre suas moléculas e que, com toda probabilidade, essas forças se propagam através do éter, de modo que mais ou menos se assemelha ao de transmissão das ações eletromagnéticas, as atrações e repulsões moleculares sofram alguma alteração em decorrência de uma translação imprimida ao corpo e isso pode concebeivelmente resultar em alteração de suas dimensões.

Através do experimento de Michelson-Morley os resultados continuam a ser zero na observação da velocidade da Terra com relação ao éter. Ao fim Lorentz faz uma síntese da teoria de Einstein “Penso, não o bastante, poder fazer reivindicação em favor da maneira como apresentei a teoria. Não posso encarar o éter, que pode ser a sede de um campo eletromagnético com sua energia e vibrações, senão como dotado de certo grau de substancialidade, por diferente que possa ser da matéria comum”.

O princípio da relatividade é aquele segundo o qual as leis que regem os fenômenos físicos devem ser as mesmas, esteja o observador em repouso ou se deslocando em movimento uniforme, nesse termo, não dispomos e não podemos dispor de quaisquer meios de distinguir entre estarmos ou não estarmos nos deslocando segundo esse movimento.

Faz sentido perguntar sobre o movimento da Terra em relação ao éter. A aberração da luz mostra que Terra não pode estar em repouso em relação ao éter, então ela deve estar se movendo. Experimentos anteriores falharam, mas agora em 1887, aparecem Michelson-Morley com um experimento muito mais sensível do que é necessário para detectar algo que deva existir, ou seja, o movimento da Terra através do éter, no entanto o experimento mostra que tal movimento não acarreta consequência mensuráveis. A Terra esta se movendo através do éter, no entanto o experimento de Michelson-Morley mostra que ela não está. Essa é uma contradição total e abalou os alicerces da física no fim do século XIX.

Segundo Wolfson (2005) São os alicerces da física que estão sendo abalados. Por que esta contradição é profunda? Porque ela diz respeito a uma previsão fundamental e arrebatadora de um dos ramos básicos da física, especialmente, o eletromagnetismo de Maxwell com sua previsão de ondas eletromagnéticas propagando-se à velocidade c . Essa previsão imediatamente enuncia a pergunta. Velocidade c em relação o quê? É na tentativa de responder a essa pergunta

que surge a contradição inerente em Michelson-Morley. Se não podemos resolver essa contradição, então existe alguma coisa drasticamente errada com nosso suposto entendimento da realidade física. O experimento parecia irrepreensível, mas os físicos obtinham resultados negativos. O próprio Michelson concluiu com desapontamento que a Terra deveria estar em repouso em relação ao éter, apesar de cada aparente implicação oposta resultante das observações da luz das estrelas. O físico holandês George Fitzgerald propusera, independentemente um do outro que o éter comprime objetos que se movem através deles, contraindo-os na direção paralela e seu movimento. Essa contração iria reduzir a trajetória alinhada com o vento do éter no experimento de Michelson-Morley e, assim, reduzir o tempo de percurso da luz ao longo dessa trajetória se a contração fosse à medida certa, o efeito iria eliminar as diferenças de tempo nas duas trajetórias e, portanto, explicaria o resultado negativo do experimento. Mas daí surge outra questão: de onde vem esta contradição espacial? A resposta esta problemática toda virá com a Teoria da Relatividade de Einstein.

5. A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

Segundo Bernstein (1995) Para compreender a concepção de Einstein, devemos recordar como a ele se representava a Física, ao fim do século passado. Em termos amplos, dois temas principais se punham no campo da matéria: de um lado, a mecânica newtoniana e, de outro, as equações de Maxwell, que explicavam a eletricidade e o magnetismo.

Na década de 1970, os cientistas enviaram um relógio para voar ao redor da terra em aviões comerciais. Quando o relógio voltou ao seu ponto de partida, ele indicava que havia transcorrido menos tempo do que num relógio semelhante que não havia feito a viagem. E daí? Essa diferença de tempo significa que o relógio viajante havia de algum modo saltado para o futuro, retornando ao seu ponto de partida em um horário que estava á frente daquilo que ele estava marcando. Para o relógio viajante, a diferença representava uns trezentos bilionésimos de segundo. Não era grande coisa!

Mas estamos convencidos de que a mesma idéia iria funcionar em um contexto mais notável permitindo que a gente pulasse na direção do futuro distante. O cenário seria o seguinte: você e eu que temos mais ou menos a mesma idade construímos juntos uma espaçonave de alta tecnologia, capaz de viajar quase á velocidade da luz. Você embarca na nave e sai zunindo para alguma estrela que esteja nas proximidades de nossa galáxia e volta. No que diz respeito a você a viagem leva alguns dias. Mas ao voltar você me encontra 20 anos mais velhos do que quando partiu. Você pega um jornal, e a data é de 20 anos depois de sua partida, você olha a seu redor e vê que a terra e toda a humanidade avançaram vinte anos durante sua viagem de vários dias. De alguma maneira, você assim como o relógio atômico, saltou para o futuro. Dessa vez, o salto não é desprazível fração de segundos, mas uma quantidade de tempo da existência humana. Leva esta espaçonave mais longe ainda e quando voltar vai descobrir que estão uns 60 mil anos no futuro. Que pena, não dá para voltar pelo menos não com essa forma de viagem no tempo. Se você não

gostar daquilo que vir a milhares de anos no futuro, ou você se acomoda ou então pula mais ainda no futuro adentro.

Você está em um cruzeiro navegando de maneira firme e segura através das águas calmas. Você está jogando tênis na quadra interna do navio. De que maneira o movimento do navio afeta seu jogo? Quando a bola aproxima de sua raquete, você sente o movimento do navio e ajusta sua batida de acordo com ele? Ela tem de ajustar a jogada dele de maneira diferente da sua? A resposta a todas essas perguntas é um óbvio não. Seu jogo no navio transcorre de maneira que aconteceria na terra.

Eis algo mais simples do que rebater numa bola antes que ela toque o chão em uma partida de tênis: suponha que você esteja em pé no chão, em um lugar sem vento, e jogar a bola sobre, diminui a velocidade para momentaneamente e em seguida cai direto em sua mão. Agora tente a mesma coisa naquela quadra interna do navio.

Mais uma vez a bola sobe e cai logo depois. O fato de o navio estar se movendo não importa nem um pouco. Cansado do tênis, você vai até um forno microondas para aquecer uma xícara de chá, e agora tem que ajustar a potência porque a microonda se comporta de maneira diferente do que ocorreria se estivessem no solo? Claro que não. O forno, assim como a bola de tênis comporta-se da mesma maneira tanto no navio em movimento como em terra firme.

Imagine agora você está em uma colônia espacial em Vênus, que naquele ponto de sua órbita está se movendo a cinquenta quilômetros por segundo em relação a terra, e a gravidade de Vênus tem essencialmente a mesma força que a da terra. Você entra no centro recreativo da colônia para jogar tênis. Quando vai sacar você precisa levar em consideração o fato de que toda a quadra está se movendo a 50 km/s? Como seria possível para você compensar essa velocidade? A resposta é que o jogo de tênis em Vênus acontece exatamente como aconteceria na terra. O movimento de Vênus é irrelevante.

Talvez até mesmo 50 km/s não seja muito rápido. Então agora imagine que você é um ser humanóide em um planeta semelhante á terra, em uma galáxia distante afastando-se da terra a 80% da velocidade da luz, mais uma vez, voce joga tênis. Logo que começa a jogar, você pensa no fato de que esta se afastando e faz uma tentativa desesperançada de compensar esse movimento colossal? É claro que não!

Todos esses três exemplos, do navio, de Vênus e da galáxia distante, exemplificam um ponto que faz sentido perfeitamente: a física do universo funciona da mesma maneira em

qualquer lugar. Desce um modo, as leis da física são as mesmas em todo lugar. Não existe um lugar especial ou preferencial onde as leis da física estariam corretas e outros em que precisariam ser modificadas.

Essa idéia de que o movimento não importa em algum sentido absoluto remonta a Galileu e Isaac Newton, que foram os primeiros a formular leis quantitativas que descrevem a maneira pela quais os objetos se movem. Mas a idéia encontrou sua completa realização com Albert Einstein, cuja teoria da relatividade se baseia na simples afirmação de que o movimento não importa, isto é, as leis que governam a realidade física são exatamente as mesmas, quer num planeta distante que se afasta rapidamente da terra, quer aqui mesmo.

O que a relatividade dizia respeito desse e de qualquer outro experimento científico é que experimentos idênticos realizados por observadores inerciais em diferentes estados de movimento terão os mesmos resultados. Foi por isso que coloquei a quadra de tênis em Vênus e em um planeta semelhante à Terra em uma galáxia distante, desse modo a gravidade era a mesma na bola para que ela fosse para a quadra de sua oponente. Em Júpiter, ou na lua seu jogo teria sido um pouco diferente devido à gravidade mais forte ou mais fraca, mas essencialmente você poderia ter inferido as mesmas leis físicas subjacentes.

A teoria da relatividade especial de Einstein mostrou como observadores em movimento relativo com velocidade constante podem comparar suas medidas de distâncias e de intervalos de tempo. Os dois postulados da teoria garantem que as distâncias numa estrutura que incorpora espaço e tempo são preservadas sob os movimentos relativos.

Entre 1887 e 1905, houve várias tentativas de salvar a teoria do éter. A mais incrível foi a do físico holandês Hendrick Lorentz, que tentou explicar o resultado do experimento Michelson-Morley objetos se contraindo e relógios desacelerando quando eles se moviam através do éter.

O postulado fundamental de Einstein da teoria da relatividade, como foi chamado, declarava que as leis da ciência deveriam ser as mesmas para todos os observadores inerciais que estivessem se movimentando livremente, não importando qual fosse a sua velocidade.

Isto era verdadeiro para leis do movimento de Newton, mas agora, Einstein ampliava o postulado para incluir a teoria de Maxwell. Em outras palavras, já que a teoria de Maxwell implica que a velocidade da luz tenha um dado valor, todos os observadores em livres

movimentações devem medir esse mesmo valor, não importando com que rapidez esteja se movendo em direção á sua fonte ou se afastando dela.

Na relatividade, não existe necessidade de introduzir a idéia de um éter, cuja presença, como mostrou experimento Michelson-Morley, não pode ser detectada. Em vez disso, a teoria da relatividade nos força a mudar fundamentalmente nossas idéias de espaço e tempo. Precisamos aceitar que o tempo não está inteiramente separado e independente de espaço, e sim combinado com ele para formar um objeto único chamado espaço-tempo. No espaço-tempo da relatividade, qualquer evento pode ser especificado por quatro números ou coordenado.

