

UMA BREVE HISTÓRIA DA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

A brief history of modern and contemporary Physics

Fernando de Candido Pereira¹

Recebido em: 22 set. 2015

Aceito em: 09 dez. 2015

RESUMO

Neste artigo, apresenta-se uma breve história da construção da Física moderna e contemporânea a partir do final do século XIX, juntamente com seus principais responsáveis, bem como as discussões e elucidacões a respeito de fenômenos físicos.

Palavras-chave: Física moderna e contemporânea. Relatividade. Mecânica Quântica.

ABSTRACT

This paper presents a brief history of the construction of the modern and contemporary Physics starting from the late nineteenth century, along with their primary responsibility, as well as discussions and clarifications regarding physical phenomena.

Keywords: Modern and contemporary Physics. Relativity. Quantum Mechanics.

INTRODUÇÃO

Ao final do século XIX, a sociedade científica estava certa que havia pouco para ser descoberto em relação aos estudos da Física.

1 Possui formação de Master Black Belt em Metodologia Lean Six Sigma pela M.I. Domenech (2015), Mestrado em Ciências Naturais e Matemática pela Fundação Universidade Regional de Blumenau (2013) e graduação em Matemática pelo Centro Universitário UNIFACVEST (2010). Atualmente atua como Master Black Belt na coordenação e consultorias de projetos Lean Six Sigma na Kimberly-Clark Brasil e é professor universitário de matemática e estatística do Centro Universitário UNIFACVEST. E-mail: fcandidopereira@yahoo.com.br.

Parecia que as teorias estavam completas, testadas e provadas, pois, desde Galileu Galilei (1564-1642), os físicos clássicos tinham como marca registrada testar pela observação e experimentação exaustiva suas teorias, até que não houvesse mais dúvidas de que tudo estava absolutamente correto. A partir de Galileu seguiu-se a ideia de que tudo poderia ser medido, de que tudo era absoluto.

Isaac Newton (1642- 1727) seguiu os métodos de Galileu e se tornou o grande cientista de sua época, deixando um grande legado que inclui o teorema do binômio e o método matemático das fluxões (base para o cálculo diferencial). Ele definiu cada grandeza finita em um fluxo contínuo; desta maneira, calcular áreas e volumes limitados por curvas não se tornou mais problema. É com este método de calcular que surgiram as definições do cálculo diferencial e integral. Dentre as maiores contribuições de Newton para com a física está seu estudo sobre a natureza da luz através do qual ele demonstrou que a luz branca se decompõe nas cores básicas do espectro luminoso ao passar por um prisma.

Newton formulou, também, as leis da mecânica clássica, incluindo as leis do movimento gravitacional, que explicam fenômenos, desde a queda de uma maçã até a “queda” contínua da lua, bem como a órbita de todos os corpos celestes. Newton reuniu os escritos detalhados de mais de 20 anos de estudos, com demonstrações a respeito das hipóteses da gravitação universal, mecânica, luz e seu teorema do binômio em seu livro conhecido como *Principia* ou *Princípios matemáticos da filosofia natural*. Com esta obra-prima do conhecimento científico, Newton mostrou ser possível explicar os acontecimentos físicos tanto da terra, quanto dos céus e que eles são regidos pelas mesmas leis - isso consolida a ideia de que, a partir das experimentações, tudo pode ser previsto, pois as leis do comportamento dos corpos são absolutas.

No século XVIII a Física continuou sendo desenvolvida por métodos práticos nos estudos sobre as leis da termodinâmica dentro de uma sistematização, impulsionada pela criação da máquina a vapor delimitando as leis da transformação termodinâmica de energia térmica em energia mecânica. Michael Faraday (1791-1867) a partir das experiências feitas por Hans Oersted, descobriu a indução eletromagnética e, com isso, uma sequência de estudos que formaram

as teorias do eletromagnetismo - teorias estas que foram construídas e aperfeiçoadas por outro grande nome da ciência, James Clerk Maxwell (1831-1879).

