



Início - Sobre o NAEQ - Mini-Cursos - Material Didático - Fale Conosco - SAVEQ

[Fitas de Vídeo](#) - [Livros Didáticos](#) - [Experimentos](#) - [Textos Interativos](#) - [Sites de Química](#)

[imprimir](#) | [voltar](#)

Textos Interativos

last update: 16/02/2004

Universidade de Caxias do Sul - UCS

Departamento de Física e Química - DEFQ

Caxias do Sul - RS - Brasil



100 anos
de mistérios
quânticos

por Max Tegmark e John Archibald Wheeler

Reprodução do artigo original do site da :
<http://www2.uol.com.br/sciam/reportag>

Ao completar cem anos, a teoria quântica exhibe um saldo de proezas espetaculares e enigmas persistentes

"Daqui a poucos anos, praticamente todas as grandes constantes da Física terão sido estimadas, e... a única ocupação que restará aos homens de ciência será aumentar em uma casa decimal a precisão das medidas." Essas palavras traduzem um sentimento familiar ao século 21, especialmente quando nos vem à memória toda a barulheira sobre as proezas já realizadas. No entanto, elas foram ditas em 1871. Seu autor: o físico e matemático escocês James Clerk Maxwell, que as pronunciou em sua aula inaugural na Universidade de Cambridge. Elas expressam o sentimento da época (do qual, aliás, Maxwell discordava). Três décadas mais tarde, no dia 14 de dezembro de 1900, o físico alemão Max Plank anunciou sua fórmula sobre o espectro da radiação do corpo negro: estava aberto o caminho para a revolução quântica.

Este artigo é um panorama dos primeiros cem anos da mecânica quântica, com especial atenção ao seu lado misterioso, culminando com o debate atual sobre questões que vão da computação e da consciência quânticas até universos paralelos e a verdadeira natureza da

realidade física. Estamos virtualmente ignorando a assombrosa gama de aplicações práticas e científicas respaldadas na mecânica quântica: estima-se que, atualmente, 30% do PIB americano dependa de invenções que só se tornaram possíveis graças à mecânica quântica - dos semicondutores dos chips de computador ao laser das leitoras de CD e à ressonância magnética dos aparelhos para produção de imagens dos hospitais.



MAX PLANCK
(1858-1947)



ALBERT EINSTEIN
(1879-1955)



NIELS BOHR
(1885-1962)



LOUIS DE BROGLIE
(1892-1987)



ERWIN SCHRÖDINGER
(1887-1961)



MAX BORN
(1882-1970)



WERNER HEISENBERG
(1901-1976)

"Daqui a poucos anos, praticamente todas as grandes constantes da Física terão sido estimadas, e... a única ocupação que restará aos homens de ciência será aumentar em uma casa decimal a precisão das medidas." Essas palavras traduzem um sentimento familiar ao século 21, especialmente quando nos vem à memória toda a barulheira sobre as proezas já realizadas. No entanto, elas foram ditas em 1871. Seu autor: o físico e matemático escocês James Clerk Maxwell, que as pronunciou em sua aula inaugural na Universidade de Cambridge. Elas expressam o sentimento da época (do qual, aliás, Maxwell discordava). Três décadas mais tarde, no dia 14 de dezembro de 1900, o físico alemão Max Planck anunciou sua fórmula sobre o espectro da radiação do corpo negro: estava aberto o caminho para a revolução quântica.

Este artigo é um panorama dos primeiros cem anos da mecânica quântica, com especial atenção ao seu lado misterioso, culminando com o debate atual sobre questões que vão da computação e da consciência quânticas até universos paralelos e a verdadeira natureza da realidade física. Estamos virtualmente ignorando a assombrosa gama de aplicações práticas e científicas respaldadas na mecânica quântica: estima-se que, atualmente, 30% do PIB americano dependa de invenções que só se tornaram possíveis graças à mecânica quântica - dos semicondutores dos chips de computador ao laser das leitoras de CD e à ressonância magnética dos aparelhos para produção de imagens dos hospitais.