As leis da mecânica newtoniana são invariantes no sentido exigido quando estão em jogo às transformações galileanas de coordenadas. Mas as leis do eletromagnetismo não são invariantes sob essas transformações: só permanecem invariantes em referencias inerciais se for empregado um conjunto inteiramente distinto de transformação. As transformações fisicamente mais importantes nesse conjunto são as de Lorentz. Foi necessária a extraordinária acuidade de Einstein para compreender que as leis mais fundamentais eram as eletromagnéticas, não as da mecânica, e que, portanto as transformações de Lorentz eram as corretas. Toda a relatividade especial, como (Russell, 2005) “observa com acerto, decorre da investigação de quais propriedades a cinemática e a mecânica deve ter (como elas devem ser reescrita) se as transformações de Lorentz forem válidas. O caráter absoluto da classe dos referenciais inerciais juntamente com as transformações de Lorentz nos obriga a submeter o modo como concebemos a uma revisão fundamental dos conceitos absolutos de espaço e tempo”.

A mais notável das correções a fazer é admitir que espaço e tempo não sejam mais ontologicamente independentes, não podem ser compreendidos como entidades separadas, devendo ser consideradas como uma única entidade, o espaço-tempo, cuja geometria não pode ser euclidiana, ou seja, a separação de eventos distintos no espaço-tempo não é dada pelo teorema de Pitágoras. Ademais, como conseqüências das transformações de Lorentz, essa separação no espaço-tempo é uma invariante, ou seja, uma grandeza independente do referencial inercial adotado, é isso que induz o fenômeno, à primeira vista estranho, da dilatação do tempo e da contração do comprimento, bem como o da dependência da simultaneidade em relação ao diferencial.

Há algumas provas diretas da dilatação do tempo, mas chegamos a elas de uma maneira diferente. Essas provas vêm de observações dos raios cósmicos, que consistem numa variedade de partículas atômicas que provêm do espaço sideral e se movem muito rapidamente através da atmosfera da Terra. Algumas dessas partículas, chamadas mésons, desintegram-se na trajetória, e essa desintegração pode ser observada. Verifica-se que, quanto mais rapidamente um méson se move, mais tempo ele leva para se desintegrar do ponto de vista de um cientista na Terra. Resultados desse tipo revelam que as medidas que fazemos com relógios e réguas, e que costumavam ser considerado o supra-sumo da ciência impessoal, na realidade dependem em parte de nossas circunstâncias pessoais, isto é da maneira como estávamos nos movendo em relação aos fenômenos observados.

Segundo ele, quando um corpo está em movimento, ele é encurtado na direção do movimento em certa proporção que depende de sua velocidade. A medida de construção deveria ser suficiente para explicar o resultado negativo do experimento Michelson-Morley. O encurtamento nunca poderia, é claro, ser detectado por medição, porque as réguas que usamos para medi-lo sofreriam o mesmo efeito.

Segundo Bernstein (1995) É interessante assinalar que o passo seguinte, de significação para a teoria da relatividade, não foi dado por Einstein, mais por seu velho professor na Universidade de Zurique, Hermann Minkowski, matemático russo-alemão, nascido em 1864 e falecido em 1909. Minkowski, que pouco se lembrava de Einstein como aluno, havia-se transferido para a Universidade de Gottingen, que era na ocasião e foi por muitos anos a capital matemática do mundo. È a formulação dada por Minkowski à teoria espacial da relatividade que, de modo geral, hoje se ensina e isso em grande razão de simplicidade formal e elegância matemática. Por este tempo, Einstein continuava alérgico a matemática pura e durante vários anos deixou de demonstrar qualquer particular interesse pela “visão quadridimensional do mundo”, proposta por Minkowski. Somente quando chegou formulação final de sua teoria da gravitação aperfeiçoada generalização da obra de Minkowski, é que Einstein mostrou se capaz de aperfeiçoar-lhe a significação formal. “O não matemático” principia Einstein, “é tomado de misterioso pavor quando ouve falar de coisas de quatro dimensões e experimenta sensação que não difere da despertada por pensamentos em torno do oculto. Acrescenta porem, “contudo não há enunciado mais trivial que dizer que mundo onde vivemos é um contínuo espaço-tempo quadridimensional”. Tratar-se ou não de um enunciado trivial depende dos círculos que

freqüentamos. O que Einstein pretende indubitavelmente significar é que, inconscientemente admitimos uma descrição quadrimencional dos acontecimentos sem nos darmos conta do que estamos fazendo. Quando concordamos em nos encontramos com alguém, a determinada hora, em determinado lugar, estamos fazendo um pronunciamento quadrimencional, pois o lugar pode, falando com precisão ser especificado por três coordenadas espaciais, x,y,z aparecendo mais o tempo t quarta coordenada ou “dimensão”. Conseqüentemente, em seu todo o lugar do encontro no espaço-tempo é especificado pelo que os matemáticos chamam vetor quadrimencional. Nada do que se diz tem qualquer coisa a ver com a teoria da relatividade, pois a mecânica newtoniana pode ser formulada em quatro dimensões apenas não interessado assim agir. A razão esta em que, na física newtoniana, o tempo é “absoluto” e sua medida não depende do sistema de referencia em movimento uniforme, do sistema inercial, de que façamos uso em nossa descrição. Conseqüentemente as equações das transformações que na física newtoniana levam de um a outro sistema inercial de referencia são apenas interessantes para dimensão tridimensionais; a quarta equação diz simplesmente que o tempo e o sistema são idênticos ao tempo medido em termo de qualquer outro sistema inercial.

Einstein descobriu a hipótese era correta em certo sentido, a suposta contração não é um fato físico, mas o resultado de certas convenções de medições que, depois que se chega ao ponto de vista correto, parece ser adoção obrigatória.

Quando as pessoas diziam que o espaço tem três dimensões, tinha em mente exatamente isto: que precisávamos de três quantidades para especificar a posição de um ponto no espaço, embora o método para especificar a posição de um ponto no espaço, embora o método para determinar essas quantidades fosse inteiramente arbitrário. Em particular, considerava-se que os métodos de determinar posições no espaço e o de determinar posições no tempo podiam ser tratados como inteiramente independentes entre si. Por essas razões, o tempo e o espaço eram considerados inteiramente distintos.

A teoria da relatividade mudou isso. Existem agora várias maneiras de determinar posições no tempo, que não diferem apenas quanto à unidade e a ponto de partida. Na realidade, um evento é simultâneo a outro num referencial pode precedê-lo, num terceiro. Além disso, as medições de espaço e tempo não são mais independentes uma da outra. Se você alterar o modo de medir a posição no espaço, poderá alterar também o intervalo de tempo entre dois eventos. Se alterar a maneira de medir o tempo, poderá alterar a distância no espaço entre dois eventos.

Assim, espaço e tempo não são mais independentes do que o são as três dimensões do espaço. Continuamos precisando de quatro quantidades para determinar a posição de um evento, mas não podemos, como antes, isolar a quarta como completamente independente das outras três.

Os paradoxos da teoria da relatividade especial só são paradoxos porque não estamos acostumados a seu ponto de vista e temos o hábito de tomar certas coisas como líquidas e certas sem termos o direito de fazê-lo.

Segundo Aragão (2006) em 1905 Einstein resolveu completamente as contradições apresentadas por Michelson e Morley e as de outras tentativas de responder à questão do movimento da Terra. Esse trabalho era a teoria da relatividade, sim, em conteúdo não no título, em vez disso, o título era “sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento.” Este título enfatizar a estreita conexão entre eletromagnetismo e relatividade.

A relatividade nasceu das contradições que surgiram da revelação de Maxwell de que se propagam a “velocidade c relação a quê?” era uma decorrência direta. A resposta do século XIX, o éter, levava então a pergunta sobre o movimento da Terra. Lembre-se de que também levava a uma desconcertante dicotomia, na qual um dos ramos da física, a mecânica de Newton, obedece ao princípio da relatividade, o que significa que as leis da mecânica são válidas em todos referenciais que se movem de maneira uniforme. Mas o outro ramo, o eletromagnetismo de Maxwell, parecia ser válido apenas no referencial do éter, e portanto, não obedecia ao princípio da relatividade. A resolução de Einstein era, ao mesmo tempo, conservadora radical e profundamente simples. Ela afirmava, em uma breve sentença chamada de princípio da relatividade: as leis da física são as mesmas em todos os referenciais que se movem de maneira uniforme entre si.

Ela é conservadora porque afirma em relação ao eletromagnetismo o que se sabia havia século sobre mecânica, ou seja, que não existe um estado de movimento que seja favorecido, nem um referencial privilegiado. Há uma forte relação como princípio da relatividade de Galileu, pois a afirmação de Einstein é idêntica, a não ser pelo fato de a expressão “lei de movimento” tornar-se generalizada em “leis da física” Então, nesse sentido, a relatividade de Einstein não tem nada de novo. É apenas uma generalização da relatividade de Galileu para toda a física, incluindo ao eletromagnetismo. A relatividade de Einstein é claramente simples, aposta em sua totalidade em

apenas uma sentença breve, mas ela também é radical. Tudo se baseia no fato de que não há estado de movimento privilegiado para descrever a realidade física.

A relatividade de Einstein de 1905 é a teoria especial ou restrita. A palavra “especial” aqui não significa que teoria seja especialmente grandiosa e admirável, mas é usada no sentido de ser específico. A relatividade especial está limitada ao caso especial dos referenciais em movimento uniforme. Ele afirma que todas as leis da física são as mesmas em todos os referenciais com movimento relativo uniforme. Entre as leis da física estão as equações de eletromagnetismo de Maxwell. Essas equações levam a previsão de que devam existir ondas eletromagnéticas e que tais ondas devam se propagar a uma velocidade específica, a velocidade da luz c deve ser a mesma em todos os referenciais inerciais. Mas como? Os físicos do século XIX afundaram-se no éter tentando responder a essa pergunta um sucesso. Mas o princípio da relatividade fornece uma resposta simples pelo fato de a medição sobre as ondas eletromagnéticas que se propagam em velocidade c quando medidas em qualquer referencial com movimento uniforme.

Existe uma implicação perturbadora na afirmação da relatividade no que diz respeito á velocidade da luz. Os observadores em diferentes referenciais obteriam o mesmo valor para a velocidade da luz, mesmo se um estivesse se movendo em relação ao outro. Isso significa que você e eu, medindo a velocidade da luz, obtemos a mesma resposta mesmo se eu estiver em repouso na terra e você estiver passando correndo em um carro, ou avião, ou em um foguete a alta velocidade. É a afirmação da invariância da velocidade da luz, até mesmo para observadores que estão se movendo um em relação ao outro, resulta nada mais, do princípio da relatividade aplicado as leis do eletromagnetismo com sua previsão de ondas eletromagnéticas movendo-se à velocidade c , e a invariância da velocidade da luz será uma decorrência. Se você aceita o princípio da relatividade então são apenas dois passos até a invariância de c : (1) as leis do eletromagnetismo prevêm que as ondas eletromagnéticas se movem na velocidade c no vácuo, e (2) as leis da física são válidas em todos os referenciais. Assim, a conclusão de que as ondas eletromagnéticas se movem com velocidade c devem ser válida em todos os referenciais. Da invariância da velocidade da luz decorrem os muitos resultados aparentemente contra-intuitivos da relatividade especial.

