

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE CIÊNCIAS EXATAS E DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO



Física e Realidade

Soluá Daniele Ferreira da Costa

GOIÂNIA – GO

JUNHO DE 2021

Soluá Daniele Ferreira da Costa

Física e Realidade

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Pontifícia Universidade Católica de Goiás como pré-requisito necessário para a obtenção da aprovação na disciplina MAF1319, TCC II, bem como para a conclusão do curso de Licenciatura Plena em Física. Monografia realizada sob a orientação do professor Dr. Francisco Aparecido Pinto Osório.

GOIÂNIA – GO

JUNHO DE 2021

Dedicatória:

Dedico este trabalho, primeiramente à minha mãe que sempre acreditou no meu potencial, ao meu grande amigo Márcio que sempre esteve comigo e ao meu orientador que, com muita paciência e sabedoria, esteve comigo, auxiliando e ensinando.

Agradecimentos

Agradeço aos meus professores da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, por terem acreditado em meu potencial de ser física, mesmo quando eu não acreditei. Agradeço a minha mãe por ter sido meu porto seguro no decorrer de todo curso, me ajudando e apoiando com tudo que precisei. Agradeço aos meus amigos, em especial ao Márcio, que esteve do meu lado me fortalecendo no momento mais difícil da minha vida, graças a este grande amigo venci a luta contra depressão, por encontrar, além de um grande amigo para dar todo apoio que precisei também, me transmitiu forças para ter vontade de continuar minha caminhada ao longo do curso. Agradeço especialmente a Deus, por me permitir chegar até aqui e por ter providenciado tudo que eu precisei para realizar um dos meus maiores sonhos que é ser física e durante esse trajeto, ter cuidado da minha filha, para que ela se sentisse segura.

RESUMO

O propósito deste trabalho é fazer uma breve comparação sobre as bases teóricas e experimentais da mecânica clássica e da mecânica quântica, ressaltando as principais diferenças conceituais entre elas. Apresentamos os conceitos principais da mecânica quântica, como a equação de Schroedinger, a função de onda, a interpretação probabilística e o princípio da incerteza. Apresentamos o experimento mental do gato de Schroedinger e discutimos o papel do observador sobre o resultado final do experimento. Desenvolvemos então o tema do papel do observador na definição da realidade, da origem do universo e se haveria um observador primordial para tornar possível o universo em que vivemos. Desenvolvemos este tema sempre à luz das teorias da física, citando experimentos e teorias, mas sem o receio de abrir nossa mente para novas ideias e conceitos no mundo da física. Mesmo que parte da física nos pareça real e parte nos pareça ficção; vamos tentar entender o papel do observador na definição da realidade, fazendo uma breve comparação e diferenciação entre as visões clássicas e as quânticas.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
CAPÍTULO 1 <i>Mecânica Clássica Versus Mecânica Quântica</i>	10
• <i>Entendendo a Mecânica Clássica</i>	10
• <i>Mecânica Quântica</i>	12
• <i>Sobre o Surgimento da Teoria Quântica</i>	14
• <i>Albert Einstein Entra em Cena</i>	15
• <i>A Hipótese de Louis de Broglie</i>	16
• <i>Princípio da Incerteza</i>	17
CAPÍTULO 2 <i>Equação de Schroedinger e a Função de Onda</i>	18
• <i>A Probabilidade de Born</i>	19
CAPÍTULO 3 <i>Experimento Mental; O Gato de Schroedinger</i>	20
CAPÍTULO 4 <i>O Papel dos Observadores</i>	24
• <i>O Observador</i>	24
• <i>O Observador Que Deu Início ao Todo</i>	26
• <i>A Realidade Depende do Observador?</i>	28
CAPÍTULO 5 <i>Comentários Finais</i>	30
BIBLIOGRAFIA	31
APÊNDICE A <i>Algumas Aplicações da Mecânica Quântica</i>	32
APÊNDICE B <i>Algumas Constantes Físicas Fundamentais</i>	33
APÊNDICE C <i>Bibliografia dos Principais Cientistas Citados</i>	34

INTRODUÇÃO

A Mecânica Quântica é um ramo importante e fundamental da física, que estuda sistemas físicos com dimensões diminutas, tais como átomos e moléculas. Para entender melhor a mecânica quântica, é importante entender a mecânica clássica e ressaltar suas diferenças. Um exemplo de sistema físico em que podemos aplicar a mecânica clássica é o deslocamento de um veículo, em que podemos retirar dados do sistema e saber com antecedência o horário da chegada do automóvel em seu destino. Usamos o resultado da variação do espaço dividido pela variação de tempo, caso queiramos encontrar a velocidade média.

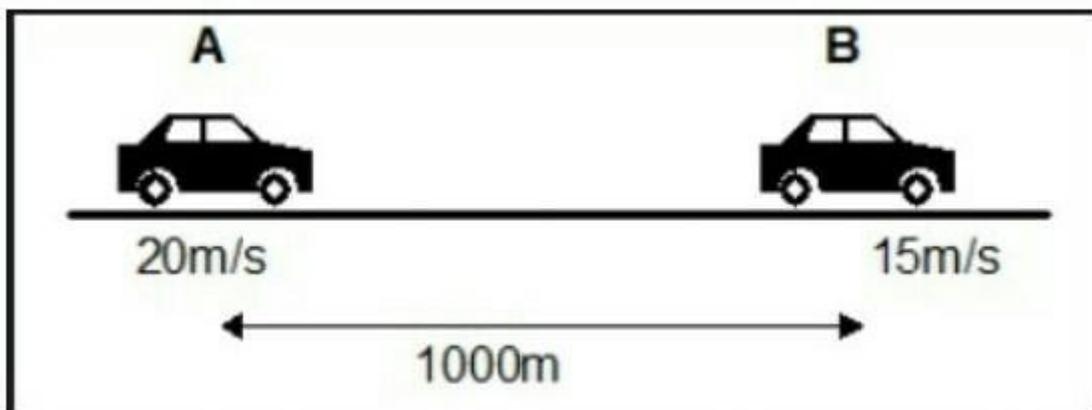


Figura 1–Deslocamento de um veículo (brainly.com.br)

Para entender sistemas físicos próximos ou abaixo da escala atômica, usamos da mecânica quântica e suas variadas definições, tal como entender o sistema atômico. Onde numa visão clássica simplista se assemelha ao sistema solar; com elétrons circulando o núcleo; como representado na Figura 2.

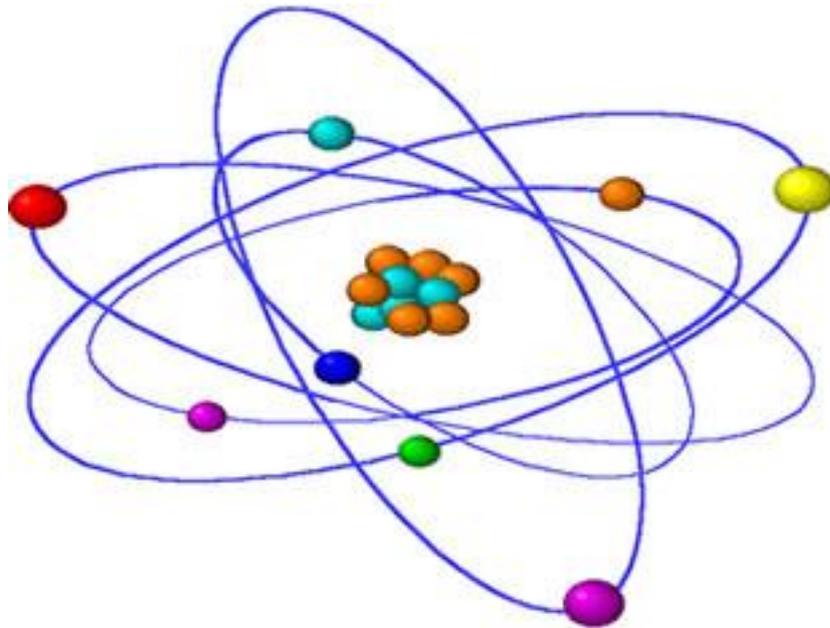


Figura 2–Modelo atômico simples (www.coladaweb.com/química/físico)

Por conta dos estudos no ramo da mecânica quântica, temos várias tecnologias utilizadas hoje em dia, graças às descobertas de grandes gênios e à dedicação de mentes brilhantes ao longo da história, por exemplo, a nanotecnologia; celulares e computadores que estão deixando o mundo cada vez mais tecnológico.