MAX PLANCK
(1858-1947)



ALBERT EINSTEIN
(1879-1955)



NIELS BOHR
(1885-1962)



LOUIS DE BROGLIE
(1892-1987)



ERWIN SCHRÖDINGER
(1887-1961)



MAX BORN
(1882-1970)



WERNER HEISENBERG
(1901-1976)

"Daqui a poucos anos, praticamente todas as grandes constantes da Física terão sido estimadas, e... a única ocupação que restará aos homens de ciência será aumentar em uma casa decimal a precisão das medidas." Essas palavras traduzem um sentimento familiar ao século 21, especialmente quando nos vem à memória toda a barulheira sobre as proezas já realizadas. No entanto, elas foram ditas em 1871. Seu autor: o físico e matemático escocês James Clerk Maxwell, que as pronunciou em sua aula inaugural na Universidade de Cambridge. Elas expressam o sentimento da época (do qual, aliás, Maxwell discordava). Três décadas mais tarde, no dia 14 de dezembro de 1900, o físico alemão Max Planck anunciou sua fórmula sobre o espectro da radiação do corpo negro: estava aberto o caminho para a revolução quântica.

Este artigo é um panorama dos primeiros cem anos da mecânica quântica, com especial atenção ao seu lado misterioso, culminando com o debate atual sobre questões que vão da computação e da consciência quânticas até universos paralelos e a verdadeira natureza da realidade física. Estamos virtualmente ignorando a assombrosa gama de aplicações práticas e científicas respaldadas na mecânica quântica: estima-se que, atualmente, 30% do PIB americano dependa de invenções que só se tornaram possíveis graças à mecânica quântica - dos semicondutores dos chips de computador ao laser das leitoras de CD e à ressonância magnética dos aparelhos para produção de imagens dos hospitais.



MAX PLANCK
(1858-1947)



ALBERT EINSTEIN
(1879-1955)



NIELS BOHR
(1885-1962)



LOUIS DE BROGLIE
(1892-1987)



ERWIN SCHRÖDINGER
(1887-1961)



MAX BORN
(1882-1970)



WERNER HEISENBERG
(1901-1976)

"Daqui a poucos anos, praticamente todas as grandes constantes da Física terão sido estimadas, e... a única ocupação que restará aos homens de ciência será aumentar em uma casa decimal a precisão das medidas." Essas palavras traduzem um sentimento familiar ao século 21, especialmente quando nos vem à memória toda a barulheira sobre as proezas já realizadas. No entanto, elas foram ditas em 1871. Seu autor: o físico e matemático escocês James Clerk Maxwell, que as pronunciou em sua aula inaugural na Universidade de Cambridge. Elas expressam o sentimento da época (do qual, aliás, Maxwell discordava). Três décadas mais tarde, no dia 14 de dezembro de 1900, o físico alemão Max Plank anunciou sua fórmula sobre o espectro da radiação do corpo negro: estava aberto o caminho para a revolução quântica.

Este artigo é um panorama dos primeiros cem anos da mecânica quântica, com especial atenção ao seu lado misterioso, culminando com o debate atual sobre questões que vão da computação e da consciência quânticas até universos paralelos e a verdadeira natureza da realidade física. Estamos virtualmente ignorando a assombrosa gama de aplicações práticas e científicas respaldadas na mecânica quântica: estima-se que, atualmente, 30% do PIB americano dependa de invenções que só se tornaram possíveis graças à mecânica quântica - dos semicondutores dos chips de computador ao laser das leitoras de CD e à ressonância magnética dos aparelhos para produção de imagens dos hospitais.