Conforme Tipler (2006 v.1) não pode haver as marcações em um sistema de referencias e não alinhadas com as marcações em outro sistema de referencias. Existe apenas uma face de relógio e um conjunto de marcas. Essa conclusão pode ser generalizada em um princípio: Se dois eventos ocorrem num mesmo tempo e no mesmo local em um sistema de referencia, então eles ocorrem ao mesmo tempo e no mesmo local em relação a todos os sistemas de referencias.

Porque a invariância da velocidade da luz leva diretamente ao que pareciam ser conclusões impossíveis. A relatividade trata essencialmente da ausência de qualquer referencial privilegiado no universo físico, e todas as estranhas conclusões que tiraremos dessa idéia. A invariância da velocidade da luz é apenas uma das muitas conseqüências do princípio da relatividade como exemplo você pode estar em pé á beira de uma estrada, um semáforo a certa distância emite um pulso de luz, uma amiga sua passando de carro a uns 100km/h, indo na direção do semáforo, foi dado a sua amiga um metro perfeito, e um cronômetro perfeito, idênticos os seus. Sua amiga usa exatamente a mesma técnica experimental exatamente no mesmo pulso de luz, para determinar a velocidade de pulso. E o que ela descobre? Pelo fato de ela estar rumando na direção do semáforo, poderia você achar que ela iria obter uma velocidade ligeiramente mais alta do que os seus 299.792.458m/s, mais a resposta é a mesma os dois encontram a mesma velocidade para a luz. Num outro exemplo podemos mostrar mais dois observadores, o primeiro em um avião a jato voando a 970 km/h e outro em um foguete que se move em direção ao semáforo à metade da velocidade da luz certamente o astronauta no foguete vê a luz se aproximando a $15c$. Mas não! Esse resultado seria incoerente com a relatividade pela razão que o seria para o motorista do carro, você sua amiga, o piloto do avião e o astronauta estão todos em movimento uniforme e, portanto as leis da física são igualmente válidas para todos vocês.

Nenhum de vocês, incluindo você que esta em pé na calçada, pode afirmar, em qualquer sentido absoluto, estar em repouso. Nenhum de vocês pode afirmar que as leis da física estão corretas apenas para vocês, e uma conseqüência é que todos vocês vão obter exatamente o mesmo valor para a velocidade da luz, pois as leis da física são as mesmas para todos os observadores em movimento uniforme.

Mas como isso é possível, tendo em vista que diferentes grupos de instrumentos estão se movendo uns em relação aos outros? Não se trata dizer que os instrumentos estão “errados”, mas

algo muito mais profundo. É a natureza do tempo e do espaço que terão revistos na relatividade. Tempo e espaço não são absolutos, mas relativos ao estado de movimento do observador. As medidas de intervalos de tempo e distância espaciais são simplesmente diferentes em referenciais diferentes. E é claro, ninguém pode afirmar ter as medidas certas; todos os referenciais em movimento uniforme são perfeitamente aceitáveis pra ser fazer medições válidas de espaço e de tempo. São as diferenças nas medidas do espaço e do tempo quando se muda de um referencial para o outro que garantem os observadores obtenham exatamente o mesmo valor para a velocidade da luz.

Como exatamente as medidas de tempo diferem em referenciais distintos? Primeiro preciso esclarecer a idéia de um evento. Os eventos têm um papel importante na relatividade, por que envolve tanto o tempo quanto o espaço. Um evento é uma ocorrência qualquer, alguma coisa que acontece em um lugar e tempo específicos. Seu nascimento é um evento; ele ocorreu em algum lugar e em algum tempo. Ler este parágrafo é outro evento; ele também está acontecendo em algum lugar e em algum tempo.

Agora vou convencer você de que o intervalo de tempo entre dois eventos não pode ser o mesmo para dois observadores em movimento um em relação ao outro. O argumento que vou usar baseia-se firmemente no princípio da relatividade e suas conseqüências, a invariância da velocidade da luz. O exemplo pode ser, existe uma caixa retangular com uma fonte de luz em uma das extremidades e um espelho na outra. Um rápido pulso de luz sai da fonte, vamos chamar essa ocorrência de evento A, a partido do pulso de luz da fonte, a luz percorre a caixa, atinge o espelho, reflete e retornar para a origem, chamaremos de evento B o retorno da luz à fonte, isto é o evento B é completamente especificado pela afirmação de que ele ocorre no fundo da caixa no instante em que o pulso de luz atinge aquele lugar. O trajeto de ida e volta da luz leva algum tempo, que é o tempo entre o evento A e B quando medidos em um referencial em repouso com relação a caixa. Precisamos desses esclarecimentos por que o tempo entre dois eventos não é absoluto, mas depende do referencial. Poderia facilmente calcular o tempo entre os dois eventos se soubesse o comprimento da caixa, vamos chamar esse comprimento de L. Então a luz percorre uma distância total de duas vezes L, por que seu trajeto é de ida e volta. Como a velocidade da luz é c sabemos a distância e a velocidade, é simples calcular o tempo.

O tempo entre dois eventos é mais curto quando medido em um referencial no qual dos dois eventos ocorrem no mesmo lugar. As medidas de tempo entre eventos não precisam ser as mesmas em dois referenciais em movimento relativo, em especial, observadores em dois referenciais diferentes medem intervalos de tempo diferentes entre os mesmos: dois eventos com o tempo mais curto medido por um observador para quem os dois eventos ocorrem no mesmo lugar. Embora tenha passado bastante tempo explicando essa questão, ela decorre diretamente do princípio da relatividade e sua consequência, a invariância da velocidade da luz. Se você aceita o princípio da relatividade e sua consequência, então não pode logicamente escapar dessa conclusão a respeito da relatividade do tempo.

5.1 Dilatação Temporal

Mas será que esse novo e estranho comportamento do tempo, representando quantitativamente na fórmula de dilatação do tempo, é de alguma forma relevante para alguma coisa? Podemos encontrar ou imaginar situações nas quais ela ocorra e seja importante ou será que tudo isso é apenas um exercício acadêmico? Como demonstraram os exemplos podemos esperar efeitos de dilatação de tempo óbvios apenas quando as velocidades relativas forem muito altas, próximas à velocidade da luz. Poderíamos detectar a dilatação do tempo em velocidades relativas menores, mas somente com experimentos bastante sensíveis. Mas velocidades relativas do cotidiano, incluindo as do avião a jato, e mesmo da espaçonave dos dias atuais, a dilatação do tempo é simplesmente pequena demais para que possamos percebê-la diretamente.

Ainda assim, a dilatação do tempo de fato ocorre e é mensurável. O efeito aparece novamente em experimentos que envolvem partículas subatômicas que se movem, em relação à Terra, a velocidades próximas a c . Como afirmado ela já foi medida até mesmo em relógio voando ao redor da terra em um avião comum, embora nesse caso o efeito seja mínimo. Podemos imaginar um futuro com viagens espaciais em alta velocidade, nas quais observadores na Terra e os passageiros dentro da nave espacial obteriam medições muito diferentes de tempo entre os mesmos eventos.

Suponha que temos uma espaçonave capaz de viajar, em relação à Terra, a 80% da velocidade da luz e que você preparou para visitar uma estrela a 20 anos-luz da terra, medido no

referencial da Terra. Vamos assumir que a Terra e a estrela estão essencialmente em repouso uma em relação a outra, que chamarei de referencial terra-estrela. Vamos supor que haja relógios idênticos situados na Terra, na estrela e na espaçonave, e que os relógios da Terra e da estrela estão sincronizados, o que significa que os dois marcam o mesmo tempo no mesmo instante.

Quanto tempo leva uma viagem estelar? Para o referencial terra-estrela, a resposta é fácil: sabemos a distância entre a terra e a estrela, 20 anos-luz e sabemos a velocidade.

Portanto tempo = distância / velocidade então o tempo da viagem medido no referencial terra-estrela é: $t=d/v$

$$t = 20/0,8 = 25 \text{ anos}$$

Isso faz sentido? Se a nave estivesse se deslocando a velocidade da luz, ela levaria exatamente vinte anos para fazer a viagem de 20 anos-luz. Ela viajou um pouco mais devagar então a viagem demoraria um pouco mais. Se todos os relógios estiverem marcando **O** quando a nave parte, então nossa resposta para t mostra que os relógios da Terra e da estrela vão marcar 25 anos quando a nave chegar à estrela.

E quanto o relógio da nave? Esse é um relógio o qual os dois eventos de interesse ocorrem no mesmo lugar. A fórmula da dilatação do tempo que se aplica tanto para esse relógio de nossa nave então pode calcular o tempo t' que é obtido na nave:

$$t' = t \cdot \sqrt{1 - V^2}$$

$$t' = 25 \cdot \sqrt{1 - (0,8)^2}$$

$$t' = 25 \cdot \sqrt{1 - 0,64}$$

$$t' = 25 \cdot \sqrt{0,36}$$

$$t' = 25 \cdot 0,6$$

$$t' = 15 \text{ anos}$$

No referencial terra-estrela o tempo entre a partida e a chegada da nave é de 25 anos. No referencial da nave são apenas 15 anos, essa conclusão deriva do princípio da relatividade. Mas o que ela significa além do fato de o relógio da nave parecer “andar devagar” quando comparado aos relógios da Terra e da estrela? Em especial, o que acontece com você enquanto viaja na nave? Não se trata somente de o relógio da nave marcar 15 anos, é que no referencial da nave, apenas 15 anos de tempo se passaram entre a partida da terra e a chegada à estrela, para você em sua espaçonave tudo parece perfeitamente normal. Aplicamos a idéia de dilatação do tempo, a idéia de que o tempo entre dois eventos iguais é diferente quando medido em referenciais em movimento relativo. Como pode a espaçonave sair da Terra e chegar a estrela em apenas 15 anos? Afinal, se a distância é 20 anos-luz então até a luz levaria 20 anos e nenhum objeto material pode se mover mais rápido do que a luz. Então como pode a espaçonave chegar a estrela em apenas 15 anos? A resposta está no fato de as medidas de espaço assim como as de tempo, serem diferentes em referenciais diferentes. Vamos analisar a situação de seu ponto de vista enquanto você esta dentro da espaçonave você se encontra em um referencial perfeitamente adequado para estudar física, de forma que a fórmula elementar $d = v.t$ funciona perfeitamente para você. Assim, a distância percorrida por você da terra a estrela deve ser: $d' = 0,8.15 = 12$ anos luz para você na espaçonave, a distância terra-estrela é de 20 anos-luz o que esta incomodando é que algo que você achava objetivamente real e absoluto, ou seja, a distância entre dois objetos, assim como as medidas de tempo, as medidas de espaço também dependem do referencial em questão, a distância de 12 anos-luz no referencial da nave é exatamente 60% do valor de 20 anos-luz que a distância terá estrela apresenta no referencial terra-estrela. Esses 60% são apenas o fator relativístico $\sqrt{1 - V^2}$ que calculamos para a dilatação do tempo com $V = 0,8c$ se a distância entre dois objetos é d em um referencial no qual os dois estão em repouso, então, em um referencial em movimento na velocidade V em relação aos objetos, a distância irá se contrair por esse mesmo fator.