Neste século, intensificaram-se os estudos a respeito do átomo, com John Dalton e a teoria de que cada elemento químico corresponde a um tipo de átomo. Depois com a descoberta do elétron, em 1897, por Thomson, o átomo deixou de ser a menor parte da matéria como se acreditava e assim seguiu a formulação dos novos modelos atômicos a partir do indivisível até o modelo planetário de Rutherford. Os modelos atômicos de Bohr e Louis De Broglie juntamente com outras teorias que serviram de base para a definição do conceito fundamental de uma nova teoria por Planck. Estudos estes que até o momento seguem reforçando as leis da Física clássica como sendo absolutas de modo que segundo afirmou o grande físico e matemático Pierre Simon de Laplace (1724-1827) em sua obra sobre probabilidades:

Devemos considerar o estado presente do universo como efeito dos seus estados passados e como causa dos que se vão seguir. Suponha-se uma inteligência que pudesse conhecer todas as forças pelas quais a natureza é animada e o estado em um instante de todos os objetos - uma inteligência suficientemente grande que pudesse submeter todos esses dados à análise -, ela englobaria na mesma fórmula os movimentos dos maiores corpos do universo e também dos menores átomos: nada lhe seria incerto e o futuro, assim como o passado, estaria presente ante os seus olhos (LAPLACE apud SILVEIRA, 1990, p. 326)

Deste modo, ao final do século XIX os físicos haviam formulado inúmeros postulados que sustentavam toda a Física e eram considerados corretos, pois passaram por exaustivos testes ao longo de anos ao ponto de serem quase inquestionáveis, de modo que, quem elaborasse alguma ideia divergente a estes pensamentos, não era digno de muito crédito. Assim, em junho de 1894, Albert Michelson (1852-1931) chegou a dizer que “tudo que restava a fazer em Física era preencher a sexta casa decimal”.

Os físicos, até o final do século XIX, acreditavam que:² (a) o universo era como uma máquina gigante assentada em uma estrutura

2 Tópicos organizados conforme as ideias apresentadas em Zarate (2012).

de tempo e espaço absolutos. Um movimento complicado poderia ser entendido como um simples das partes internas da máquina, mesmo que essas não pudessem ser visualizadas. (b) A síntese newtoniana implicava que todo movimento tinha uma causa. Se um corpo realizava um movimento, alguém sempre poderia calcular o que produzia esse movimento. Isso é simplesmente causa e efeito, algo que ninguém questionou de verdade. (c) Se o estado de movimento era conhecido em determinado ponto ele poderia ser determinado em qualquer outro ponto no futuro ou no passado. Nada era incerto, tudo era simplesmente consequência de alguma causa prévia. O chamado determinismo. (d) As propriedades da luz estavam completamente descritas pela teoria de onda eletromagnética de Maxwell e confirmadas pelos padrões de interferência observados em um simples experimento de dupla fenda feito por Thomas Young em 1802. (e) Há dois modelos físicos para representar a energia em movimento: Uma partícula, representada por uma esfera impenetrável como uma bola de bilhar; e uma onda, como aquelas que avançam pela praia pela superfície do oceano. Ambos os modelos são mutuamente exclusivos, a energia tem de ser ou um, ou outro. (f) Era possível medir com máxima exatidão as propriedades de um sistema, como a temperatura ou a velocidade. Bastava reduzir a intensidade da investigação do observador ou corrigi-la com um ajuste teórico. Sistemas atômicos não eram considerados exceção a essa regra.

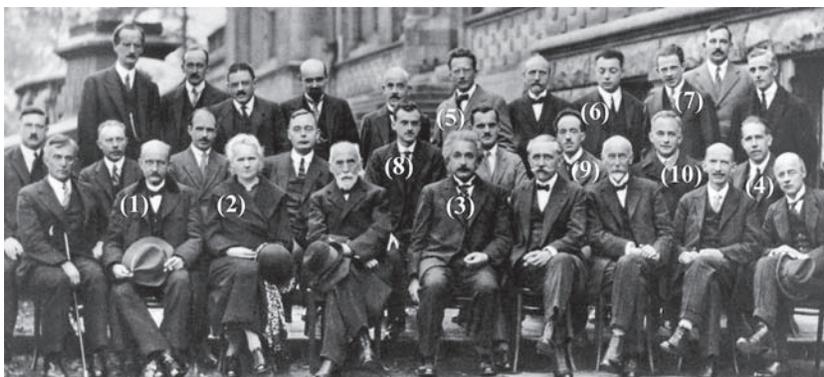
No entanto, estas afirmações poderiam em algum momento ser postas em dúvida, mesmo que contrariassem toda a lógica dos conceitos clássicos. O marco oficial para os questionamentos destes postulados e a consideração de novas possibilidades para a Física pode ser considerado a Conferência de Solvay patrocinada pelo industrial belga Ernest Solvay (1838-1992). A primeira de várias conferências com físicos de várias partes do mundo aconteceu no ano 1911 em que seus participantes necessitavam de convite especial e com um público em torno de 30 pessoas em que cada um deveria levar considerações a respeito de um assunto previamente selecionado. Os cinco primeiros encontros, que aconteceram entre 1911 e 1927, compuseram a crônica do desenvolvimento da Física do século XX.