MAX PLANCK
(1858-1947)



ALBERT EINSTEIN
(1879-1955)



NIELS BOHR
(1885-1962)



LOUIS DE BROGLIE
(1892-1987)



ERWIN SCHRÖDINGER
(1887-1961)



MAX BORN
(1882-1970)



WERNER HEISENBERG
(1901-1976)

Em 1871, os cientistas tinham boas razões para sentir-se otimistas. A mecânica e a eletrodinâmica clássica pareciam combustíveis da revolução industrial. Parecia que suas equações básicas poderiam descrever essencialmente todos os sistemas físicos. Mas alguns detalhes irritantes teimavam em turvar aquele belo quadro. Assim, as linhas do espectro da luz emitida por um corpo incandescente não coincidiam com as observações experimentais. Essa discrepância clássica foi chamada de "catástrofe ultravioleta", porque, segundo ela, a exposição à intensa radiação acompanhada de raios X, de um corpo incandescente deveria levar-nos à cegueira.

O desastre do hidrogênio

Em seu estudo de 1900, Planck deduziu corretamente qual era o espectro. A conclusão a que chegou foi baseada em uma suposição tão bizarra que ele mesmo se distanciou dela alguns anos mais tarde: toda a energia é emitida em pacotes finitos, chamados "quanta". Essa estranha suposição provou ser extremamente acertada. Einstein deu um passo adiante. Ao assumir que a radiação poderia transportar energia somente em pacotes chamados fótons, ele explicou o efeito fotoelétrico, graças ao qual funcionam hoje as células solares e os sensores das câmeras digitais.

A Física enfrentou um novo apuro em 1911. O físico neozelandês Ernest Rutherford argumentou, de maneira que os átomos eram constituídos por um núcleo central carregado positivamente em torno do qual orbitavam elétrons como se fossem sistemas solares em miniatura. Segundo a teoria eletromagnética, porém, os elétrons emitiam radiação continuamente e se precipitariam sobre o núcleo em cerca de um trilionésimo de segundo. É claro que os átomos de hidrogênio eram fundamentalmente estáveis. Essa discrepância, de fato, foi a pior falha que a física conheceu: minimizou a vida do hidrogênio em aproximadamente 40 ordens de grandeza.

Em 1913, o dinamarquês Niels Bohr, que fora trabalhar com Rutherford na Universidade de Manchester, deu uma explicação que novamente utilizava o conceito de quantum. Ele postulou que o momento angular dos elétrons assumia valores específicos, o que confinava a partícula em um conjunto discreto de órbitas. O elétron só poderia saltar de uma órbita para outra de menor energia, emitindo um fóton. Como um elétron na órbita mais próxima não tinha nenhuma órbita com menor energia para a qual saltar, ele formava um átomo estável.

A teoria de Bohr dava conta ainda de muitas das linhas espectrais do hidrogênio - as frequências de luz emitidas pelos átomos excitados. E funcionava também para o átomo de hélio, desde que fosse suprimido um dos elétrons. Quando Bohr voltou a Copenhague, Bohr recebeu uma carta de Rutherford, que lhe pedia para publicar os resultados de seu trabalho. O dinamarquês respondeu que ninguém acreditaria nele a não ser que explicasse o espectro de todos os elementos. Rutherford replicou: Bohr, você explica o hidrogênio e o hélio, e todo mundo vai acreditar no resto.

Apesar do sucesso inicial da ideia de quantum, os físicos ainda não sabiam o que fazer com suas regras, que pareciam aparentemente ad hoc. Era como se não existisse nenhum princípio condutor. Em 1923, o francês Louis de Broglie deu uma resposta em sua tese de doutorado: elétrons e outras partículas atuavam como ondas estacionárias. Essas ondas só podiam existir se as vibrações de uma corda de violão, só podiam ocorrer em certas frequências discretas (quantizadas). A ideia era tão comum que a banca examinadora pediu orientação fora de seu círculo. Ao ser consultado, Einstein deu parecer e a tese foi aceita.