Pagina retirada (<http://es.wikipedia.org>) Vamos utilizar um exemplo clássico para estudar a dilatação do tempo. Um observador A e outro observador B que está dentro do bonde, estão equipados de relógios. Dentro do bonde existe um dispositivo C capaz de emitir Luz e detectá-la, acima deste dispositivo está um espelho que reflete os raios emitidos por C. Assim,

um raio emitido pelo dispositivo C é refletido no espelho e volta para C onde é detectado, permitindo então, o cálculo do tempo de percurso Δt .

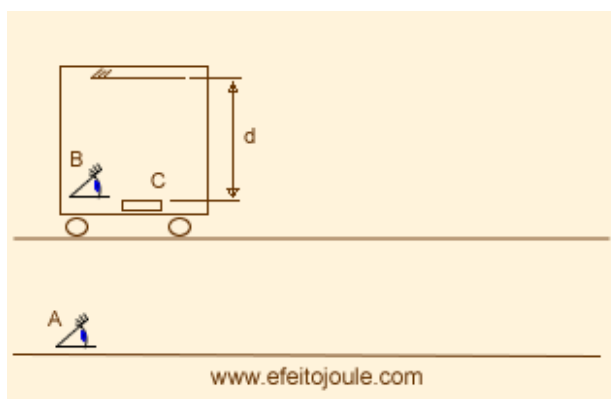


Figura 3. Observador S' acionando uma fonte de luz.

Os dois observadores medem o mesmo valor para o intervalo de tempo $\Delta t = 2d/c$, onde $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$.

Imagine agora que o bonde tem movimento retilíneo e uniforme, com velocidade igual a u relativa ao observador A em repouso no solo.

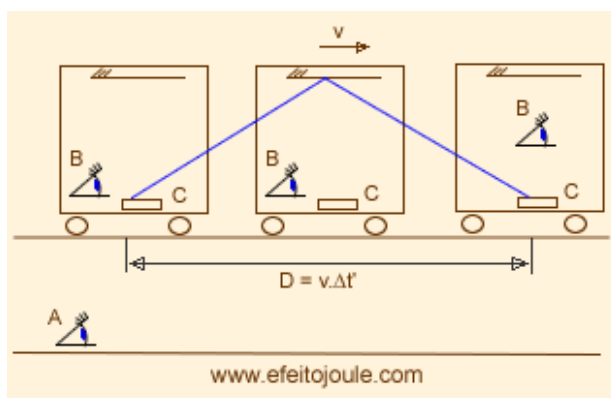


Figura 4. Representando o trajeto da luz.

O observador B mediu o mesmo intervalo de tempo do primeiro teste, mas o observador A medirá um intervalo de tempo $\Delta t'$ diferente do anterior, pois para ele o raio de luz percorreu uma distância diferente da anterior. Observem a distância percorrida pelo raio de luz:

A partir do qual, podemos deduzir o tempo $\Delta t'$:

$$\Delta S = 2\sqrt{d^2 + \left(\frac{v\Delta t'}{2}\right)^2} \text{ então: } \Delta t' = \frac{\Delta S}{c}$$

$$\Delta t' = \frac{2}{c}\sqrt{d^2 + \left(\frac{v\Delta t'}{2}\right)^2} \therefore \Delta t' = \frac{2d/c}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Podemos chamar a divisão de 1 pelo denominador da equação, de gama.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Segundo Sampaio (2003) a resolução das fórmulas um observador S' aciona uma fonte de luz com ilustra a figura 5 que emite um pulso para cima. Esse pulso é refletido por um espelho e volta para a fonte. Para o observador S' , na ida e na volta o pulso de luz gasta um intervalo de tempo $\Delta t'$.

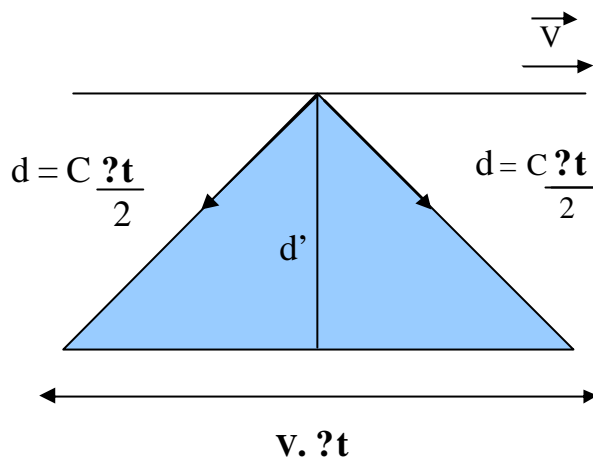


Figura 5. Representando o trajeto da luz.

Na figura 4 representa o trajeto da luz como é visto pelo observador S, o qual mede um tempo Δt . Nesse intervalo de tempo, para o observador S o deslocamento do corpo é igual a $V \cdot \Delta t$ enquanto o deslocamento da luz foi $2d = c \cdot \Delta t$ pois a velocidade da luz é a mesma para os dois observadores, temos:

$$2 d' = c \cdot \Delta t' \longrightarrow \Delta t' = \frac{2d'}{c}$$

$$2 d = c \cdot \Delta t \longrightarrow \Delta t = \frac{2d}{c}$$

Como $d' < d$ temos: $\Delta t' < \Delta t$

Daí conclui-se que um relógio que está em um referencial que se move em relação a outro parado anda mais devagar. Aplicando o teorema de Pitágoras pode-se relacionar Δt com $\Delta t'$ através do triângulo retângulo

5.2 Contração Espacial e o paradoxo dos Gêmeos

Será que vou mesmo envelhecer mais devagar, ou isso é algo que acontece nos relógios dos físicos? Para que essa contração de comprimento ocorra, a movimento relativo precisa estar junto a uma linha entre os dois objetos. Se o movimento é perpendicular a essa linha, então não existe contração: se ele for a ângulo, então o fator de contração esta em algum lugar entre eles. Os observadores em referenciais diferentes vão medir comprimentos diferentes para um objeto, e todos estarão corretos. Medidas de espaço e de tempo simplesmente não são absolutas. Um objeto é mais comprido em um referencial no qual ele esteja em repouso e mais curto em outro referencial no qual ele se move quando ele é mais curto depende da velocidade em que se está em relação ao objeto, como se vê na fórmula anterior.

A fórmula de contração do comprimento $d' = d \cdot \sqrt{1 - V^2/c^2}$ é precisamente a solução que Lorentz e Fitzgerald propuseram no fim do século XVIII para resolver o dilema do experimento Michelson-Morley se o aparelho Michelson-Morley se contraísse nessa quantidade na direção de seu movimento através do éter então os tempos de percurso para a luz ao longo dos dois braços do aparelho continuariam o mesmo, e isto explicaria o resultado negativo do experimento de Michelson-Morley.

Uma viagem de ida e volta a uma estrela nos leva a um dos mais famosos resultados da relatividade especial, o chamado paradoxo dos gêmeos. Mais uma vez temos a mesma viagem a uma estrela que fica a 20 anos-luz de distância, medida no referencial terra – estrela. Sua irmã gêmea fica na Terra. Ao chegar à estrela, você imediatamente da meia-volta e parte para a terra, novamente a $0,8c$. Você aterrissa, sai da nave e cumprimenta sua irmã. Como está sua idade comparada à dela? A fórmula da dilatação do tempo se aplica tanto à viagem de volta, que concluímos levar quinze anos no tempo da nave, mas 25 anos no referencial Terra-estrela. Então a viagem de ida e volta leva trinta anos no referencial da nave, mas 50 anos no referencial terra-

estrela assim quando volta para cumprimentar sua irmã, você esta 20 anos mais jovem do que ela! Por que esse resultado é paradoxal? Ainda é perturbador pensar que você pode ficar vinte anos mais jovem do que sua irmã gêmea, mas, se realmente aceitar a princípio relatividade, então vai ter de aceitar essa diferença de idade também. O paradoxo vem considerar a viagem de ida e volta da perspectiva do referencial com a Terra ficando para trás à velocidade de $0,8c$. Mais tarde, exatamente quando você chega à estrela, a Terra dá a volta e começa a se aproximar de você. Quando a viagem termina, você esta novamente em pé ao lado de sua irmã gêmea na Terra. De seu ponto de vista, parece que você ficou em repouso na nave, enquanto a Terra e sua irmã gêmea saíram em uma viagem de ida e volta a velocidade de $0,8c$. Então por que não é ela quem ficou mais jovem? A resolução desse aparente paradoxo pode ser feita a partir da teoria da relatividade.

Ora, na medida em que a Terra está em movimento uniforme sua gêmea terrestre está em um referencial em movimento uniforme, e as leis da física funciona muito bem para elas. Mas quando a espaçonave dá meia-volta na estrela, e quando ela parte da Terra e pára nela, seu movimento não é uniforme, você o passageiro da nave, sabe que, pelo fato de sentir a força sobre o encontro de sua poltrona acelerando enquanto a nave deixa a Terra, você experimenta as fortes forças necessárias para fazer com que você dê meia-volta ao chegar à estrela, e sente a nave freando quando ela volta à terra. Sua gêmea que está na Terra não sente nada e portanto está num referencial inercial. Mas a nave não: ela esta fixa a um referencial acelerado.

O movimento em si não é absoluto, mas as mudanças no movimento são, mas não podemos dizer que a nave em movimento uniforme para toda a viagem de ida e volta incluindo uma meia-volta quando a nave está na estrela. A nave realmente faz meia-volta, e a Terra realmente não! A diferença entre as perspectivas da Terra e da nave na viagem de ida e volta é real, e significa que você e sua irmã gêmea estão realmente em situações diferentes. Seu argumento de que sua irmã gêmea deveria estar mais jovem é simplesmente inválido, por que você está aplicando os resultados da relatividade especial no referencial de movimento não uniforme (acelerado) de sua espaçonave, no qual a física da relatividade especial não é válida, então não existe paradoxo. O todo da teoria restrita está contido nas equações de transformação de Lorentz. Essa transformação tem a vantagem de que torna a velocidade da luz a mesma com respeito a dois corpos quaisquer que se estejam movendo de modo uniforme relativamente um ao outro, e de modo mais geral, torna as leis dos fenômenos eletromagnéticos as mesmas com respeito a quaisquer desses dois corpos.