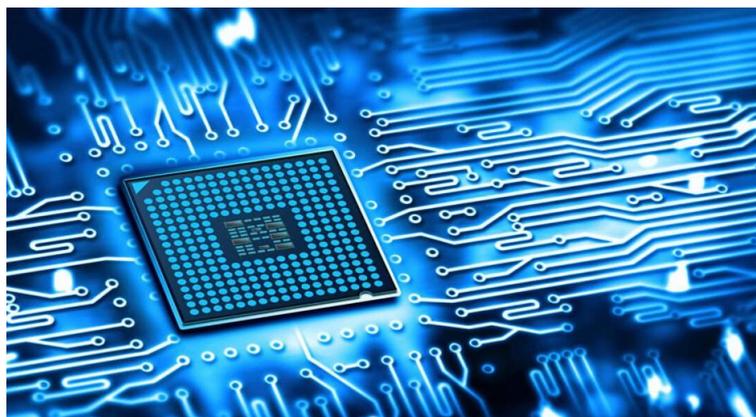


Figura 3–Nanotecnologia, chip (revistapegn.globo.com)

¹A nanotecnologia é uma ciência que se dedica ao estudo da manipulação da matéria numa escala atômica e molecular lidando com estruturas entre 1 e 1 000 nanômetros.

CAPÍTULO 1

MECÂNICA CLÁSSICA VERSUS MECÂNICA QUÂNTICA

Mecânica clássica

Entendemos que a Mecânica Clássica trata fenômenos físicos em escala macroscópica. Temos eventos reais para entendimento dessa teoria científica. Tratando-se de fenômenos envolvendo tempo, posição, velocidade, aceleração, força e etc. Dentro da Mecânica Clássica, quando queremos resolver um problema, coletamos dados do sistema em questão, executamos cálculos, geralmente, temos uma resposta exata. Então entre as principais características da mecânica clássica está o determinismo; que aplicado no mundo macroscópico nos leva a leis que permitem a determinação de eventos antes mesmo do seu acontecimento, o universo e a mente humana estão submetidas a leis necessárias e imutáveis.

A Mecânica Clássica também é conhecida como Mecânica Newtoniana, e grandes cientistas foram os responsáveis pela elaboração de suas bases como Galileu Galilei, Kepler e Isaac Newton, graças a eles a física nos trouxe onde estamos hoje. Com a Mecânica Clássica calculamos a velocidade de um automóvel, a pressão da água em um encanamento, ou a energia necessária para o lançamento de um foguete e sua colocação em órbita em torno da Terra.

Consideremos um sistema isolado; esse sistema obedece a certo conjunto de leis, que regem os fenômenos e que descrevem a configuração dos componentes do sistema levando em consideração a sua evolução com o tempo. Para resolver um problema, recorreremos, geralmente, à Mecânica Newtoniana, buscando desvendar e retirar o máximo possível de informações para então, usarmos as fórmulas da física que sejam compatíveis e encontrar o resultado parcial ou final, isto nos fornece uma visão do mundo real; palpável, calculável e possível de descrever, sendo possível chegar a uma conclusão final.

Por exemplo, uma bola arremessada a partir do solo, descreve uma trajetória bem definida, sob os efeitos da atração gravitacional. Desprezando a resistência do ar ela descreverá uma trajetória parabólica, e a posição da bola e sua velocidade em função do tempo são definidas pelo conjunto de equações;

$$y(t) = y_0 + v_{0y}t - \frac{gt^2}{2} \quad x = x_0 + v_x t \quad v_y = v_{0y} + gt$$

Sendo g a aceleração da gravidade. Assim como a trajetória da bola será dada por:

$$y(x) = tg(\theta_0)x - \frac{gx^2}{2v_{0x}^2}$$

Onde θ_0 é o ângulo de lançamento em relação ao eixo x . Assim, um observador com uma câmera, poderia filmar o movimento e realizar comparações com os resultados das equações, posição por posição, para cada intervalo de tempo. O fato de filmar o evento não mudaria a trajetória da bola, não interferiria no estado final do sistema; na verdade não influenciaria no sistema mecânico.

Entretanto, mesmo se tratando de mecânica clássica, observadores poderiam discordar quanto ao tipo de movimento da bola. Por exemplo, um observador em repouso em relação ao referencial da bola veria um movimento parabólico; já um observador com uma velocidade uniforme na direção x , igual à da bola, veria um movimento vertical para cima e depois vertical para baixo; e finalmente um observador em um carrossel girando, veria um movimento totalmente diferente dos outros dois e difícil de descrever matematicamente.

Mesmo na física clássica a posição, a velocidade e a aceleração do observador influenciam na descrição do movimento. Mas a realidade clássica aparentemente nada tem a ver com a presença do observador. As coisas e eventos são reais e sempre ocorrem. Portanto, entendemos que nós, observadores, não interferimos no resultado final do sistema; realizando as medidas não interferimos no resultado das mesmas. (NEWTON, 1687)

Mecânica Quântica

A Mecânica Quântica é a teoria da Física que com sucesso é utilizada no estudo dos sistemas físicos com dimensões próximas ou abaixo da escala atômica. Quando estamos na escala dos átomos e moléculas, as leis da física macroscópica, que são capazes de descrever os estados dos movimentos dos corpos que vemos ao nosso redor, tornam-se incapazes de determinar quaisquer grandezas físicas em escalas tão diminutas.

O que acontece no mundo quântico é que as leis da Física não são mais determinísticas, não são capazes de dizer onde alguma partícula se encontra, ou qual a sua velocidade; não tem um lugar exato no tempo ou espaço, daí as medidas obtidas de sistemas quânticos são expressas em probabilidades. Em 1859 Gustav Kirchhof enunciou o problema da radiação de corpo negro e em 1900, Max Planck, formulou a hipótese que toda energia é irradiada e absorvida na forma de elementos discretos chamados quanta de energia, aí se deu o nascimento da Física Quântica. (SAKURAI, 2013)

A descrição do comportamento de sistemas em física quântica foi estabelecida a partir de 1925 com o advento da equação de Schroedinger, e então os cientistas logo viram que mesmo possuindo uma equação para descrever o comportamento das ondas de matéria, as coisas não estavam tão bem estabelecidas. As previsões da mecânica quântica são diferentes das previsões da mecânica clássica. “Começando pelo fato de que na equação de Schroedinger, que “descreve” os eventos quânticos, aparece um fator imaginário “ $i = \sqrt{-1}$ ”, que faz com que a função de onda, que descreve sistemas físicos reais, seja complexa!”

Uma grandeza complexa possui uma parte real e uma parte imaginária. Qual é o sentido da parte imaginária da função de onda? Ninguém sabe! Mas contornaram esse fato interpretando a função de onda em termos de probabilidade. Assim o módulo ao quadrado da função de onda ($|\Psi|^2$) é uma grandeza real e foi interpretada como é a densidade de probabilidade de encontrar a partícula em uma posição entre x e $x+dx$, no caso unidimensional. Dessa forma não se sabe mais onde se localiza a partícula, apenas podemos falar na probabilidade de a partícula ser encontrada em uma

medida realizada. Isto é totalmente contrária a física clássica determinística; agora não se pode determinar a posição da partícula. O mundo quântico é repleto de incertezas; não se pode conhecer posição e momento linear ao mesmo tempo, ou seja, não é possível escrever " $p=p(x)$ ", isto que é estabelecido no princípio da incerteza de Heisenberg.

À medida que os sistemas físicos foram sendo estudados, novos fenômenos acabaram sendo descobertos, como o tunelamento quantum-mecânico. Partículas atravessando barreiras de potencial, sendo que elas não possuíam energia suficiente para fazê-lo. Na mecânica quântica o mistério da dualidade da onda-partícula domina o cenário. Só o experimento, ou seja, a ação do observador pode definir o comportamento da matéria e da energia no mundo atômico. (SAKURAI, 2013)

Por outro lado, a aplicação da equação de Schroedinger na Física de Estado Sólido nos levou à teoria das bandas de energia, fundamental para entender as propriedades elétricas dos isolantes, condutores e semicondutores. O mundo tecnológico em que vivemos é feito de conhecimento do mundo quântico; sem esse conhecimento não haveria transistores, chips, processadores eletrônicos, geradores de laser, leds e etc. Os avanços na medicina nos últimos tempos têm por trás a teoria quântica, nas máquinas de Raios-X, de Ressonância magnética de ultrassom etc.