Em novembro de 1925, o físico austríaco Erwin Schrödinger presidiu um seminário em Zurique sobre a teoria de Broglie. Quando terminou, o físico holandês Peter Debye perguntou-lhe: "O senhor fala de onda, mas onde está a partícula?". Schrödinger produziu então sua equação, a chave mestra de grande parte da física moderna. Por essa época, os alemães Max Born, Werner Heisenberg e Pascual Jordan chegaram a uma formulação equacionista das matrizes. Com essa poderosa sustentação matemática, a teoria quântica fez progressos explosivos. Em pouco tempo, os físicos haviam explicado uma grande quantidade de medições, inclusive o espectro de átomos mais pesados e as propriedades das reações químicas.

Mas o que significava tudo aquilo? O que era aquela quantidade, a "função de onda", descrita pela equação de Schrödinger? Esse enigma central da mecânica quântica continua sendo uma questão poderosa e controversa até hoje.

Born teve a intuição de que a função de onda deveria ser interpretada em termos de probabilidades. Os resultados experimentais medem a posição de um elétron, a probabilidade de encontrá-lo em uma região determinada pela magnitude da função de onda nessa região. Essa interpretação concedia ao acaso um papel fundamental na física. Einstein ficou horrorizado com tal conclusão e expressou sua preferência por um universo determinista na famosa frase: "Não posso acreditar que Deus jogue dados".

Gatos estranhos e baralhos quânticos

Schrödinger também estava descontente. As funções de onda podiam descrever combinações de diferentes estados chamadas superposições. Um elétron, por exemplo, podia estar em uma superposição de várias posições diferentes. Isso significava que ele, se objetos microscópicos como os átomos podiam ficar em estranhas superposições, objetos macroscópicos também poderiam.

podiam, porque eram feitos de átomos. Como um exemplo barroco, ele descreveu o famoso experimento dispositivo perverso mata um gato caso um átomo radiativo se desintegre. Ao entrar em uma superposição "desintegrado" e "não desintegrado", o átomo radiativo produziria um gato que estaria simultaneamente vivo e mo

O quadro Baralho Quântico mostra uma variante mais simples desse experimento mental. Pega-se um com a borda perfeitamente afiada e tenta-se equilibrá-la sobre a borda em cima de uma mesa. De acordo com a carta permanecerá, em princípio, equilibrada para sempre. Já de acordo com a equação de Schrödinger poucos segundos, mesmo que se faça o máximo para equilibrá-la - e cairá simultaneamente para os dois lados.

Quando se põe em prática esse experimento com uma carta verdadeira, conclui-se que a física clássica é verdadeira e cai mesmo. Mas o que se vê é que ela cai para a direita ou para a esquerda, aparentemente ao acaso, e não para a esquerda ao mesmo tempo, como a equação de Schrödinger quer nos fazer acreditar. Essa contradição é o cerne de um dos mistérios mais originais e duradouros da mecânica quântica.

A interpretação de Copenhague da mecânica quântica, que evoluiu a partir das discussões entre Bohr e Heisenberg na década de 1920, aborda o mistério a partir do caráter especial das observações ou medições. Enquanto não é observada, sua função de onda evolui segundo a equação de Schrödinger: uma evolução contínua e determinística matemática é chamada de "unitária", e que tem várias propriedades interessantes. A evolução unitária prossegue segundo a qual a carta cai para a esquerda e para a direita. No entanto, o ato de observar a carta desencadeia abruptamente sua função de onda, chamada comumente de colapso: o observador vê a carta em um estado definido (com a face para cima ou para baixo) e, a partir desse ponto, somente a parte correspondente da função de onda sobrevive, como se, com as probabilidades determinadas pela função de onda, a natureza escolhesse um estado ao acaso.

A interpretação de Copenhague produziu uma receita extraordinariamente bem-sucedida para fazer a física descrever com grande acuidade os dados experimentais, mas não eliminou a suspeita de que alguma coisa estava errada e quando o colapso da função de onda ocorria. Para muitos físicos, a ausência dessa equação havia algo intrinsecamente errado com a mecânica quântica e que brevemente ela seria substituída por uma teoria mais fundamental. Por isso, em vez de debater as implicações ontológicas das equações, a maioria dos físicos desenvolveu várias e fascinantes aplicações e aos diversos problemas prementes e ainda não resolvidos da física nuclear.