Segundo Russell (1954) esclarece: suponhamos dois corpos, um dos quais S' move-se relativamente a outro S com velocidade paralela ao eixo X . Suponhamos que um observador em S observe um acontecimento que ele julga ocorrer no tempo t , por seu relógio, e no lugar cujas coordenadas são, para ele, x, y e z . Suponhamos que um observador em S' , julgue que o acontecimento ocorra no tempo t' e que suas coordenadas sejam x', y' e z' . Admitindo que no momento em que $t = 0$ os dois observadores estão no mesmo lugar, e também que $t' = 0$.

Antigamente teria parecido axiomático que devíamos ter $t = t'$. Admite-se que ambos os observadores dispunham de cronômetro infalível e apropriado para a velocidade da luz ao estimar o tempo quando o acontecimento ocorre. Seria de se pensar, que eles chegariam à mesma estimativa quanto ao tempo do acontecimento. Também seria de se pensar que deveríamos ter:

$$X' = X - Vt$$

Porém, nada disso é correto. Para obter a transformação correta, escrevemos em que c é, como sempre, a velocidade da luz.

$$\beta = \frac{c}{\sqrt{c^2 - V^2}}$$

Então:

$$X' = \beta(X - Vt)$$

$$t' = \beta \left(t - \frac{VX}{c^2} \right)$$

Para as demais coordenada y', z' temos:

$$Y' = Y \quad e \quad Z' = Z$$

As fórmulas para X' e Z' é que são peculiares essas fórmulas contêm, o todo da teoria da relatividade restrita.

A fórmula para X' incorpora a contração. Os comprimentos próprio de um corpo (medido por um observador fixo no corpo) é sempre maiores do que o comprimento medido por um observador que se move c relação ao corpo. Ainda mais interessante é o efeito com relação ao tempo. Suponhamos que um observador no corpo S julgue simultâneos dois acontecimentos em X_1 e X_2 e ambos no tempo t . Então um observador em S' julgará que eles ocorrem nos tempos t_1 e t_2 em que:

$$t'_1 = ? \left(t - \frac{vX_1}{c^2} \right)$$

$$t'_2 = ? \left(t - \frac{vX_2}{c^2} \right)$$

E portanto :

$$t'_1 - t'_2 = ? \cdot \frac{v(X_1 - X_2)}{c^2}$$

O que não é zero a menos que $x_1 = x_2$. Que são simultâneos para um observador não o são para outro, não podemos considerar espaço e tempo como independentes um do outro, como sempre se admitiu no passado. A própria ordem dos acontecimentos no tempo não é determinada: num sistema de coordenadas, um acontecimento A podem anteceder a um acontecimento B, ao passo que noutro B pode anteceder A. Isto, porém só é possível se os acontecimentos forem de tal modo distinto que seja qual for a opção de nossas coordenadas, a luz que saia de um não possa atingir o lugar do outro até depois que o outro acontecimento tenha ocorrido.

Posso voltar no tempo. Será que poderíamos viajar de uma forma tal que resultasse em uma diferença de ida ainda maior? Podemos acelerar nossa espaçonave ate uma velocidade

próximo de c . Então a viagem de ida e volta até estrela a 20 anos-luz de distância levaria um tempo curto quanto seria necessário para a luz, ou seja, 40 anos, ida e volta, esse é o tempo medido no referencial terra-estrela, mas a medida que a velocidade da nave relativa á terra e à estrela aproximá-se de c , a velocidade de V no fator relativísticos $\sqrt{1 - V^2/c^2}$ aproximá-se de 0 então o tempo da nave, $t' = t \cdot \sqrt{1 - V^2/c^2}$ aproximá-se de 0 também. Se você esta na nave, pode tornar esse tempo uma hora, um minuto, desde que ajuste o bastante de c . Então a maior diferença de idade entre você e sua gêmea que ficou em casa seria apenas pouco mais de 40 anos. Neste caso sua viagem Estelar significa para você que está na espaçonave, um salto quase instantâneo de 40 anos em direção ao futuro da terra! E se for mais longe? Para uma estrela a 50 anos-luz de distância, o tempo de viagem de ida e volta mais curto possível, medido por observadores na Terra, é pouco mais de 100 anos, você pode tornar esse tempo um ano, uma semana ou até mesmo um dia. A viagem de tempo para o futuro é realmente possível, mas existe uma proibição. Se você não gostar da Terra que vai encontrar 100 anos a frente, não há como voltar atrás, você ou está preso onde está, ou pode ser arriscar a um salto mais distante no futuro mais não pode voltar atrás no tempo.

5.3 Simultaneidade

O que significa dizer que dois eventos ocorrem ao mesmo tempo? Se dois eventos também ocorrem no mesmo lugar, então não há dúvida. Se nós vemos os eventos simultaneamente, mas suponha que os eventos ocorram em lugares diferentes. Então um observador diante dos dois eventos tem de compensar o tempo que a luz leva para chegar de cada evento para determinar se eles foram, de fato, simultâneos. Um evento que é simultâneo em um referencial podem não ser simultâneo em outro, um objeto é mais comprido em referencial no qual ele se encontra em repouso, e mais curto quando medido em qualquer outro referencial. Vamos considerar dois objetos distintos e analisar de que maneira a contração do comprimento se aplica a cada um deles em referenciais diferentes, os objetos são dois aviões idênticos e estão voando um em direção ao outro a uma fração significativa da velocidade da luz, o aviões passam, um por cima do outro, o primeiro evento será o nariz do avião de cima passando pela cauda do avião de baixo. Chamaremos a isso de evento A. O segundo evento será a cauda do avião de cima

passando pelo nariz do avião de baixo, esse é o evento B. Os eventos A e B são simultâneos nenhum avião está em repouso nesse referencial, então cada um deles é mais curto, devido a contração do movimento, do que seria em um referencial em que estivessem em repouso. Pelo fato de ambos estarem se movendo na mesma velocidade os dois contraem na mesma quantidade, isto é, os eventos A e B são simultâneos no referencial que se encontra agora, se um estivesse mais rápido que o outro a contração seria um pouco maior, isto seria óbvio que eles não são simultâneos neste referencial.

Mas, ao demonstrar a relatividade da simultaneidade representa a idéia que a ordem temporal dos eventos pode depender do referencial em questão. Pode acontecer reversão na ordem temporal e não é ilusão, é uma verdade o fato de eu poder observar o evento A ocorrer antes de B, de você poder observar o B antes do A, e de que nós dois estamos certos. Mas como pode ser? Isso não causaria uma devastação na causalidade, a ordem temporal dos eventos pode depender do referencial em que se encontra o observador; então, de que maneira a noção de passado pode ter significado? Ou, nesse sentido, a de futuro? O que significa que eles ocorreram em um tempo anterior ao evento presente, de volta ao exemplo da viagem estelar: para um observador na Terra no instante em que uma nave passa, o presente inclui o, eventos do relógio da Terra marcando O e o relógio da estrela marcando O. Mas, para um observador O é um evento no presente, mas o relógio da estrela marcando O não é, qualquer coisa que estiver ocorrendo aqui e agora, agora não é o bastante, tem que indicar o aqui também, isso significa que estou sobre um evento, e não as pessoas de um tempo. Quais são os eventos que estão verdadeiramente no passado, significado que eles inequivocamente ocorrem antes de seu evento presente, isto é, o evento de você está lendo estas palavras? Um deles é o seu nascimento. Não há observador que julgariam que esse evento ocorreu depois de seu aqui e agora. O passado de um evento consiste de todos aqueles eventos que são capazes de influenciar esse determinado evento consiste de todos aqueles eventos que determinado evento pode influenciar, mas uma vez que estou falando sobre passado e futuro em relação a um evento específico; em um universo no qual a simultaneidade é relativa, simplesmente não existe algo como um passado universal e um futuro universal, quando um evento está passado de outro, esse relacionamento não é ambíguo. Todos os observadores vão concordar a respeito de qual evento veio primeiro. Assim, a relatividade não viola a causalidade, pelo fato de aqueles eventos que estão causalmente relacionados terem uma ordem temporal absoluta que nenhum observador contestaria. Mas todos os pares de eventos

estão relacionados de maneira causal? Existem eventos que já ocorreram que não estão no passado? Há eventos que ainda não ocorreram que mesmo assim não estão no futuro? Com as nossas definições tradicionais de passado e futuro, a resposta as duas perguntas é obviamente, “não”; mas nossa definição de poder influenciar a resposta é menos óbvia. Existem eventos que ainda não ocorreram mas que não pode ter influência alguma no meu aqui e agora? Existem eventos que ainda não ocorreram mas que não podem ser influenciados por aquilo que estou fazendo aqui e agora? O que há de novo aqui é que a ordem temporal dos eventos também pode depender de um referencial, se os eventos da descoberta estão no nosso passado ou no nosso futuro, a relatividade abre um novo domínio do tempo do espaço-tempo, eventos que não estão no passado ou no futuro de um determinado evento estão em sua linha temporal, são eventos que não podem se comunicar com o evento determinado, de forma que os dois não podem estar relacionados causalmente o que significa que podemos nos mover para frente e para trás em uma linha, mas não em qualquer outra dimensão. Os eventos da linha ocorrem em tempos posteriores e, portanto, estão no futuro.

Mas a relatividade impede a transmissão de informações mais rápidas do que a velocidade da luz e, portanto, coloca toda a classe de eventos no limbo temporal do evento presente.

O limbo temporal pode soar como algum novo domínio misterioso que para sempre será inacessível para você. Mas não é, para você, o limbo temporal aqueles eventos que não podem influenciá-lo ou ser influenciados por você enquanto você esta aqui e agora. Um evento ocorrido 5 minutos atrás em Marte está em seu limbo temporal se você está aqui na terra, mas daqui a 5 minutos ele estará em seu passado e nesse tempo você pode saber sobre o evento em Marte e ser influenciado por ele (a luz percorre 10 minutos-luz para chegar a terra). Mas agora está em seu limbo temporal, e daqui a 15 minutos estará em seu passado. A relação dele com você muda porque você não é um evento. E se você não é um evento então o que você é? Em um diagrama de espaço-tempo, você é uma trajetória, chamada de linha de mundo. Cada momento de sua vida ocorre em algum tempo e algum lugar, e portanto numa parte desta linha de mundo de modo que cada momento representa um evento, ou um ponto em um diagrama de espaço-tempo. Uma vez que você não pode pular abruptamente para um tempo diferente ou para um lugar diferente, os eventos em sua vida formam uma seqüência contínua de pontos no espaço-tempo. A seqüência avança inexoravelmente futuro adentro, mas você é livre para se mover pelo espaço.