Na química, a interpretação probabilística nos leva aos orbitais eletrônicos, que junto com o princípio de Pauli nos permitem ter uma visão do átomo e compreender as ligações químicas entre os elementos. Muita evolução de ordem prática foi conseguida pela teoria quântica. Entretanto, mesmo com todas essas aplicações tecnológicas as estranhezas da mecânica quântica continuam despertando espanto e curiosidade, é sobre uma dessas estranhezas, o fato da presença do observador definir o sistema e, é sobre isso que trataremos neste trabalho.

Sobre o surgimento da Teoria Quântica

A partir da segunda metade do século XIX, foi estabelecida a primeira grande descoberta rumo à Mecânica Quântica, que foi a quantização de

energia, realizada por Max Planck em dezembro de 1900. Ele chegou a esta descoberta na tentativa de explicar os dados experimentais do espectro de radiação de corpos aquecidos, em especial do chamado “corpo negro”, que absorve (e emite) toda radiação incidente. De acordo com Max Planck a energia absorvida não seria contínua; a radiação é absorvida ou emitida por um corpo aquecido não sob a forma de ondas, mas por meio de pequenos “pacotes de energia”. A estes pacotes, Planck deu o nome de “quantum” e seu plural é “quanta” que significa quantidade mínima. Indivisível, já que o quantum seria a unidade definida de energia proporcional à frequência da radiação. Foi daí que surgiu a expressão Teoria Quântica. Atualmente um quantum de luz é chamado de fóton. “O trabalho inicial de Planck foi feito tratando, detalhadamente, o comportamento de elétrons nas paredes de corpo negro e seu acoplamento ou interação com a radiação eletromagnética dentro da cavidade.” (SAKURAI, 2013)

Planck postulou que a energia emitida, ou emitida pelos átomos que formavam as paredes de uma cavidade de corpo negro, se dava em múltiplos inteiros de $h\nu$ onde $h = 6,626 \times 10^{-34} J.s$ é a constante de Planck; e ν é a frequência da radiação. O valor de $h\nu$, o quantum de energia, é muito pequeno se comparado às energias requeridas para realizar mudanças físicas ou químicas dos materiais do cotidiano. Isso nos mostra que “h” nos remete a um mundo de pequenas dimensões, o mundo quântico. A constante de Planck é uma das mais importantes do mundo quântico, pois ela é fundamental para o entendimento de vários conceitos e interpretações físicas e químicas.

Este fato histórico apresentado mostra que sem as descobertas de Planck talvez a Física Moderna não tivesse alcançado o desenvolvimento que alcançou no século XX, de tal forma que vários outros estudos em Física Quântica que foram realizados posteriormente, pelo próprio Planck e por outros pesquisadores, seriam inviabilizados. Dessa forma, se não tivéssemos contado com o Pai da Teoria Quântica, não teríamos os vários avanços tecnológicos que temos hoje. Continuaremos, agora, aprofundando-nos no mundo da Mecânica Quântica, a seguir Einstein entra em cena resolvendo o problema do efeito fotoelétrico, usando a expressão da energia de Planck e dando

sentido físico aos pacotes de energia luminosa que passaram a ser chamados de “fótons”.

Albert Einstein entra em cena

Conhecemos Einstein como um dos principais cientistas de toda a história, um dos rostos mais conhecidos do mundo, um gênio, mas mesmo os gênios podem entrar em conflito e se fechar para novas ideias, foi isso que ocorreu com ele em relação à física quântica. Contudo, é possível que se apoiando em conhecimentos já estabelecidos possa tirar suas próprias conclusões e aprofundar o conhecimento de determinado assunto; neste caso podem surgir grandes descobertas; grandes contribuições para o mundo, para o avanço tecnológico. Mesmo um grande gênio poderia se irritar com algo que parece mais ficção e menos realidade, mas mesmo assim usar o que parece ser ficção para contribuir com novas descobertas. Einstein é conhecido, principalmente, por elaborar a Teoria da Relatividade, embora ele não concordasse inteiramente com a Mecânica Quântica e não é considerado um dos pais dessa teoria, ele fez descobertas muito importantes.

Em 1905, para explicar o efeito fotoelétrico Einstein usou uma ideia similar a de Newton, segundo a qual, ao invés de pensarmos na luz como uma onda, deveríamos imaginá-la como constituída de corpúsculos, denominados fótons. Com o sucesso da explicação do efeito fotoelétrico, ficou provado que a luz tem um caráter dualístico. Dependendo das circunstâncias, poderia ser vista como onda (apresentando, o fenômeno da interferência e da difração), ou como partícula (apresentando o efeito fotoelétrico). (EISBERG, RESNICK, 1979)

A hipótese de Louis de Broglie

Em 1924 de Broglie formulou a hipótese de que toda matéria, dependendo do experimento, apresenta-se com características ondulatórias ou

corpúsculares; de Broglie desenvolveu o conceito das ondas de matéria, gerando grandes contribuições para a área da Mecânica quântica. Em 1924, postulou em sua tese de doutorado que deveria existir uma dualidade entre matéria e onda, assim como é para o caso da luz; que pode comportar-se tanto como partícula quanto como onda.

A relação de Louis de Broglie afirma que o comprimento de onda (λ) da onda de matéria que acompanha a partícula é dado pela razão da constante de Planck ($h=6,63 \times 10^{-34}$ J.s) e pela quantidade de movimento ($p=mv$) desse corpo: $\lambda=h/p$. Assim completando o ciclo da dualidade onda-partícula, Louis de Broglie sugeriu que a onda associada à partícula poderia comandar comportamento da partícula. (HALLIDAY, RESNICK, 1996)

De modo análogo ao caso da luz, o caráter ondulatório de uma partícula deveria ser comprovado através de uma experiência de difração ou interferência das ondas de matéria. O trabalho de de Broglie foi publicado em 1923, e já em 1927, foi realizado um experimento na qual se observava a difração de um feixe de elétrons através de um cristal de níquel. Embora esta tenha sido a primeira experiência comprovando o caráter ondulatório de uma partícula, ela não é uma experiência do tipo dupla fenda como a que Young realizou com a luz. “Como o movimento de uma partícula está relacionado com a propagação de uma função de onda associada (a relação de de Broglie), estes dois entes devem estar associados no espaço.” (EISBERG, RESNICK, 1979)

Também é possível observar o comportamento ondulatório da matéria experimentalmente por meio da difração de elétrons e nêutrons. Quando essas partículas deslocam-se em baixas velocidades e atravessam uma região entre dois ou mais átomos cuja distância seja comparável ao seu comprimento de onda, elas sofrem difração: um fenômeno essencialmente ondulatório. Diferentemente daquilo que sabemos pela Física clássica, no domínio quântico (das partículas muito pequenas), as Leis da Física são diferentes: não existem ideias definidas como posição, velocidade ou trajetória. Na Mecânica Quântica, as “partículas” são uma distribuição espacial de probabilidades, como se fossem “*campos de matéria*”.

Esses campos, por sua vez, propagam-se no espaço como ondas, sofrendo, assim, todos os tipos de fenômenos que uma onda pode sofrer: reflexão, refração, transmissão, difração, interferência etc. Fundamentalmente, esse comportamento está relacionado com a impossibilidade de se determinar com total precisão e simultaneamente as grandezas posição e velocidade das partículas quânticas, em razão do princípio da incerteza de Heisenberg.

Princípio da Incerteza

Consiste num enunciado da Mecânica Quântica formulado em 1927 por Werner Heisenberg, também chamado de Princípio da Incerteza de Heisenberg, afirma que não podemos determinar com precisão a posição e o momento de uma partícula; o Princípio da Incerteza relaciona duas grandezas, como posição e quantidade de movimento ou energia e tempo, por meio do produto das incertezas das medidas realizadas sobre elas. “O princípio da incerteza nos dá a justificativa fundamental de por que a mecânica quântica se expressa na forma de probabilidades, e não de certezas.” (EISBERG, RESNICK, 1979)

Quanto maior for a precisão da posição de um corpo, menor será a precisão na medida de sua quantidade de movimento. Na Mecânica Quântica uma propriedade leva o nome de observável, pois não existem propriedades inobserváveis neste contexto, para a determinação de um observável, é necessária que se tenha uma preparação conveniente do aparato de medida a fim que se possa obter uma coleção de valores.