O tema da reunião do encontro de 1927, em especial, concentrou-se na teoria quântica inicialmente formulada a partir das ideias de

Max Planck (1858-1947) que começou, por volta do ano de 1900, a levantar hipóteses de que a matéria poderia absorver e comportar a radiação eletromagnética, ou seja, a luz, apenas em feixes de energia chamados quanta, cujo tamanho é proporcional à frequência da radiação. O encontro de 1927 foi um marco grandioso para a Física moderna, certamente pelo suporte de nove físicos teóricos que posteriormente seriam agraciados com o Prêmio Nobel em virtude de suas contribuições para com o desenvolvimento da nova Física. Esta conferência poderia ser comparada ao encontro para a celebração da Física clássica por Arquimedes, Kepler, Newton, Galileu, Faraday e Maxwell. (ZARATE, 2012)

Os principais atores deste grande acontecimento foram: (1) Max Planck (1858-1947), (2) Marie Curie (1867-1934), (3) Albert Einstein (1879-1955), (4) Niels Bohr (1885-1962), (5) Erwin Schrödinger (1887-1961), (6) Wolfgang Pauli (1900-1958), (7) Werner Heisenberg (1901-1976), (8) Paul Dirac (1902-1985), (9) Louis Broglie (1892-1987), (10) Max Born (1882-1970), dentre outros que estavam presentes com suas ideias e teorias postas em discussão, direcionadas ao entendimento da teoria quântica, a qual era o conjunto mais estranho de ideias jamais articulado por um grupo de cientistas tão espetaculares em suas concepções e intelectualidades, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Conferência de Solvay 1927



Fonte: www.pppl.gov.

O nascimento da física moderna se dá com as ideias que já vinham sendo formuladas no final do século, principalmente ao que se trata da questão da relatividade e o efeito fotoelétrico formulado por Einstein, a radiação do corpo negro de Planck e os espectros ópticos da linha brilhante (o átomo de Bohr). Essas questões surgiram de medidas rigorosas e reprodutíveis, mesmo que paradoxais - o tipo de questão que intrigava os melhores físicos da época e despertava o interesse em buscar uma solução lógica que não fugisse muito das leis clássicas, mas isso não foi possível, tendo início assim a Física Moderna e Contemporânea.

A RELATIVIDADE

Quando se estuda mecânica sob uma visão da Física Moderna, adota-se a velocidade como sendo uma grandeza relativa; isso significa que sua medida irá depender do referencial ao qual está sendo medido. A partir disso, outras grandezas que possam depender da velocidade também são consideradas relativas. Massa, tempo e comprimento são grandezas consideradas como absolutas na Física Clássica, mas na verdade estas também são grandezas relativas; o fato é que a relatividade só pode ser evidenciada em situações que as velocidades são excessivamente altas, tendendo à velocidade da luz ou muito próximas dela, velocidade essa que no vácuo equivale a aproximadamente 300.000 km/s.

No final do ano de 1905, Albert Einstein publicou três artigos de grande importância. Um deles era a análise do movimento Browniano; o segundo versava sobre o efeito fotoelétrico; e o terceiro a apresentação de sua teoria da relatividade especial, que propunha uma drástica revisão dos conceitos newtonianos de espaço e tempo. A teoria da relatividade propôs muitas mudanças significativas na compreensão da natureza. Porém Einstein baseou esta teoria em basicamente dois postulados bem simples. Um deles afirma que as leis da Física devem ser as mesmas em qualquer sistema inercial e o outro diz que a velocidade da luz no vácuo deve ser sempre a mesma em qualquer sistema inercial. Mas estes postulados implicam consequências importantíssimas como a de que um evento que ocorre simultaneamente a outro em relação a um observador, pode não ocorrer simultaneamente em relação ao outro.