A premissa por trás da estrutura de passado-presente-futuro-limbo temporal é a de que uma informação não pode ser transmitida mais rápida do que a velocidade da luz. Se essa premissa estivesse errada o passado e futuro seriam inequívocos e não haveria limbo temporal, além disso, com a transmissão instantânea de informação, poderíamos sincronizar todos os relógios em todos os lugares, universal para todos, e os eventos que pensamos não estar causalmente relacionados, na verdade poderiam estar, no entanto, a relatividade nos diz que esses eventos pode ter suas ordens temporais revertidas, o que significa que parar alguns observadores o efeito precederia a causa! Uma comunicação mais rápida do que a luz iria causar uma devastação na causalidade.

Felizmente ela não é possível por que não? Vamos supor que você e eu estamos em pé juntos quando passa um raio de luz. Você monta em um foguete veloz e tenta alcançar a luz, se conseguir vai estar com velocidade c em relação a mim, e vai estar em repouso com relação a luz. Se você estivesse em repouso com relação à luz estaria determinando uma velocidade para luz, ou seja, zero, que não é igual a c . Mas a luz deve ter a velocidade c com relação a qualquer referencial em movimento uniforme. Se isso não acontecesse, o princípio da relatividade seria violado. Então sua situação, a de se mover em velocidade c em relação a mim e, portanto, estar em repouso com relação à luz, deve ser impossível, o porquê de você não poder chegar até a velocidade da luz. O que de fato impede isso? Vamos supor que temos um foguete enorme capaz de voar em relação à Terra, a três quartos da velocidade da luz ($0,75c$). Dentro desse foguete, construímos uma versão em miniatura com a mesma tecnologia. Damos partida no foguete e saímos zunindo da Terra à velocidade de $0,75c$. Você entra no foguete menor, dá a partida e logo vai estar se movendo a $0,75c$ em relação ao foguete maior. Então agora você deve estar se movendo a $1,5c$ em relação à terra. Errado! Mas por que errado? Por que as medidas de espaço e de tempo não são as mesmas em referenciais diferentes. O foguete pequeno está, de fato, movendo-se a três quartos da velocidade da luz em relação ao foguete maior, e o foguete maior está se movendo a três quartos da velocidade da luz em relação à Terra. O que estou dizendo é que $0,75c$ e $0,75c$ não se somam para chegar a $1,5c$, suponha que o foguete maior esteja se movendo a uma velocidade U em relação à terra, e o foguete menor esteja se movendo em velocidade V em relação ao maior. O sendo comum sugere que a velocidade do foguete menor em relação à terra, que chamaremos de V' , deveria ser apenas $V' = U + V$. Mas a relatividade modifica isso, o que nos dá.

$$V' = \frac{U + V}{1 + U.V}$$

Essa equação é chamada de fórmula de adição relativista da velocidade.

A única distinção é que com a luz não há nenhuma diferença na velocidade medida por diferentes observadores. Para objetos com velocidade relativa abaixo de c , existe uma diferença, mas essa diferença torna-se muito pequena à medida que a velocidade se aproxima de c . Mais uma vez o efeito aqui não está relacionado à luz, mas essa diferença torna-se muito pequena à medida que a velocidade se aproxima de c . Mais uma vez, o efeito aqui não está relacionado à luz, mas a alguma coisa mais fundamental, ou seja, a natureza do espaço e do tempo.

Na teoria da relatividade restrita, publicada em 1905, sob o título “sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimentos” Einstein começa, na primeira parte, por definir simultaneidade, analisa a relatividade das noções de espaço e tempo para definir velocidade, estabelece a teoria da transformação das coordenadas e do tempo de um sistema em repouso em relação a outro animado de um movimento de translação uniforme em relação ao primeiro e, finalmente, estabelece o teorema da adição das velocidades, em segundo obtém os fundamentos eletrodinâmicos da teoria de Lorentz que até então não tinha base física.

6. ENTENDENDO A RELATIVIDADE RESTRITA

Conforme Hawking (1988) dado que a velocidade da luz é apenas a distância que ela percorre, divididas pelo tempo que leva para fazê-lo, diferentes observadores poderão atribuir diferentes velocidades à luz. Na relatividade, por outro lado, todos os observadores deverão concordar quanto à rapidez da trajetória da luz. Em outras palavras, a teoria da relatividade sela o fim do conceito de tempo absoluto! Viu-se que cada observador pode obter sua própria medida de tempo, tal como registrada pelo seu relógio, e com a qual relógios idênticos, com diferentes observadores, não concordam necessariamente. Através desse procedimento, observadores que estejam se movendo uns em relação aos outros irão registrar tempos e posições diferentes para o mesmo evento.

Nenhuma medição de qualquer observador é mais correta do que a de outro, mas todas as medidas têm ligação. Qualquer observador pode determinar com precisão que tempo e posição outro observador atribui a um evento, desde que conheça a velocidade relativa do outro observador.

Um evento é alguma coisa que acontece num determinado local do espaço, e num tempo também determinado. Assim pode-se especificá-lo através de quatro números ou coordenadas novamente, a escolha das medidas é arbitrária pode-se usar quaisquer de três coordenadas especiais bem definidas e qualquer medida de tempo, assim como não há diferença real entre quaisquer duas coordenadas espaciais. A teoria da relatividade especial foi muito bem-sucedida ao explicar que a velocidade da luz parece a mesma a todos os observadores, e ao descrever o que acontece quando as coisas se deslocam em velocidades próximas da luz parece a mesma a todos os observadores, entretanto, foi inconsistente com relação a teoria da gravidade de Newton, que diz que os objetos se atraem uns aos outros com força determinada pela

distancia entre eles. Isto significa que se alteramos a posição de um objeto, a força no outro mudará automaticamente. Ou, em outras palavras, os efeitos gravitacionais se propagam a uma velocidade infinita, em vez de ser abaixo da velocidade da luz, como determinado pela teoria especial da relatividade.

Einstein propôs a sugestão revolucionária de que a gravidade não é uma força como as outras, mas sim uma consequência do fato que o espaço-tempo não é plano, como anteriormente considerado: é curvo ou “arqueado” pela distribuição de massa e energia. Corpos como a terra não foram feitos para se movimentarem em órbitas curvas devido a uma força chamada gravidade; em vez disso; eles seguem a coisa mais parecida com uma trajetória reta dentro do espaço curvo, o que é chamado de geodésica.

Segundo Bernstein (1995) é significativo dizer que os raios de luz propagam-se segundo as geodésicas, ou seja, as curvas que desempenham o papel de linha reta na geometria são “geodésicas”. São geodésicas desta geometria esféricas, por exemplo, os grandes círculos traçados sobre o globo terrestre para indicar latitude e longitude. Em certos casos simples as equações de Einstein podem ser resolvidas por aproximação. Na aproximação em que os efeitos gravitacionais são fracos, elas se confundem com a lei de Newton, embora peçam interpretações geométricas nova. Em razão disso, a estrutura geral do movimento planetário segundo a lei de Newton continua ser considerada aproximadamente correta. Contudo em relação a um raio de luz que desloca nas vizinhanças do sol, importa fazer correções nas previsões newtonianas. O espaço é suficientemente “curvado” pela gravitação do sol para que as geodésicas da luz se comportem diferentemente da previsão newtoniana. Em verdade, a nova teoria prediz que deve haver uma aparente alteração da posição das estrelas cuja luz passa próximo a superfície do sol

Fim na idéia da posição absoluta no espaço. A teoria da relatividade libertou-se do tempo absoluto. Consideremos um par de gêmeos suponhamos que um deles vá viver no topo de uma montanha e o outro permaneça ao nível do mar. O primeiro gêmeo envelhecerá mais rápido do que o segundo. Assim, ao se encontrarem novamente, um será mais velho do que o outro.

Segundo Hawking (2005) neste caso, a diferença das idades seria muito pequena, mas se tornaria muito maior se um dos gêmeos embarcasse, para uma longa viagem, numa nave espacial que se deslocasse em velocidade aproximada à da luz. Ao voltar, ele estaria muito mais jovem do que ficou na terra. Isto é conhecida como o paradoxo dos gêmeos, mas só é um

paradoxo se acreditarmos na idéia do tempo absoluto. Na teoria da relatividade não há qualquer tempo absoluto; em vez disso, cada indivíduo tem sua própria medida pessoal de tempo, que depende de onde se está e como se desloca.

Afirma Russell (2005) foi com relação ao tempo que a solução desse problema exigiu um esforço realmente grande. Foi preciso introduzir a noção de tempo “próprio”, que já consideramos, e abandonar a antiga crença em um tempo universal. As leis quantitativas dos fenômenos eletromagnéticos são expressas nas equações de Maxwell e estas se demonstram verdadeiras para todos os observadores, como quer que esteja se movendo. É um problema matemático simples descobrir que diferenças deve haver entre as medidas aplicadas por um observador e as aplicadas por outro para que, apesar de seu movimento relativo, eles encontrem as mesmas equações verificadas. A resposta está contida na “transformação de Lorentz”, descoberta como uma fórmula por Lorentz, mais interpretada e tornada inteligível por Einstein.

Inconsistências nas equações de Maxwell levaram à formação das teorias de Einstein. O eletromagnetismo, como definido por Maxwell, tornar-se-ia o precursor da relatividade. No entanto, havia alguns aspectos fundamentais da teoria de Maxwell do qual Einstein posteriormente discordou.

Como afirma Priwer (2004), o segundo dos três grandes estudos de 1905 foi chamado “A eletrodinâmica dos corpos em movimento”.Originalmente, o estudo teve a intenção de discutir algumas inconsistências na teoria de Maxwell sobre a radiação eletromagnética. Na verdade, o que aconteceu foi que as descobertas de Einstein revolucionariam novamente as leis da física, dessa vez contradizendo a visão ordenada de Newton sobre o universo com uma concepção de espaço e tempo completamente nova.

A nova afirmação de Einstein significava que, além de não existir nenhum experimento mecânico que um observador pudesse realizar para provar se ele estava ou não se movendo (a uma velocidade constante), também não havia nenhum experimento eletromagnético ou óptico que o observador poderia conduzir! Einstein afirmou que a velocidade da luz é a mesma para todos os observadores inerciais.

Os dois postulados de Einstein sobre a relatividade especial são:

1. As leis da física são as mesmas para todos os observadores inerciais.

2. Em uma estrutura de referência inercial, a velocidade da luz (c) é a mesma em todos os referenciais inerciais.

Einstein sugeriu uma experiência de pensamento para ajudar a entender como um observador podia considerar dois eventos simultâneos e outro observador não os ver assim. Imagine um trem, como um observador em um vagão no meio dele e outro observador no solo. Em um dado momento, os dois observadores estão em posições diretamente apostas e sincronizam seus relógios ao passar um pelo outro.