Qual o papel do Princípio da Incerteza para Mecânica Quântica? De acordo com esse princípio, toda vez que tentarmos obter medidas, estaremos interferindo de alguma forma na própria medida. Não por falta de habilidade de quem está executando as medidas ou por falta de instrumentos adequados, mas sim a incerteza está presente de qualquer forma, é intrínseco aos sistemas, o ato de medir determinada grandeza, interfere na medição de outra grandeza conjugada. Suponhamos um elétron, se quisermos medir a velocidade e a posição, ao observá-lo forneceremos energia a ele, assim

mudamos seu estado energético, sua velocidade, por exemplo, se tivermos dessa forma uma informação da sua posição, não conheceremos por este processo seu momento linear, por isso os métodos da física clássica não se aplicam na física quântica.

Veremos que no mundo quântico objetos minúsculos, como os elétrons, podem se comportar como partícula, ou como onda, podem em dado momento se comportar como partícula e já no momento seguinte se comportar como onda, dependendo de como um observador tenta medi-lo ou da forma que ele os observa. A observação determina o estado comportamental e determina, também, a realidade, isso é claro; não determina o estado do mundo macroscópico e que as pessoas vivenciam no dia-a-dia.

CAPÍTULO 2

Equação de Schroedinger e a Função de Onda

A partir da equação de Schroedinger, é possível obter soluções capazes de fornecer informações fundamentais sobre o comportamento de uma partícula-onda. Nela, são contempladas até mesmo as influências de forças externas, o que marca um nítido avanço em relação à proposta de de Broglie. A equação de Schroedinger tem um papel análogo, na Mecânica Quântica, ao desempenhado na Física Clássica pela segunda lei de Newton, que relaciona, através de uma equação diferencial, força e posição de uma partícula.

A equação de Schroedinger descreve as funções de onda, os estados, das partículas; a função de onda é aceita como uma distribuição de probabilidade. “O valor da função densidade $f(x,t)$, indica o quão provável é que um objeto seja detectado na posição x , no instante de tempo t .” Assim, sabemos que objetos quânticos são descritos ou representados através de densidades de probabilidade. Que são medidas obtidas através de variáveis escolhidas aleatoriamente. (ROSENBLUM; KUTTNER, 2017)

A equação de Schroedinger é usada para encontrar os níveis de energia permitidos dos sistemas de mecânica quântica, como átomos ou elétrons em transistores. A função de onda associada dá a probabilidade de encontrar a

partícula em uma determinada posição. “Um objeto quântico não possui posição definida antes que seja realizada uma medição de sua posição.”

A equação de Schroedinger é:

$$\frac{-\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi + V(r,t)\Psi = i\hbar\frac{\partial\Psi}{\partial t}$$

A solução para esta equação é uma função de onda que descreve os aspectos quânticos de um sistema. Entretanto, interpretar fisicamente a função de onda é um dos principais problemas filosóficos da mecânica quântica. Não é possível se chegar a uma dedução da equação de Schroedinger a partir de outros princípios; ela é o princípio em si. Resolver a equação de Schroedinger conduz ao conhecimento da evolução temporal e espacial da forma de onda associada a uma partícula qualquer. No entanto, a função Ψ não permite, em conformidade com o princípio da incerteza, que se determine com precisão arbitrária qualquer grandeza associada à partícula. O estudo da função de onda, é uma grande fonte de informação estatística, podemos conhecer apenas valores esperados para os observáveis físicos. (ROSENBLUM; KUTTNER, 2017)

A probabilidade de Born

Max Born formulou a interpretação padrão de hoje da função de densidade de probabilidade (citado anteriormente), baseada no módulo ao quadrado da função de onda, $\Psi^*\Psi = |\Psi|^2$, que é uma grandeza real, mesmo Ψ sendo uma grandeza complexa. A interpretação probabilística da função de onda, proposta por Max Born, é considerada o terceiro alicerce que mantém, juntamente com o princípio da complementaridade de Niels Bohr, a realidade dos fenômenos físicos que se apresenta sob duas imagens; corpuscular e ondulatória, que são recíprocas, bem como as relações de incerteza de Werner Heisenberg segundo a interpretação de Copenhague. “O princípio da complementaridade refere à observação de dois aspectos do comportamento da partícula, ondulatório e corpuscular e foi enunciado por Niels Bohr, em 1927.” (MOVAES, STUDART, 2016)

Born assumiu que a onda de matéria, representada pela função de onda, tem uma amplitude tal que $|\Psi|^2$, que está relacionada ao número de partículas por unidade de volume. Essa equação representa a probabilidade de encontrar a partícula nas vizinhanças do ponto considerado. Como dissemos essa grandeza é real, porque conforme veremos mais adiante, ψ não é necessariamente uma grandeza real, pode ser grandeza complexa com parte real e uma parte imaginária. A parte imaginária da função consiste de uma função multiplicada pelo número imaginário $i = \sqrt{-1}$. Para uma partícula que se desloca em três dimensões, a grandeza $|\psi(x,y,z)|^2$ é a probabilidade de que uma partícula seja encontrada no tempo t dentro de um volume em torno do ponto (x,y,z) . Para que a partícula seja encontrada na região, devemos ter uma região grande, pois quanto maior a região, maior a chance de encontrar, lembrando que estamos falando de mecânica quântica, “universo” muito pequeno. Isso requer que haja uma normalização da função de onda, ou seja, a $\int |\psi|^2 dv$ no espaço total seja exatamente igualada a 1. Em outras palavras, existe uma probabilidade de 100% de encontrar a partícula em algum lugar do Universo.

CAPÍTULO 3

EXPERIMENTO MENTAL; O GATO DE SCHROEDINGER

O gato de Schroedinger é uma experiência mental, discutido frequentemente como sendo um paradoxo. Um paradoxo, como sabemos, é a falta de lógica que se dá à determinada situação, dificultando seu entendimento e assim tornando impossível determinada ideia ou conceito, não sendo possível discernir ou chegar a uma conclusão.

Vejamos; neste experimento que descreveremos a seguir para a física quântica o gato poderá estar vivo ou morto ao mesmo tempo, já para mecânica clássica, isso seria impossível, pois não se podem ocupar dois lugares ao mesmo tempo, ou dois corpos ocuparem o mesmo lugar em tempos diferentes,

assim como não se é possível estar em dois estados, morto e vivo, ao mesmo tempo, isso é o que sabemos levando em conta o mundo que enxergamos e as probabilidades possíveis de se saber. Iremos entender, partindo do princípio da mecânica quântica, como é possível ter um gato morto e vivo ao mesmo tempo, na situação proposta a seguir.

Temos o objetivo de colocar um gato, inicialmente um gato vivo, dentro de uma caixa qualquer, uma caixa de papelão, por exemplo, e fechá-lo lá dentro. Junto ao gato, dentro da caixa, é colocado um frasco contendo gás venenoso, para esse experimento mental, poderíamos também, usar outro veneno qualquer, desde que obedeça a ideia de fechar o gato dentro da caixa com um frasco de veneno. Então, junto ao gato dentro da caixa colocamos um frasco contendo um elemento radioativo emissor de partículas alfa e um dispositivo composto de um martelo e um detector de radiação. Se o detector registrar a presença de pelo menos uma partícula alfa, então o martelo é acionado quebrando, assim, o frasco, liberando o gás venenoso que se encontra junto ao gato dentro da caixa e, conseqüentemente, matando-o. Mas vamos considerar que a fonte radioativa possa liberar partículas alfa dentro de um intervalo de tempo determinado, e que também possa não liberar essas partículas nesse tempo, se não liberar as partículas, temos a possibilidade de o gato continuar vivo, se liberar as partículas; o gato morre. Existem 50% de chance de que o elemento libere a partícula e 50% de chance de que ele não libere. Se ele não libera a partícula, o gato não morre, ou seja, o resultado será “gato vivo”. Mas se o veneno é liberado, o resultado do experimento será “gato morto”. Então podemos dizer que temos 50% de chance de ter o gato vivo e 50% de chance de ter o gato morto. Enquanto não abrirmos a caixa, não poderemos ter certeza se o gato, lá dentro, está vivo ou está morto, consideremos então que; antes de abrir a caixa temos as duas possibilidades coexistindo, vejamos; a única forma de ter certeza é abrindo a caixa, certo?! Pode ser estranho, mas para a mecânica quântica o gato, antes de abrir a caixa, se encontra nos dois estados; vivo e morto, ao mesmo tempo. Como isso é possível? Como é dito por Bruce e Fred, no livro O Enigma Quântico, “A dualidade se apresenta complexa e o gato pode estar vivo e morto ao mesmo

tempo. A sua observação pode alterar a realidade ou criá-la. Será? Bem-vindo à Mecânica Quântica!"