Essa atitude pragmática foi um sucesso estrondoso. A mecânica quântica mostrou-se de fato eficaz para explicar a radioatividade (levando à energia nuclear); ao dar conta do comportamento de alguns materiais, os semicondutores, e explicar a supercondutividade; ao descrever interações como as que ocorrem entre átomos (levando à invenção do laser) e entre as ondas de rádio e o núcleo (levando à produção de imagens magnéticas). Muitos sucessos da mecânica quântica envolvem sua extensão, a teoria quântica do campo, que fornece o fundamento da física das partículas elementares, desde sua origem até os atuais experimentos de neutrinos, ao bóson de Higgs e à supersimetria.

Mundos múltiplos

Por volta dos anos cinquenta, já era evidente que os triunfos sucessivos da mecânica quântica não poderiam ser sustentados por uma teoria improvisada e passageira. Assim, em meados da década, o americano Hugh Everett III, da Universidade de Princeton, decidiu rever o postulado do colapso em sua tese de doutoramento. Ele levou a ideia ao limite, com a seguinte pergunta: "O que aconteceria se a evolução temporal do universo inteiro fosse sempre governada pela mecânica quântica for suficiente para descrever o universo, então seu estado atual pode ser associado a uma função de onda (uma função extraordinariamente complicada). No cenário de Everett, essa função de onda evolui de modo contínuo não deixando nenhum lugar para o misterioso colapso não-unitário ou para Deus jogar seus dados.

Em vez de serem colapsadas pelas medições, as superposições microscópicas se amplificariam rapidamente em bizantinas superposições macroscópicas. E nossa carta de baralho quântica estaria de fato em dois lugares ao mesmo tempo. Mais ainda: a pessoa que estivesse olhando para a carta entraria numa superposição de dois estados mentais, qual percebendo um dos resultados. Se apostasse dinheiro no palpite de que a carta cairia com a face para cima acabaria numa superposição de sorriso e cara fechada, pois ganharia e perderia a aposta simultaneamente.

Everett intuiu brilhantemente que os observadores desse determinista, mas esquizofrênico, mundo não poderiam perceber a velha e boa realidade com a qual estamos familiarizados. Mais importante: eles perceberiam a realidade casualidade, que obedeceria a regras probabilísticas perfeitamente definidas.

O ponto de vista de Everett, formalmente chamado de formulação do estado relativo, ficou conhecido como a teoria dos mundos múltiplos da mecânica quântica, porque cada componente da superposição que constitui o universo reconhece ou percebe o seu próprio mundo. Ao remover o postulado do colapso quântico, esse ponto de vista tornou-se uma teoria subjacente. Mas o preço que se paga pela simplicidade é a conclusão de que essas percepções paralelas são igualmente reais.

O trabalho de Everett foi ignorado por quase duas décadas. Muitos físicos confiavam que haveria de fundamental que mostrasse que o mundo era, afinal de contas, clássico em certo sentido, sem esquisitices poder ocupar dois lugares ao mesmo tempo". Mas toda uma série de novos experimentos iria pôr fim àquela

Poderia essa aparente casualidade quântica ser substituída por alguma espécie de quantidade desconhecida de partículas - as chamadas variáveis ocultas? O irlandês John Stewart Bell, um teórico do CERN (o centro europeu de pesquisas nucleares), mostrou que, nesse caso, certas quantidades, que poderiam ser mensuradas em alguns experimentos, divergiriam das previsões da teoria quântica padrão. Após vários anos, a tecnologia possibilitou aos físicos fazer esses experimentos e eliminar a possibilidade das variáveis ocultas.