Quando existe movimento relativo entre dois observadores e eles efetuarem medidas de intervalos de tempo e de distância, os resultados obtidos podem não concordar e, segundo os postulados de Einstein, a segunda lei de Newton e as equações para a energia cinética e o momento linear devem ser reformuladas. A teoria da relatividade é composta de duas outras teorias: Teoria da Relatividade Restrita, que estuda os fenômenos em relação a referenciais inerciais, e a Teoria da Relatividade Geral, que aborda fenômenos do ponto de vista não inercial (YOUNG, 2009). Apesar de formar uma só teoria, elas foram propostas em tempos diferentes; no entanto, ambas trouxeram o conhecimento de que os movimentos do Universo não são absolutos.

Uma das questões principais abordadas pela teoria da relatividade é da dilatação do tempo. Esta foi testada ainda em 1971 com a utilização de relógios atômicos, devido a sua precisão. Após os dois relógios serem sincronizados, deixou-se um em uma posição estacionária na Terra e o outro a bordo de um foguete que viajou certa distância em uma alta velocidade em volta da terra e depois retornou à origem. Constatou-se que existia uma diferença na hora mostrada entre os dois relógios. O que ficou na terra estava alguns milissegundos atrasado em relação ao que viajou no foguete. Isso ocorreu devido à dilatação do tempo no corpo que estava viajando a alta velocidade em comparação ao que estava parado. Ou seja, segundo a teoria relativista de Einstein, para um corpo que viaja a altíssimas velocidades o tempo passa mais lentamente que em relação a outro corpo estacionário e essa relação aumenta à medida que a velocidade se aproxima da velocidade da luz.

Outra comprovação da dilatação do tempo pode ser observada a que diz respeito ao tempo de vida de partículas instáveis, como por exemplo, os *mésons* que são criados a partir da radiação cósmica que vem do Sol para a Terra, em altíssima velocidade e se colidem com núcleos de átomos da atmosfera terrestre. O fato é que essas partículas têm meias vidas muito curtas e, pela distância entre o ponto em que elas são formadas e a superfície terrestre, seria impossível que alcançassem o solo. Mas, no entanto, encontram-se algumas destas partículas na superfície da Terra; isso acontece devido à dilatação do tempo, tendo como referencial o méson, pois este viaja a uma velocidade próxima a da luz e como o tempo de meia vida é medida em relação à partícula estacionária, esta “vive mais tempo” quando está em movimento.

Retornando ao exemplo anterior, podemos entender o famoso paradoxo dos gêmeos o qual formula a seguinte situação: Suponha que dois gêmeos se separem para uma viagem estelar, sendo que um deles viajará em um foguete cuja velocidade alcançada é constante e próxima à velocidade da luz (300.000 km/s) e o outro ficará na Terra. Após alguns anos de viagem, o gêmeo viajante retorna e encontra seu irmão muito mais velho do que ele (YOUNG, 2009). Novamente esse fato se dá em função da dilatação do tempo. Essa situação acontece simultaneamente e no mesmo ponto, ou seja, o referencial é próprio, mas o tempo decorrido é diferente para cada evento, pois o tempo é relativo.

Considerando o tempo como sendo relativo, isso implica que o comprimento de um corpo também deve ser relativo devido à contração de Lorenz. Para medir o comprimento de um objeto que está se movendo na velocidade da luz, é preciso determinar o tempo que este objeto leva para passar por um referencial estacionário, mas esta medida deve ser feita dos dois referenciais, ou seja, do estacionário para o que está em movimento e do que está em movimento para o que está estacionário. Assim sendo, o corpo em movimento sofre uma contração com um fator igual ao de dilatação do espaço/tempo.

A teoria da relatividade traz estas implicações que parecem fugir do senso comum. No entanto, foram provadas e adotadas como verdadeiras. Outra mudança relativista está relacionada à massa, a qual era considerada absoluta, mas segundo as leis da relatividade a massa de um corpo pode ser diferente da massa das partes separadas desse corpo. Como isso é possível? Isso é possivelmente explicável pela famosa equação de Einstein $E=mc^2$, a qual afirma que a energia é igual ao produto da massa pelo quadrado da velocidade da luz. Ou seja, massa é energia e energia é massa, sendo que uma pode ser transformada na outra, mas tudo isso levando em conta a velocidade da luz.