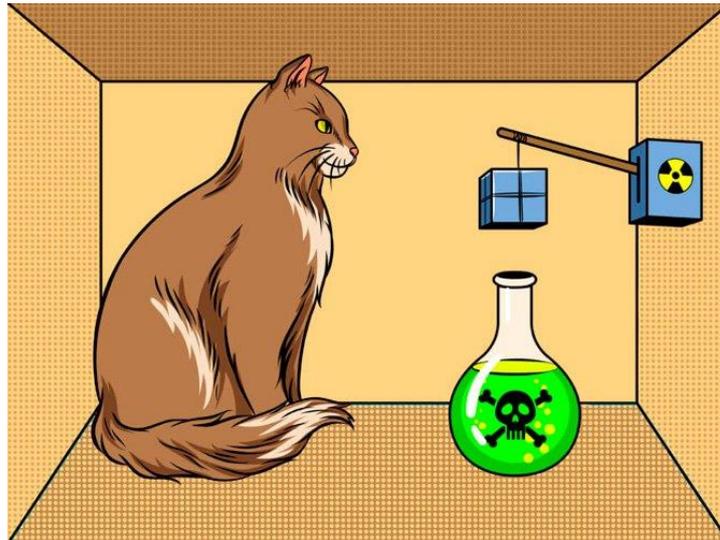


Figura 4– Gato inicialmente vivo (blog.biologiatotal.com.br)

Como vimos anteriormente, a matéria também tem natureza ondulatória, possui uma função de onda associada, que em determinadas situações pode ditar seu comportamento. Portanto, o gato vivo pode ser representado por uma função de onda, o gato morto é representado por outra função de onda. A função de onda do gato é então uma combinação linear destes dois estados. A ideia de o gato estar vivo e morto ao mesmo tempo, indica que houve uma superposição dessas duas funções de onda que indica os dois estados possíveis; vivo ou morto. E se abrirmos a caixa, o que encontraremos? A resposta para esta pergunta vem do Princípio da Incerteza de Heisenberg, que diz; que não é possível fazer uma medida sem interferir no resultado da própria medida.

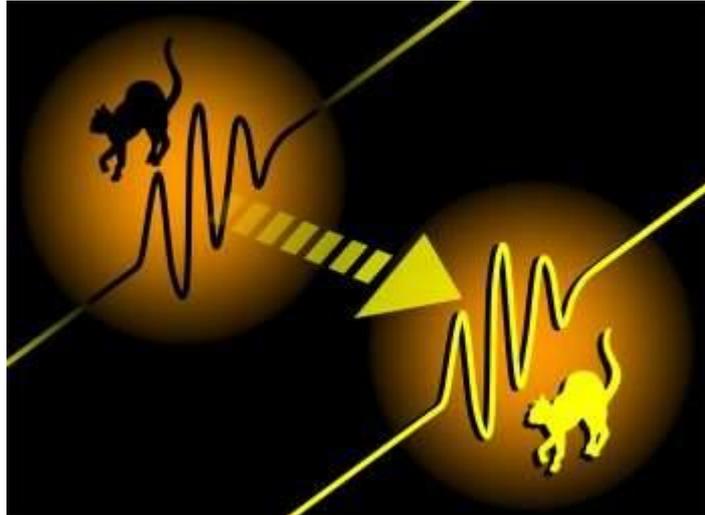


Figura 5– Colapso da função de onda (inovacaotecnologica.com.br)

Então, se abrirmos a caixa e olharmos o estado do gato lá dentro, estaremos interferindo no resultado do sistema, alterando seus resultados, estaremos realizando uma medida que de maneira direta, irá prejudicar a própria medida. Esta é uma diferença entre a mecânica clássica e a mecânica quântica, na mecânica clássica, observar não interfere no resultado final do sistema, já na mecânica quântica, a não alteração não é possível, pois é o observador quem dá o resultado final a qualquer sistema físico.

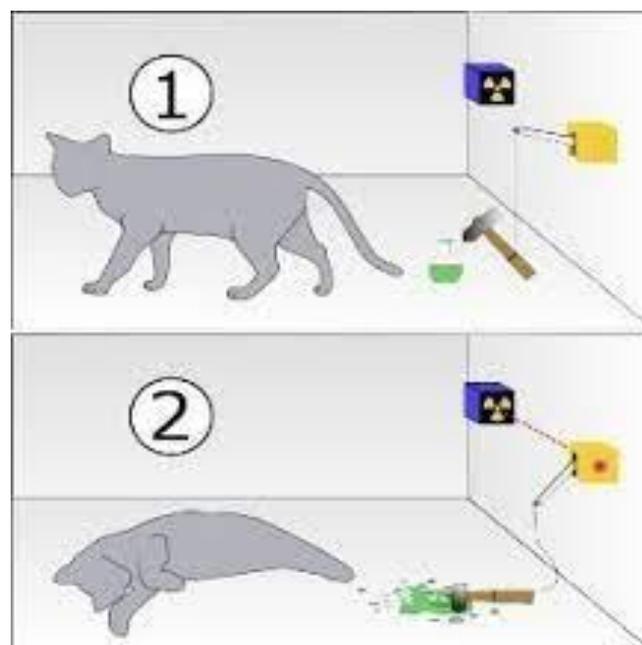


Figura 6– Gato vivo e morto (mecanicaquantica.wordpress.com)

Digerindo esse conceito; podemos ter duas realidades antes de abrir a caixa; o gato vivo em uma realidade e na outra o gato morto. Ao abrirmos a caixa temos apenas uma realidade; o gato morto ou o gato vivo. Ao que nos parece ser o mundo real, o gato só estará em um estado após abrir a caixa e ao que nos parece ser um mundo não real e difícil de compreender, existem duas possibilidades ao mesmo tempo; o gato vivo e morto. A seguir veremos sobre o papel do observador na mecânica quântica, até aqui, vimos que o observar altera o estado do sistema, fazendo com que apenas uma realidade seja possível existir no nosso mundo; o que chamamos de mundo real, palpável e observável. (ROSENBLUM; KUTTNER, 2017)

CAPÍTULO 4

O PAPEL DOS OBSERVADORES

Sobre o surgimento do universo

Como disse de Grasse, Tyson em “Origens; catorze bilhões de anos de evolução cósmica”;

“No início, havia a física. A “física” descreve como a matéria, a energia, o espaço e o tempo se comportam e interagem uns com os outros. A interação desses atores em nosso drama cósmico está subjacente a todos os fenômenos biológicos e químicos. Por isso, tudo que é fundamental e familiar a nós terráqueos começa com as leis da física e nelas se baseia.”

Para de Grasse, tudo que existe no mundo se baseia em leis da física, desde seu surgimento até os dias de hoje. Mesmo no início, era a física que descrevia como a matéria se comportava e como interagia com a energia, espaço e tempo. Portanto, as leis da física facilitam o entendimento de todas as ações da natureza, sendo elas observáveis ou não, sendo em grandes escalas ou em escalas diminutas. Vejamos a seguir a teoria do Big Bang que supostamente deu início ao universo.

Conhecemos como “início”, o Big Bang, uma grande explosão cósmica que é partir de onde surgiria o universo. De Grasse Diz; “Durante essa época,

os fenômenos descritos pela teoria da relatividade geral de Einstein e pela mecânica quântica eram indistinguíveis.” (TYSON, 2015) Talvez, partindo da afirmação de deGrasse, nesse intervalo de evolução cósmica, seria onde a mecânica clássica e a mecânica quântica, se combinavam e partir disso se diferenciariam mais tarde. Porém, houve uma “época” em que elas estavam praticamente unificadas.

Seguindo com o Big Bang, entendemos que no início havia uma mistura de partículas subatômicas que se moviam em todos os sentidos com velocidade alta, próxima à velocidade da luz, à medida que o universo se esfriava, houve a combinação de elementos, com o passar do tempo começaram a se formar os mais diversos tipos de átomos, até formarem galáxias, planetas e até chegar ao universo que temos hoje.