Então dois raios atingem o trem, um deixando marcas na parte da frente e no solo, no mesmo ponto; e a outro deixando marcas na parte de trás do trem e no mesmo ponto no solo. Os dois observadores registram os eventos.

O observador que está no solo recebe a luz dos dois raios ao mesmo tempo. Ele mede a distância entre as duas marcas no solo e descobre que estava parado exatamente na metade da distância entre os dois pontos. Como ele sabe que a velocidade da luz é uma constante, conclui que os dois raios atingiram o solo ao mesmo tempo, ou seja, simultaneamente.

O observador no trem, contudo, chega a uma conclusão diferente. Ele está parado no meio do trem, então sabe que a distância da marca deixada pelo raio na parte da frente do trem é a mesma da distância da marca deixada pelo raio na parte de trás.

No entanto, esse observador recebe a luz emitida pelo raio que atinge a frente do trem antes da luz emitida pelo raio que atinge a parte de trás do trem. Como ele sabe que a velocidade da luz é uma constante e a distância de cada marca é a mesma, conclui que o raio que atingiu a frente do trem o fez antes do raio que atingiu a parte de trás.

Como isso é possível? Os dois eventos foram simultâneos para o observador que estava no solo, mas não o são para o observador no trem. Podemos entender como isso aconteceu observando o movimento do observador que está no trem. Durante o tempo que levou para a luz chegar ao observador vindo da parte da frente e de trás do trem, ele se movia com o resto do trem. A direção do movimento do observador era em direção à parte da frente do trem. Portanto comparando com a distância no solo, a luz da frente do trem viajou uma distância menor para chegar a observador, enquanto a luz de trás do trem viajou uma distância maior. Essa distância no tempo de viagem explica por que o observador no trem concluiu que as luzes dos dois eventos

não foram simultâneas. Note que a relatividade da simultaneidade é uma consequência direta da invariância da velocidade da luz.

Assim, o trabalho inicial de Einstein sobre a relatividade mostrou que nem o espaço nem o tempo são absolutos. A percepção de cada um deles depende do observador e da estrutura de referência.

No entanto, Einstein recolocou essas noções com um novo e mais fundamentais absoluto. Em sua nova teoria sobre o espaço e o tempo, o absoluto era a velocidade da luz. A velocidade da luz é absoluta, independentemente da estrutura de referência. Por isso, embora dois observadores nunca concordem sobre qual deles está em movimento, ou se os eventos são simultâneos ou não, ambos sempre concordarão sobre a velocidade da luz. Por mais estranho que pareça essa teoria, a nova visão de Einstein sobre a relatividade de fato fez uma série de previsões que foram testadas e comprovadas. A visão de Einstein sobre o universo parece estar correta.

Talvez a mais importante experiência de pensamento relacionada à relatividade seja a que recebe o nome de paradoxo dos gêmeos, já tratado anteriormente. Na verdade, não se trata de nenhum paradoxo, mas de um problema que pode ser explicado consistentemente com os princípios da realidade, como Einstein os definiu.

Conforme Hawking (2002) embora a teoria da relatividade se ajustasse bem às leis que governam a eletricidade e o magnetismo, não era compatível com a lei da gravidade de Newton. Segundo essa lei, mudando-se a distribuição de matéria em uma região do espaço, a mudança no campo gravitacional seria sentida instantaneamente em todas as outras partes do universo. Isso não apenas implicaria que se poderiam enviar sinais mais rápidos que a luz, para saber o que significava instantâneo, também exigia a existência do tempo absoluto ou universal que a relatividade tinha abolido.

Conforme Bernstein (1995) Com efeito, de acordo com as leis de Newton se uma pessoa sofre aceleração por um longo tempo, em razão de exposta à ação de uma força, por pequena que esta seja, essa pessoa chegará, afinal, a atingir a velocidade da luz e, pois, qualquer velocidade. Imaginaremos porem, uma onda e, para simplificar, uma onda com padrão regular de cristas e vales. Suponhamos encontrar-nos em repouso e a onda a move-se. Observaremos um padrão de cristas e vales que se repete regularmente. Em outras palavras, a amplitude do movimento ondulatório que observamos sofrerá oscilações periódicas, repetidas. Suponha-se,

porem, que podemos deslocar-nos com a velocidade de propagação da onda. Poderíamos, em tal caso, acompanhar uma crista ou uma depressão e as oscilações simplesmente desapareceriam a nossos olhos de observadores em movimento. Ora, nos termos da doutrina então aceita, a luz não passaria de movimento oscilatório de onda, a correr no éter. De acordo com essa maneira de ver, se um observador pudesse deslocar-se, no éter, à velocidade da luz, a luz deixaria de ter, a seus olhos, constituição ondulatória. As equações de Maxwell não admitem essa eventualidade e, assim, ou estarão erradas, ou não será possível que um observador material se desloque à velocidade da luz. Do ponto da Física clássica, surgiam como absurdas ambas as alternativas.

Segundo Bernstein (1995) Surgiu, entretanto, de novo o mesmo paradoxo. Se for correta a mecânica newtoniana, seria possível imprimir aceleração a um observador de modo a levá-lo a atingir a velocidade da luz e, a essa velocidade, a luz não mais lhe aparecia como luz hipótese em que haveria possibilidade de determinar a velocidade absoluta, contrariando o principio da relatividade (Imagina um homem olhando para um espelho iluminado por uma lâmpada. Se o homem e o espelho viessem a deslocar-se à velocidade da luz, a luz da lâmpada, segundo a Física newtoniana, jamais poderia alcançar o espelho e, assim, a essa velocidade, o homem não mais veria a sua imagem. Conseqüentemente, ele teria base para dizer que se estava se deslocando à velocidade da luz, em contradição com o principio da relatividade).

Einstein deu-se conta de que um observador que se movesse à velocidade da luz violaria o “principio da relatividade”. Para compreender essa asserção, importa reexaminar um aspecto da lei de Newton, nesse sentido não há um estado de repouso absoluto ou movimento uniforme absoluto o que é, é o movimento relativo de observadores em relação a outro. Lembremos que, se não estiver sob a ação de qualquer força, um objeto se encontrará em repouso ou movimento retilíneo e uniforme. A força faz-se necessária apenas para produzir aceleração. Conseqüentemente, no que se concerne às leis da mecânica, não há diferença entre um estado de “repouso” e um estado de movimento retilíneo e uniforme.

7. O QUÊ $E = m c^2$ REALMENTE SIGNIFICA

Outra bem conhecida consequência da relatividade é a equivalência de massa e energia resumida na famosa equação de Einstein: $E = mc^2$. As pessoas muitas vezes empregam esta equação para calcular quanta energia seria produzida se, um tanto de matéria fosse convertido em radiação eletromagnética pura. Mas a equação também nos informa que massa de um objeto aumenta, isto é, sua resistência à aceleração quando se acelera o corpo.

A energia cinética de um objeto em movimento é idêntica à energia que você precisa gastar para fazer com que ele se mova. Portanto quanto mais rápido um objeto se mover, mais energia cinética ele possuirá, mas de acordo com um objeto e, portanto, quanto mais rápido um objeto se mover, mais difícil será para aumentar ainda mais a velocidade do objeto devido à velocidade limite c .

Certamente $E = m.c^2$ é a mais famosa equação de toda a física. É também, no pensamento popular, a base das armas nucleares. $E = m.c^2$ afirma uma equivalência fundamental, ou de maneira mais precisa, uma permutabilidade entre matéria e energia. A matéria é quantificada por sua massa, uma medida, de quanto dela existe. Podemos transformar a matéria de uma forma em outra, como nas reações químicas.

A energia é menos tangível do que a matéria, mas nos tempos pré-relatividade também pensavam que ela se conservava. Assim como a matéria, a energia pode mudar de forma.

O que $E = m.c^2$ diz é que matéria e energia são permutáveis. Uma porção de matéria com massa m poderia, em princípio, ser transformada em energia pura, na qual a quantidade de energia, E , é o produto da massa m e o quadrado da velocidade da luz. Pelo fato de o valor de c ser tão grande isso significa que um pouquinho de matéria poderia produzir uma enorme quantidade de energia. A equação funciona no sentido inverso, também. Ela diz que uma quantidade de energia E poderia ser transformada em matéria com massa M dada por E/c^2 . Então a matéria e a energia, individualmente, não são mais conservadas. O que é conservado é uma

nova substância universal, que, por falta de nome melhor, poderíamos muito bem chamar de massa-energia permanece a mesma, mas quanto nela está na forma de massa e quanto dela é está na forma de energia.

A conversão de matéria em energia e vice-versa é realmente possível? Sim, mas a conversão total ocorre apenas em casos muito especiais. Ocorre que cada uma das partículas elementares que compõem a matéria do cotidiano possui uma anti-partícula associada, idêntica em massa, mas oposta em carga elétrica e outras propriedades, coletivamente, essas antipartículas constituem a antimatéria. Algumas partículas antimatérias são criadas em colisões de alta energia e em algumas reações nucleares, maneira natural ou em experimentos de laboratório. Quando uma partícula de matéria e sua oposta de antimatéria se encontram, as duas se atingem desaparecendo completamente em uma explosão de energia.

Mas $E = m.c^2$ não diz respeito apenas à extinção de matéria-antimatéria, toda vez que um processo resulta em liberação de energia, existe uma redução correspondente em massa.

Enfatizo que essa expressão da equivalência de massa-energia aplica-se a todas as formas de energia. Isso inclui a energia cinética. Quanto mais rápido um objeto se move em relação a você, maior sua energia cinética, exemplo, uma enorme bola de boliche é mais difícil ser movido do que uma bola de tênis segundo Einstein, é até mais difícil fazer a bola de se mover mais rápido se ela já esta se movendo em relação a você. Isso porque sua energia cinética se soma à inércia da bola, ou seja, a resistência a mudanças em seu movimento, em outras palavras tanto a massa quanto a energia possuem inércia.

E daí? Imagine-se tentando fazer com que um objeto atinja a velocidade da luz. Em princípio não é tão difícil fazê-la mover mais rápido, mas a medida que sua velocidade se aproxima de uma fração considerável de c , a inércia de sua energia cinética torna-se considerável, e uma determinada força torna-se menos eficaz para aumentar a velocidade da bola.

À proporção que a velocidade se aproxima de c a força e a energia necessárias para fazer a bola se mover ainda mais rápido cresce muito e rapidamente, a energia que você usa para tentar fazê-la ir ainda mais rápido vai, em sua maior parte, para o aumento de sua inércia. Para chegar até c seriam necessárias forças e energia infinita.

CONCLUSÃO

Na teoria da relatividade estamos em lugares mais firmes, no que se refere à física do passado, o avanço com a relatividade foi sobretudo lógico e filosófico. É verdade que os fatos levam a teoria, e que a teoria, por sua vez levou a novos fatos. Mas os fatos eram pequenos e si localizavam apenas nos estritos limites da observação; a teoria esta perfeitamente completa pode ver que, teoricamente, devia ter sido descoberta por Galileu, ou pelo menos logo que se tornou conhecida a velocidade da luz.