Isso implica que, se um corpo for acelerado a uma velocidade próxima a da luz, à medida que se adiciona energia para que se chegue nessa velocidade, a massa desse corpo irá aumentar. Deste modo a soma da massa de um piloto e seu foguete quando parados é ligeiramente menor que a soma das massas do piloto e seu foguete quando estes estiverem viajando a 90% da velocidade da luz, por exemplo.

Outra situação que essa relação pode ser medida e apresentada é a encontrada no decaimento de alguns átomos instáveis que espontaneamente se transformam em outros como o Tório (Th) com massa atômica igual a 232,038, que se decompõem espontaneamente em Radônio (Ra) com massa atômica igual a 228,031, este por sua vez decai para Hélio (He) com massa atômica igual a 4,003 - em todo esse processo é liberada certa quantidade de energia, de modo que se somarmos as massas do Hélio e o Radônio a resultante será menor que a do Tório, ou seja, a soma da massa das partes é menor que o todo, isso devido à liberação de energia que ocorreu nesse processo de decaimento atômico.

Todos estes conceitos científicos sobre relatividade podem divergir do senso comum; no entanto, estão corretos, servindo como base para o desenvolvimento de muitas tecnologias que utilizamos hoje em dia.

A MECÂNICA QUÂNTICA

A partir de 1900 pode-se considerar como uma das primeiras introduções à Física Quântica os trabalhos de Max Planck para resolver o problema da radiação do corpo negro, pois existia um problema na teoria convencional, a qual dizia que quanto maior a frequência maior a intensidade de radiação. O fato é que na prática isso não acontecia, pois quando um objeto é aquecido, ele emite uma radiação que consiste em ondas eletromagnéticas, ou seja, luz com amplo espectro de frequência. A frequência dominante sobe à medida que a temperatura aumenta, e sendo representada por uma curva muito semelhante àquelas calculadas por Maxwell para a distribuição de velocidade de moléculas de gás aquecido em um recipiente fechado. Esta curva mostrava que a intensidade de radiação alcançava um pico máximo mesmo que a frequência continuasse aumentando.

Wien seguiu a mesma linha de raciocínio de Maxwell e derivou uma fórmula baseado em alguns argumentos teóricos em perfeito acordo com os experimentos publicados, mas apenas na parte de alta frequência do espectro. Outros dois físicos Lord Rayleigh (1842-1919) e Sir James Jeans (1877-1946) elaboraram uma equação que funcionava em baixas frequências, mas em alta frequência a intensidade seria infinita na região

ultravioleta, sendo chamada de *catástrofe ultravioleta*, pois se estivesse correta até a radiação do fogo de uma lareira provocaria queimaduras sérias em uma pessoa que estivesse posicionada em sua frente e, como era perceptível, isso não acontecia.

Max Planck, um renomado físico engajado com os métodos da Física clássica e grande pesquisador dos assuntos relacionados à Termodinâmica, ramo da Física que se dedicava há mais de vinte anos, sentia-se atraído pelos aspectos universais e absolutos do problema do corpo negro. Planck sabia que as medições feitas eram extremamente confiáveis e que não condiziam com as teorias formuladas até o momento; assim, resolveu se debruçar no estudo desta questão, pois para ele a fórmula que descreveria o fenômeno não deveria conter muitas variáveis além da temperatura, a frequência de radiação e mais algumas constantes universais.

Planck imaginou que a energia deveria ser emitida e absorvida em pacotes, que ele chamou de *Quanta*. Isso significava que as quantidades de energia se apresentavam como sendo um valor finito. Esses valores eram muito pequenos, mas quantizados, o que se mostrava plausível para representar sua lei experimental; porém, essa ideia estava em desacordo com as representações clássicas que tanto Planck defendia, pois inferia que a energia era descontínua. Mesmo assim, Planck resolveu aceitar sua hipótese, pelo menos até ter algo mais em acordo com o pensamento clássico. Deste modo nasce a Mecânica Quântica.

Eis que em 1902 um físico alemão chamado Philipp Lenard (1862-1947), depois de fazer vários estudos com feixes de raios catódicos que incidiam em lâminas delgadas de metal, concluiu que as energias dos elétrons, sendo considerados como medidas pelos potenciais retardadores, eram completamente independentes da intensidade da luz, ou seja, ao emitir uma luz mais intensa sobre uma placa de metal, esta não liberava mais energia para os elétrons que eram arrancados, como era de se esperar. Experimentos posteriores mostraram outro problema: existia uma determinada frequência limiar abaixo da qual os fotoelétrons não eram arrancados, independentemente da utilização de uma luz mais brilhante.