Cabe ressaltar que, para muitos estudiosos de mecânica quântica, existem multi universos e alguns são regidos por suas próprias leis. Assim podemos ter combinações de elementos que formaram universos parecidos com o nosso universo, ou então combinações que levaram a universos totalmente diferentes. “No multiverso, cada novo universo irrompe com suas próprias leis físicas e seu próprio conjunto de parâmetros cósmicos, inclusive as regras que determinam o tamanho da constante cosmológica.” (TYSON, 2015). A constante cosmológica é representada pela letra lambda maiúscula; Λ , e foi proposta por Einstein quando ele conclui que o universo deve ser estacionário e não estar em expansão. Mais tarde verificou-se que esta hipótese de Einstein estava errada, e ele admitiu seu erro, pois o universo está em expansão.

Os cosmólogos dão a essa abordagem, que busca explicar o valor da constante cosmológica, o nome de princípio antrópico. O princípio antrópico pode favorecer várias estruturas mentais teológicas e teleológicas. Diante disso, alguns estudiosos acreditam que a abordagem antrópica ou princípio antrópico, sustenta as convicções deles, pois ela sugere um papel central para a humanidade, que sem alguém para observar o cosmos, este como conhecemos, não estaria aqui, não existiria, ou talvez não existisse da forma como o conhecemos, pois o universo existe para que nós observadores possamos observá-lo, sendo assim; esse é o principal objetivo de sua

existência. Por esse motivo acreditam que algo com poder mais elevado teria feito o universo para nós (observadores), exatamente como o conhecemos, com as leis que o regem, as quais podemos compreendê-las.

Analisando os conceitos, de multiversos, e a abordagem antrópica, podemos incliná-los em diferentes direções para atender às necessidades de várias crenças diferentes, crenças de estudiosos, religiosos, cientistas e etc., mas muitos cosmólogos acham suficiente acreditar no multiverso, sem ligá-lo a qualquer sistema de crenças. No entanto, até mesmo para formular um conceito, se faz necessário uma “crença”, a partir daí estabelecer hipóteses, obter provas e formular uma teoria aceitável do ponto de vista coletivo.

O Observador

Sobre o surgimento do universo; a questão abordada aqui é; tudo surgiu do nada? Houve um observador ou um arquiteto primordial para dar início ao universo? Se houve ou há um “arquiteto” ele usou das leis da mecânica clássica e da mecânica quântica para modelar o universo ou ele teria um elo, para usar o que para nós parece ser divergente. Será que para o arquiteto tudo que parece impossível na física não seria mero ponto de vista? Ressaltando que, como falamos anteriormente, acredita-se que houve uma “época” em que as duas mecânicas estavam praticamente unificadas.

Quando existia o nada, mesmo que estranho, já existia alguma coisa, talvez o tecido espaço-tempo? Talvez outros universos, e a partir das combinações; escolhas, consequências ou aleatoriedades daí surge nosso universo. Imaginemos um lugar onde para cada escolha existe um universo e a partir de cada universo, à medida que os observadores modelam sua realidade, surgem outros lugares, com pequenos detalhes diferentes ou totalmente diferentes. Neste contexto, teria o Observador Primordial, propositalmente ou não, interferido nas proporções da existência do “nada”, assim interferindo no sistema e dado início ao universo e, em seguida se fragmentado, ficando então, ligado a todos os átomos existentes.

O Observador que deu início ao todo

Um dos físicos donos de uma das mentes mais brilhante dos últimos tempos Stephen Hawking, nos diz no seu livro, *Breves respostas para grandes questões*;

As leis da natureza nos dizem que não só o universo pode ter surgido sem ajuda, como um próton, e não ter exigido nada em termos de energia, como também é possível que nada tenha causado o Big Bang. À medida que viajamos de volta no tempo em direção ao momento do Big Bang, o universo fica cada vez menor e continua diminuindo até finalmente chegar a um ponto em que se torna um espaço tão ínfimo que na verdade se trata de um único buraco negro infinitesimalmente pequeno e denso. E, assim como acontece com os buracos negros que hoje flutuam pelo espaço, as leis da natureza ditam algo verdadeiramente extraordinário. Elas nos dizem que aí também o próprio tempo tem que parar. Não podemos voltar a um tempo anterior ao Big Bang porque não havia tempo antes do Big Bang. Finalmente encontramos algo que não possui uma causa, porque não havia tempo para permitir a existência de uma. Para mim, isso significa que não existe a possibilidade de um criador, porque ainda não existia o tempo para que nele houvesse um criador.

Conhecemos como tempo o espaço entre um evento e outro, por exemplo; a data de nascimento de uma pessoa e a data de sua morte, ou o nascimento de uma estrela e sua morte, para entendermos o espaço entre estes eventos, do nascimento à morte, é necessário usarmos do que conhecemos como tempo. Para Hawking, o universo pode ter surgido do nada, ou seja; não houve necessidade de um criador para dar início ao universo, para ele tudo que conhecemos hoje surgiu do nada e para ele isso é completamente possível. Se voltarmos no tempo até o momento do Big Bang, chegaríamos a um momento em que o tempo ainda não existia, não teria iniciado o tempo para chegar a catorze bilhões de anos depois; agora. Portanto, se anteriormente não existia nem mesmo o que chamamos de tempo, então não havia necessidade ou não seria possível existir um criador. Com isso podemos considerar que atualmente e no início, não houve necessidade de um arquiteto para formatar o universo, não foi necessária sua ideia inicial como também não foi necessária sua existência para dar início ao Big Bang, sendo assim esse arquiteto também foi e é necessário nos milhares de anos depois, partindo da ideia de que tudo

foi criando forma por si só e através das ações da natureza, e essa natureza não seria regida por ninguém, ou seja; ela funciona e dá forma às coisas por si só.

Sendo assim, para alguns cientistas, as ações das pessoas é o que comprometem a natureza, gerando alterações climáticas, elevando os níveis do oceano com derretimento das geleiras, aumento da temperatura, entre outros. Também a ação do tempo vai modificando os sistemas, a natureza, mundo e o universo em geral, por exemplo, o fenômeno de uma supernova, que dá por si só com a ação do tempo.

Além de cientistas que acreditam que o universo surgiu por si só, temos também aqueles que acreditam que houve um “observador primordial.” Sendo assim, considerando o surgimento do universo e a teoria quântica, teria este observador primordial criado às leis quânticas que permitiram o acontecimento do Big Bang?

Em contrapartida temos outra mente brilhante, já citada anteriormente, Isaac Newton, ele diz; "Então a gravidade pode colocar os planetas em movimento, mas sem o Poder Divino, nunca poderia colocá-los em um movimento circulante, como ocorre com o Sol". (TYSON, 2015). Entendemos que Newton acreditava que um ser divino teria feito o universo e que o mesmo regia as leis que o governam. Para ele um universo com a precisão e formato que temos, só poderia ter por trás um arquiteto, que planejou até os mínimos detalhes. Vale ressaltar que, para Newton e vários outros cientistas e estudiosos, houve um criador, que chamamos de Observador Primordial, que teria sido responsável pelo início do universo e pelos acontecimentos das coisas até os dias de hoje, pois sem ele haveria desordem e as coisas fugiriam do controle, até mesmo do controle da natureza.

Não temos como ter certeza sobre como iniciou o universo, porém temos teorias aceitas como é a do Big Bang e, além disso, temos a capacidade de discernir por nós mesmos se houve e ainda há um observador inicial por trás do surgimento do universo, ou se o universo surgiu por si só. Para a mecânica quântica, temos o conceito de entrelaçamento quântico, que falaremos mais a seguir, que nos diz que partículas podem estar conectadas umas às outras, se uma partícula é manipulada de determinado ponto do universo, a outra

partícula é manipulada automaticamente. Neste conceito, partículas também podem estar em dois lugares ao mesmo tempo ou até mesmo informações viajar numa velocidade superior à velocidade da luz. Isso não prova a existência de um observador primordial, mas nos ajuda a pensar em um observador em termos físicos. Veremos no próximo capítulo, sobre a visão de Einstein sobre a indeterminação quântica.

A Realidade Depende do Observador?

Sabemos que um fato é uma realidade, ou seja, um fato é uma ocorrência no mundo real, onde todos sabem que se trata de realidade mesmo que ninguém observe, se tratando de observadores conscientes. Um exemplo de um fato é a existência de um vírus que está matando várias pessoas no mundo todo e isso não depende de quem observa, continuará sendo a realidade, independentemente da observação. Mas e no nível quântico, fatos existem?