Na teoria da relatividade começamos com um continuo quadridimensional de pontos, cujas propriedades, de inicio, são puramente ordinais atribuindo então quatro coordenadas a cada ponto com base em qualquer principio tal que as propriedades ordinais das coordenadas sejam as mesmas dos pontos. Omitindo sutilezas, pode-se dizer que o restante da teoria vem a ser, principalmente, as geodésicas. Geodésia é um trajeto entre dois pontos espaços-temporais tais que a integral ao longo desse trajeto seja estacionário. Nos trajetos importantes é um máximo parece que a energia pode ser dividida em parcelas que se movem geodésica; quando essas parcelas se movem com velocidades menores que a da luz são consideradas como porções de matéria, ao impor certas limitações a medida, tem êxito em incluir fenômenos eletromagnéticos, assim temos uma teoria completa que pode ser tomada como abrangendo tudo, exceto fenômenos quânticos.

A teoria da relatividade revolucionou a física moderna o modo de pensar, de como podemos viajar há um futuro distante, idéias que não se imaginavam até os anos de 1900 começou a surgir das idéias de Einstein, a conclusão dos dois postulados de Einstein que faz mudar todo um modo de pensar sobre o universo, mudando a forma na lei da inércia não só a

mecânica com movimento uniforme ou em repouso, mas toda a física, o extraordinário na física dos referenciais que a diferença para cada observador, a velocidade pode ser constante para um observador e para outro um movimento variado, como a velocidade da luz mudou o pensamento, nada pode alcançá-la esta rapidez enorme e como tem mudado a forma de imaginação durante o início do século XIX. As idéias que revolucionaram o conhecimento com Maxwell, como era a luz se é onda de quê?

Esta resposta só veio em 1869 com Maxwell que provou que as ondas eletromagnéticas caminhavam com velocidade da luz, então ficou fácil a luz é uma onda eletromagnética, só como as ondas sonora precisavam de um meio para se propagar, ondas de água se propagam através delas, então o meio científico da época imaginavam que a luz também precisava de um meio para se propagar e foi determinado que existisse uma substância material chamada éter por todo o universo para a propagação da luz, conseqüentemente foi feito vários experimento para provar esta substancia, o mais notável foi de Michelson-Morley e que não consegue diferença na velocidade da luz, esta substancia chamada éter era muito difícil de pensar como era ela, pois para o som um meio duro como o ferro a velocidade era mais rápida, mas se imagina, ela teria que ser rígida e ao mesmo tempo uma substancia flexível, mole, pois se fosse rígida retardaria o movimento dos planetas, ficava difícil de imaginar uma substancia assim.

Foi neste contexto que surge a brilhante idéia de Albert Einstein, com seus postulados e revolucionou a física do século XX, Einstein prova que não é preciso do éter, que a velocidade da luz era constante, o que depende é do observador e em qual referencial ele estar. Só que isso mudaria a mecânica de Newton, pois o tempo era absoluto na idéia de Newton e não uma coordenada, Einstein mostra que o tempo é uma nova coordenada e o espaço esta interligado ao tempo um é dependente do outro não se pode ter o tempo separado do espaço e assim vice-versa, o espaço é curvo e que o tempo o acompanha.

Na teoria da relatividade restrita se viajar a uma velocidade próxima a da luz e se voltar dessa viagem vai haver diferenças, pois se viajar ao futuro, voltar e não gostar do futuro não terá como voltar ao passado o que pode fazer é viajar para um futuro mais distante ou se conformar com o presente que se encontra, esta idéia foi difícil para todos os físicos no início do século, pois se dois irmãos gêmeos um viajar e o outro ficar na terra haverá diferença quando aquele chegar de viagem, pois o tempo de quem viaja anda mais devagar em relação ao outro que fica na terra, isto causou espanto na física, na sociedade, como poderia acontecer isto, causa dificuldade para

as pessoas pensarem assim e então fica provado para a sociedade que a relatividade trouxe mudança na forma de pensar, de olhares diferentes para o movimento, o que poderia depender de referenciais e observadores.

Dos ensaios escritos por Einstein em 1905, pode-se dizer que o mais influente foi seu enunciado de uma “especial” teoria da relatividade, que desenvolvia a idéia de que as leis da física são, na verdade, idênticas para expectadores inerciais diferentes, independentemente de sua posição, contanto que eles estejam se movendo em uma velocidade constante em relação um ao outro, acima de tudo, a velocidade da luz é constante. As leis clássicas da mecânica parecem ser obedecidas no cotidiano simplesmente por que as velocidades envolvidas são insignificantes.

A invariância da velocidade da luz, as implicações desse princípio, no entanto, se os observadores estão se movendo em velocidades muito diferentes, são bizarros e os indicadores normais de velocidade tais como distância e tempo tornam-se distorcidos. Na verdade, espaço e tempo absolutos não existem. Portanto se uma pessoa fosse teoricamente viajar em veículo no espaço, próximo da velocidade da luz, tudo pareceria normal para ela, mas outra pessoa que estivesse na Terra esperando-a retornar perceberia algo muito incomum.

A espaçonave pareceria diminuir de tamanho na direção do movimento, além disso, enquanto o tempo continuaria “normal” na Terra, um relógio que indicasse o tempo na nave começaria a ficar mais lento na perspectiva da Terra embora parecesse estar correto ao viajante, porque quanto mais rapidamente um objeto se move, mais lento torna-se o tempo, essa diferença só se tornaria aparente quando a nave retornasse a Terra e os relógios fossem comparados. Se o observador na Terra conseguisse medir a massa da aeronave enquanto ela estivesse em movimento, também perceberia que ela estava ficando mais pesada. Em última estância, nada pode se mover mais rapidamente ou na mesma velocidade da luz por que, nesse ponto, o objeto teria massa infinita, nenhum comprimento e o tempo ficariam parados!

A teoria basicamente mostra que independente do observador a velocidade da luz é constante e que o espaço e tempo podem (e de fato são) um só. Resumidamente Einstein disse que nenhum corpo que tenha massa pode ser mais rápido que a velocidade da luz. Ele chegou a essa conclusão baseado no seguinte: à medida que você acelera precisa de mais energia. Quando mais rápida mais energia, na velocidade da luz você precisa de energia infinita. Somente a luz pode ir nessa velocidade, pois ela é energia pura. Outra, quanto mais rápido, mas pesado ficamos (não há alteração de massa, ou seja, a quantidade de matéria no corpo e sim que há diversas

forças sendo aplicadas no corpo, fazendo ele ficar mais pesado). Na velocidade da luz o corpo teria peso infinito. E terceiro: quanto mais rápido, menor ficaria o corpo (a quantidade de força faria com que os átomos ficassem cada vez mais próximos um dos outros). Na velocidade da luz o corpo teria tamanho zero. Ou seja, pesado, tamanho zero e usando infinita energia não existe. Mas o mais interessante da teoria é que, quanto mais rápidos andamos, o tempo anda mais devagar, mostrado no paradoxo dos gêmeos. Nesse paradoxo dois irmãos gêmeos nascem. Um fica na Terra enquanto outro viaja em um foguete super rápido (digamos a 99% da velocidade da luz). Depois de vários anos, enquanto o irmão que ficou na Terra está velho, o que estava no foguete volta jovem. Isso foi provado em satélites e em aviões experimentais da NASA. Relógios sincronizados em terra ficaram descompassados quando esses corpos saíram em velocidades muito altas. Testes em aceleradores de partículas mostraram que o corpo acelerado ficava mais pesado, menor e mais energia é precisa para manter a velocidade.

REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, Maria José. **História da Física**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. p.147.
- BALCHIN, Jon. **Ciência: 100 Cientistas que mudaram o mundo**. Trad. Lucia Sano. São Paulo: Madras, 2009. p. 244-245.
- BERNSTEIN, Jeremy. **As idéias de Einstein**. Trad. Leônidas Hegenberg e Octanny Silveira da Motta. 10ª Ed. São Paulo: Cultrix, 1995.
- CAPRA, Fritjof. **O Tão da Física: Um Paralelo entre a Física Moderna e o Misticismo Oriental**. Trad. José Fernandes Dias. 24ª ed. São Paulo: Cultrix, 2006.
- GLEISER, Marcelo. **A Dança do Universo: Dos Mitos de Criação ao Big-Bang**. São Paulo: Companhia das Letras, 2006.
- HAWKING, Stephen. **Uma Breve História do Tempo: Do Big Bang aos Buracos Negros**. Trad. Maria Helena Torres. Rio de Janeiro: Rocco, 1988.
- HAWKING, Stephen. **O Universo Numa Casca de Noz**. Trad. Ivo Korytowkc. 6ª ed. São Paulo: ARX, 2002.
- HAWKING, Stephen; MLODINOW, Leonardo. **Uma Nova História do tempo**. Trad. Vera Paula Assis. Rio de Janeiro: Ediouro, 2005.

MORRIS, Richard. **Uma Breve História do Infinito: Dos Paradoxos de Zenão ao Universo Quântico**. Trad. Maria Luzia X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1998. p.85.

PRIWER, Shana; PHILIPS, Cynthia. **Livro Completo Sobre Einstein: Da Matéria e Energia ao Espaço e Tempo Tudo o que Você Precisa para Entender o Homem e suas Teorias**. Trad. Martha Malvezzi Leal. São Paulo: Madras, 2004.

RUSSELL, Bertrand. **Análise da Matéria**. Trad. Nathanael C. Caixeiro. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1954.

RUSSELL, Bertrand. **ABC da Relatividade**. Trad. Maria Luiza X. de Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2005.

SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sérgio. **Física: Sampaio e Calçada**. São Paulo: Atual, 2003, v.único.

TIPLER, Paul Allan. **Física para Cientistas Engenheiros: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica**. Trad. Fernando Ribeiro da Silva, Gisele Maria Ribeiro Vieira. 5º ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006, v.1.

WALKER, Halliday Resnick. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**. Trad. Ronaldo Sérgio de Biasi. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007 v.3. p.332.

WALKER, Halliday Resnick. **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna**. Trad. Ronaldo Sérgio de Biasi. 7º ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007, v.4.

[WHTTP://es.wikipedia.org/wiki/arquivo:Michelson-Morley_experimento_\(em\).svg#file](http://es.wikipedia.org/wiki/arquivo:Michelson-Morley_experimento_(em).svg#file)

WOLFSON, Richard. **Simplesmente Einstein: A relatividade desmistificada**. Trad. Álvaro Hattner. São Paulo: Globo, 2005

ZEILINGER, Anton. **A Face Oculta da Natureza: O novo Mundo da Física Quântica.** Trad. Luiz Pera. São Paulo: Globo, 2005.