Esse problema foi resolvido por Albert Einstein um jovem escriturário do Escritório Suíço de Patentes em um dos seus artigos

publicado em 1905, a partir da utilização da famosa lei de Boltzman e com base na teoria de Wien, que se sabia funcionar perfeitamente bem para altas frequências. Nesse artigo Einstein explicava que a radiação se comportava como partículas de luz. Deste modo, ao incidir sobre um metal um quantum de luz (fóton) este é ou não absorvido, e isto é instantâneo. Cada fóton de luz violeta tem energia muito superior aos fótons de luz vermelha e isso explica porque o efeito é facilmente observado para a luz violeta e ultravioleta, de modo que aumentar a intensidade da luz significa aumentar o número de fótons emitidos e consequentemente o número de elétrons arrancados, mas a energia máxima dos elétrons é a mesma. Para aumentar a energia cinética máxima dos elétrons emitidos, é preciso aumentar a frequência e não a intensidade da luz, pois quanto maior a frequência, maior a energia do fóton.

Einstein e Planck iniciaram a física quântica, e o próximo grande passo foi a formulação de um novo modelo atômico por Bohr, que veio substituir o modelo planetário de Rutherford que era considerado instável, pois, ao sofrer variação de energia, o elétron se chocaria com o núcleo, colapsando assim o átomo. A partir da publicação de Nicholson em 1912 dizendo que o momento angular de uma partícula só poderia crescer ou decair em quantidades discretas quando os elétrons saem ou retornam de suas posições, desafiando as objeções clássicas, Bohr teorizou a existência de átomos constituídos por órbitas estáveis de elétrons. Um elétron poderia existir em qualquer uma das várias órbitas especiais sem emissão de radiação. Tais órbitas foram chamadas de *estacionárias* e se caracterizam por valores de momento angular orbital. Assim cada vez que um elétron recebe radiação ele salta para outra orbita, absorvendo energia e para voltar a sua orbita original, ele libera um fóton de luz visível ou não (radiação).

Em 1923, Louis de Broglie desenvolveu a ideia de uma partícula oscilando internamente, deslizando por uma onda de energia, tratando-se da capacidade ondulatória das partículas. Com base nessa ideia, Schrödinger formulou a equação de propagação da onda de matéria e obteve soluções que correspondem aos estados estacionários do átomo de hidrogênio. Werner Heisenberg estudou o mesmo comportamento, encarando o movimento do elétron como partícula e iniciou a chamada

Mecânica Matricial que foi desenvolvida em seguida por Max Born que em 1926 escreveu um artigo sobre os fenômenos de colisão, no qual introduziu a probabilidade da existência de um estado quântico determinado. Não há mais respostas exatas, haveria dito Born - em teoria atômica tudo o que obtemos são probabilidades.

Em 1927, Heisenberg fez mais uma descoberta importante e mostrou que não há como identificar com precisão a posição exata de uma partícula subatômica, a menos que se esteja querendo ficar completamente às cegas no que se refere ao momento da partícula; também não há como identificar o momento exato da partícula. Medir a posição e o momento exatamente e ao mesmo tempo é impossível. Deste modo, é possível apenas obter uma indicação da probabilidade da posição do elétron que está orbitando o núcleo de um átomo, sendo que sua posição exata é impossível de ser determinada com exatidão. Esse é o modelo atômico atual representado por uma nuvem de probabilidades de possíveis posições do elétron ao redor do núcleo.

A Física moderna trouxe inúmeras representações além das compreensões das menores dimensões da matéria e da energia do universo, mesmo que resulte em novas dúvidas e paradoxos, aumentando cada vez mais o nível de complexidade das leis que governam o mundo subatômico. Porém, os avanços científicos feitos a partir do século XIX proporcionaram uma base para o desenvolvimento de novas tecnologias e continuam auxiliando as construções do futuro.

REFERÊNCIAS

SILVEIRA, Fernando Lang. Determinismo, previsibilidade e caos. **Cad.Cat.Ens.Fís.**, v. 10, n. 2: p. 137-147, Porto Alegre, Instituto de Física da UFRGS, 1993.

YOUNG, Hugh D. **Ótica e Física moderna**. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

ZARATE, Oscar. **Entendendo Teoria Quântica**. São Paulo: Leya, 2012.