A teoria quântica nos diz que cada observador enxerga um fato de determinada maneira. Então, mesmo se tratando de um fato, ele não é visto da mesma maneira por diferentes observadores. Sabemos que para a ciência é importante que os fatos sejam iguais para todos que observam, mas para a mecânica quântica os fatos são subjetivos e pode ser que cada um enxergue sua própria realidade. Porém isso não quer dizer que os fatos não existem, eles existem, mas não de maneira objetiva, podendo ser que cada observador visualize um fato e esse fato pode, também, existir simultaneamente entre eles.

Imaginamos que todo o universo é um sistema quântico, partindo dessa ideia podemos interpretar o universo como cada um tendo sua própria realidade, porém a teoria quântica se aplica em escalas diminutas, e para um universo tão grande os efeitos quânticos se tornam imperceptíveis.

CAPÍTULO 5

COMENTÁRIOS FINAIS

À medida que a precisão experimental evolui, diminuem os questionamentos quanto à mecânica quântica. A capacidade de precisão dos experimentos aumenta significativamente com a aplicação da própria mecânica quântica. No passado houve quem duvidasse da teoria quântica, como temos hoje, mas hoje em dia temos mais comprovações científicas e conseguimos um melhor discernimento da teoria,

Ainda há muito a ser desvendado, muito a ser investigado no ramo da física e ao que se diz respeito à mecânica quântica mais ainda, mas estamos mais confortáveis agora do que no passado com as descobertas dos grandes cientistas, tivemos grandes avanços na teoria quântica desde a sua concepção, entretanto estar confortável não quer dizer que as descobertas terminam por aí. As várias descobertas nos trouxeram a tecnologia que temos hoje e veremos mais avanços tecnológicos ainda, provenientes da mecânica quântica, no futuro. O futuro é incerto, mas de certo modo é previsível, não levando em conta, neste caso, que cada indivíduo cria sua realidade, porém crendo que coletivamente criaremos uma realidade mais interessante e digna para todos, através; da ciência, da fé e do conhecimento.

BIBLIOGRAFIA

J. Andrade E Silva e G. LochokGraos e Campos; A Realidade na Física Quântica; Instituto de Novas Profissões, Lisboa: José Ramalho Coca; Departamento de Física; UniversityofLisbon. (acessado em 10 de maio de 2021)

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. Física Quântica; átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. 1. ed. 1979. 936 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert, WALKER; Jearl. Fundamentos de física Vol. 3. 4a edição. Rio de Janeiro, RJ, LTC, 1996.

SAKURAI, JJ; NAPOLITANO, Jim. Mecânica quântica moderna. Tradução técnica: Silvio Renato Dahmen. Porto Alegre: 2. ed. Bookman, 2013. 548 p.

MOVAES, Marcel; STUDART, Nelson. Mecânica quântica básica. 1. ed. São Paulo: Livraria da física, 2016.

ROSENBLUM, Bruce; KUTTNER, Fred. O enigma quântico; o encontro da física com a consciência. 1. ed. São Paulo: Editora Zahar, 2017. 336 p.

TYSON, Neil de Grasse; GOLDMITH, Donald. Origens: 14 bilhões de anos de evolução cósmica. 1. ed. São Paulo: Planeta do Brasil, 2015. 384 p. Tradução de Rosaura Eichenberg.

F. Selleri, Paradoxos e Realidade, Editorial Frangmentos, 1990.

NEWTON, Isaac; Princípios Matemáticos da Filosofia Natural. 1, 2. ed. Inglaterra: 1687.

HAWKING, Stephen. Uma breve história do tempo: do Big Bang aos buracos negros. Lisboa: Gradiva; Rio de Janeiro: Rocco, 1988. 256 p. (idioma original)
Tradução por Maria Helena Torres. 262 p.

Biografia dos cientistas citados; ebiografia.com (acessado em 10 de maio de 2021)

APÊNDICE A

ALGUMAS APLICAÇÕES DA MECÂNICA QUÂNTICA

A mecânica quântica possui enorme sucesso em explicações do comportamento e das características do universo, para o nosso mundo a mecânica quântica possui diversas utilidades, pois sem suas descobertas, muitas de nossas tecnologias não teriam sido criadas.

O computador quântico, por exemplo, que utiliza fenômenos da mecânica quântica para obter aumento no poder de processamento. Apesar de sua tecnologia avançada, é previsto que os computadores quânticos não acabem com os computadores convencionais, pois utilizar uma máquina convencional ainda será a opção mais econômica e provavelmente a mais eficaz. O poder do computador quântico está na sua capacidade de manipular e de gerar bits quânticos. Na medicina temos o laser quântico, que apresenta todas as características de um laser clássico e também as características e propriedades da mecânica quântica; é um laser formado por um único átomo. Podemos citar também, imagem por ressonância magnética, que é uma aplicação direta com conceitos quânticos. Temos, também, o microscópio quântico, o microscópio quântico ou microscópio de corrente de tunelamento é um instrumento que nos permite visualizar imagens de moléculas, átomos e etc., ele nos permite visualizar imagens a nível atômico.

Dentre as várias aplicações da mecânica quântica, cabe ressaltar a energia solar, que é uma forma de economia sustentável. Nesse processo, toda energia obtida por meio de painéis solares, só existe graças ao efeito fotoelétrico. Onde; os fótons se chocam com os elétrons contidos no material, expulsando-os para fora. A energia solar vem se ampliando no mercado, tomando cada vez mais curiosos, prevê-se que nas próximas décadas serão

gerados diversos empregos graças ao mercado de energia solar e sua utilização será cada vez mais prescindível.

APÊNDICE B

ALGUMAS CONSTANTES FÍSICAS FUNDAMENTAIS

Uma constante física é uma grandeza física que não depende do sistema de unidades e é representada por um número sem dimensão. Portanto, são constantes universais. Algumas constantes físicas podem ser muito grandes, como é o caso da constante da velocidade da luz ou sem dimensão como a constante de Planck.

A tabela a seguir mostra algumas das principais constantes fundamentais da física.

Constante Física	Símbolo	Valor	Unidade
a velocidade da luz no vácuo	c	299792458	ms ⁻¹
constante magnética	μ_0	12,566370614 e -7	N A ⁻¹
constante elétrica	ϵ_0	8,854187817 e -7	M m ⁻¹
constante de Planck	h	6,6260693 e -15	J s
carga elementar	e	1,60217653 e -19	C
quantum condutância	S	7,748091733 e -5	S
constante da gravitação universal	G	6,674184x10 ⁻¹¹	m ³ kg ⁻¹ s ⁻²
massa do elétron	Me	9,1093826 e -31	kg
massa do próton	Mp	1,67262171 e -27	kg
massa do nêutron	Mn	1,67492728 e -27	kg
massa da partícula alfa	Ma	6,6446565 e -27	kg
impedância característica do vácuo	Zo	376,7303135	Ω

Tabela 1 – Constantes físicas (autor; Soluá, maio de 2021)

APÊNDICE C

BIOGRAFIA DOS PRINCIPAIS CIENTISTAS CITADOS

Max Planck (1858-1947)

Foi um grande físico nascido na Alemanha mais conhecido como o pai da mecânica quântica. Em 1918 recebeu o Prêmio Nobel de Física. Planck nasceu na cidade de Kiel em 23 de abril de 1858. No ano de 1874, Max Planck ingressou na Universidade de Munique onde começou a estudar física.



Louis de Broglie(1892-1987)

Foi um físico francês nascido em 15 de agosto de 1892 em Dieppe. Teve importante contribuição para formulação da teoria quântica. Também foi matemático, filósofo, historiador e físico teórico. Em 1924 de Broglie postulou sua tese de doutorado que falava sobre partículas também possuírem um comprimento de onda. Ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1929.

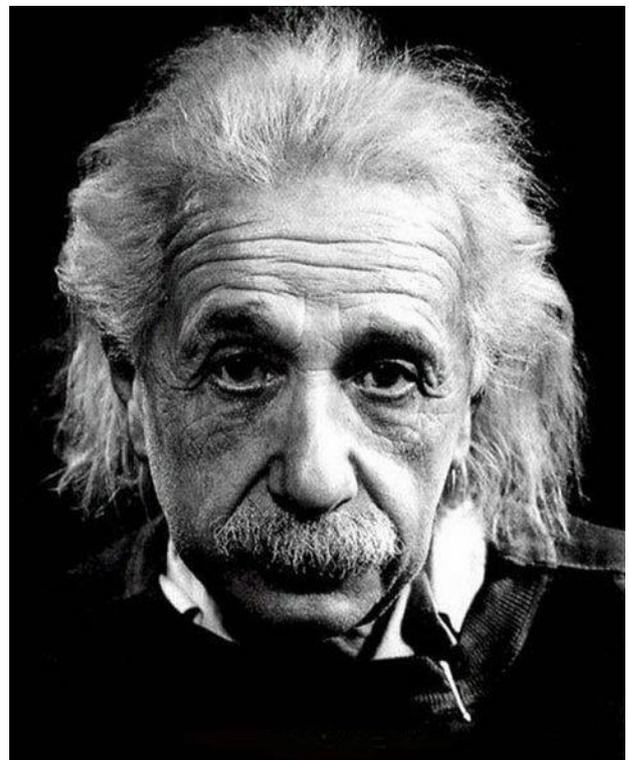


Werner Karl Heisenberg (1901-1976)

Foi um físico teórico, nascido na Alemanha em 5 de dezembro de 1901. Em 1927 apresentou o Princípio da Incerteza. Fez, também, grandes importantes contribuições, além da mecânica quântica, nos campos da hidrodinâmica em escoamentos turbulentos. Ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1932 “pela criação da mecânica quântica”.

**Albert Einstein (1879-1955)**

Einstein foi um físico e matemático nascido na Alemanha. Conhecido como um dos maiores gênios de todos os tempos, por ter desenvolvido a Teoria da Relatividade. Desenvolveu a equação mais conhecida de todas: $E=mc^2$. Por suas descobertas sobre o efeito fotoelétrico ganhou o Prêmio Nobel de Física. Depois de sua teoria ser comprovada, realizando uma experiência durante eclipse solar, Einstein tornou-se um dos cientistas mais conhecidos do mundo.



Erwin Schroedinger (1887-1961)

Nascido em 12 de agosto de 1887 na Áustria, desde muito cedo demonstrou grandes habilidades em matemática e física. Em 1933 recebeu o Prêmio Nobel de Física pelos seus trabalhos sobre mecânica ondulatória. Ficou mais conhecido por propor a experiência mental conhecida como o Gato de Schroedinger.

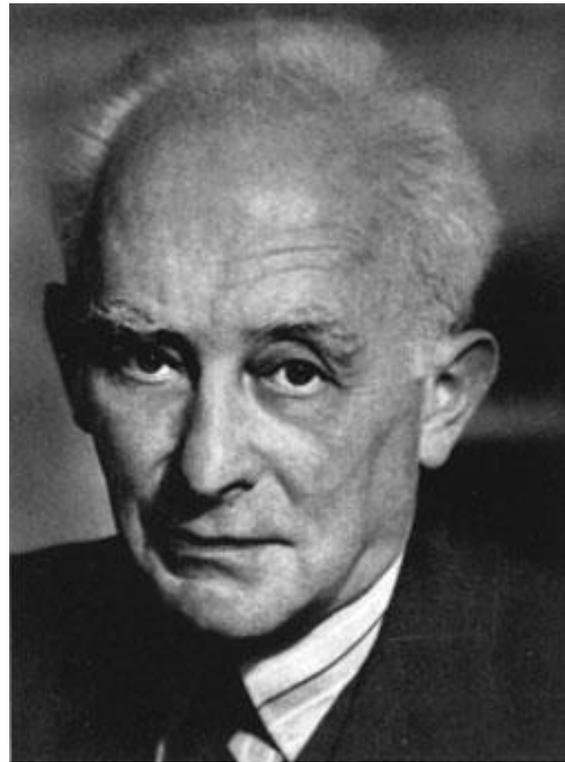
**Niels Bohr (1885-1962)**

Nascido em Copenhague em 7 de abril de 1885. Foi um físico, que estabeleceu o modelo atômico e recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1922. Aos 12 anos estudou Humanidades e Ciências em Sortedam Gymnasium. Concluiu o doutorado em física no ano de 1911. Bohr formulou a ideia de que os elétrons giravam ao redor do núcleo do átomo.



Max Born (1882-1970)

Nasceu em 11 de dezembro de 1882, na Alemanha, porém mais tarde foi naturalizado britânico. Estudou na Universidade de Breslau e na universidade de Heidelberg e Zurique. Ganhou o Prêmio Nobel em Física em 1954, pelas suas contribuições Teoria Quântica. Formou a interpretação da densidade da probabilidade, na equação de Schroedinger da mecânica quântica, para o quadrado da função de onda, por esse estudo em 1954 recebeu o Prêmio Nobel de Física.

**Stephen Hawking (1942-2018)**

Nascido na Inglaterra em 8 de janeiro de 1942, foi um grande físico. Aos 21 anos Hawking descobriu uma doença degenerativa, apesar do diagnóstico, superou as expectativas. Realizou importantes contribuições para a Física Moderna. Sua importante contribuição para a mecânica quântica foi a descoberta da radiação dos buracos negros. Ganhou diversos prêmios, sendo um deles o Prêmio Especial de

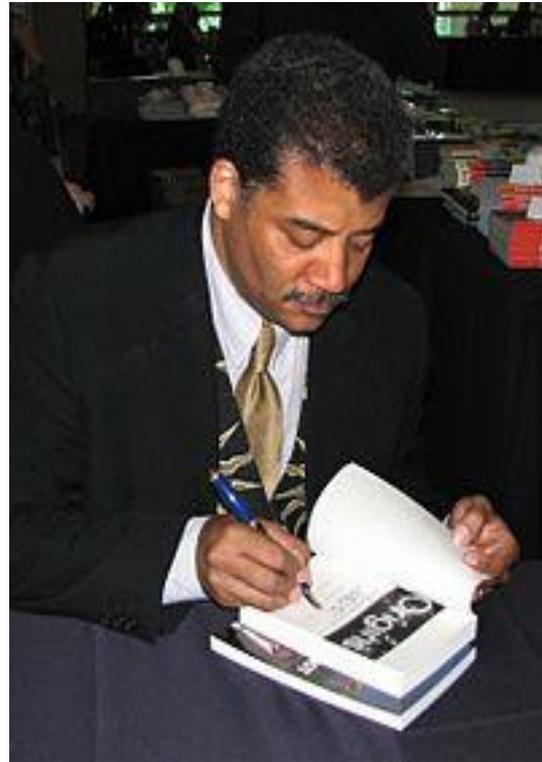
Física

Fundamental.



Neil de Grasse Tyson (1958)

Nasceu em 5 de outubro de 1958 em Nova York. Foi convidado por Carl Sagan para se graduar, porém Tyson decidiu estudar física na Universidade de Havard. Concluiu o doutorado em astrofísica em 1991. Escreveu diversos artigos científicos, livros sobre astrofísica e apresentou programas de tv. Entre outros vários prêmios, em 2017 ganhou a Medalha Hubbard, da National Geographic Society.



Isaac Newton (1643-1727)

Newton foi um físico, matemático e astrônomo, nasceu no dia 4 de janeiro de 1643 na Woolsthorpe, Inglaterra. Descobriu a lei fundamenta da gravitação, iniciou as leis básicas da mecânica e, também, criou os métodos cálculo diferencial e integral, além de suas grandes descobertas no campo da

óptica.





PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
 PRÓ-REITORIA DE DESENVOLVIMENTO
 INSTITUCIONAL
 Av. Universitária, 1069 | Setor Universitário
 Caixa Postal 86 | CEP 74605-010
 Goiânia | Goiás | Brasil
 Fone: (62) 3946.3061 ou 3069 | Fax: (62) 3946.3060
 www.pucgoias.edu.br | prodir@pucgoias.edu.br

RESOLUÇÃO n° 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante Soluá Daniele Ferreira da Costa do Curso de Licenciatura plena em Física, matrícula 20161001300342, telefone: (62) 99215-0014, e-mail soluafisica@uol.com.br, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei n° 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Física e Realidade** gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 11 de junho de 2021.

Assinatura do(s) autor(es): Soluá Daniele F. da Costa

Nome completo do autor: Soluá Daniele Ferreira da Costa

Assinatura do professor-orientador: Francisco Osório

Nome completo do professor-orientador: Francisco Aparecido Pinto Osório