O experimento de "escolha retardada", proposto por um de nós (Wheeler) em 1978 e realizado com fótons, demonstrou mais uma característica quântica da realidade que desafia as descrições clássicas: não apenas o fóton pode estar em dois lugares ao mesmo tempo como também o experimentador pode escolher, depois do acontecimento, se estava em dois lugares ou somente em um.

O experimento simples das duas fendas (no qual luz ou elétrons passam por duas fendas produzindo interferência), alçado pelo físico americano Richard Feynman à posição de mãe de todos os efeitos quânticos, conseguiu sucesso utilizando objetos maiores: átomos, pequenas moléculas e, mais recentemente, buckyballs (estruturas de 60 átomos de carbono). Depois dessa proeza, o físico austríaco Anton Zeilinger e seus colaboradores de Viena, Áustria, chegaram até a discutir a possibilidade de realizar esse experimento com vírus. Em resumo, a experiência é: a esquisitice do mundo quântico é real, gostemos disso ou não.

A censura quântica

O progresso experimental das últimas décadas foi acompanhado de notáveis progressos na compreensão do mundo real. O trabalho de Everett deixou sem resposta duas perguntas cruciais. A primeira: se o mundo real tem características macroscópicas tão bizarras, por que não as percebemos?

A resposta veio em 1970, por meio de um artigo seminal de Heinz Dieter Zeh, da Universidade de Heidelberg. Ele mostrou que a equação de Schrödinger dá origem a um tipo de censura. Esse efeito ficou conhecido como "censura" porque uma superposição ideal é tida como coerente. O conceito de não-coerência foi estudado minuciosamente pelo cientista do laboratório de Los Alamos, Wojciech H. Zurek, por Zeh e outros. Eles descobriram que superposições coerentes persistem somente enquanto permanecem secretas para o resto do mundo. No mundo real, a destruição está sempre recebendo o impacto de enxeridos fótons e moléculas de ar, que podem comprovar se o sistema está para a direita ou para a esquerda, destruindo dessa forma a superposição e tornando-a inobservável (lei da não-coerência: como a quântica se torna clássica).

É como se o ambiente desempenhasse o papel de observador, causando o colapso da função de onda. Assim que o sistema é observado, a função de onda colapsa para um único estado. Pela interpretação de Copenhague, a medição resulta em um resultado definido. E a descrição que você faz da carta muda a superposição que representa a ignorância quanto ao que ela viu. Falando de forma imprecisa, os cálculos mostram que não é necessário nenhum observador humano (ou o colapso explícito da função de onda) para causar esse efeito - uma simples molécula de ar será suficiente. Para todos os fins práticos, essa minúscula superposição para a situação clássica num abrir e fechar de olhos.

A teoria da não-coerência explica por que não vemos rotineiramente superposições quânticas no mundo real. É que a mecânica quântica deixa intrinsecamente de funcionar para objetos maiores do que um determinado tamanho. Na verdade, é praticamente impossível manter objetos macroscópicos, como gatos e cartas de baralho, em superposição. A distância que impeça a não-coerência. Objetos microscópicos, ao contrário, são mais facilmente isoláveis e assim preservam o comportamento quântico.

A segunda pergunta sem resposta no quadro de Everett é mais sutil, porém igualmente importante: como o mundo clássico seleciona os estados clássicos (a face para cima ou para baixo de nossa carta de baralho)? Considerando os estados quânticos abstratos, não há nada de especial sobre eles, quando comparados às inúmeras superposições "para cima" e "para baixo" em várias proporções. Por que então os mundos múltiplos se dividem estritamente de acordo com o que vemos? Como nos é familiar, e nunca segundo nenhuma outra opção? A teoria da não-coerência responde também. Cálculos mostraram que os estados clássicos do tipo "para cima" e "para baixo" são exatamente os que mais sobrevivem à não-coerência. Ou seja, as interações com o ambiente deixariam intocadas as cartas viradas para cima e para baixo, enquanto qualquer outra superposição para as alternativas clássicas.

Não-coerência e cérebro

Os físicos têm a tradição de analisar o universo dividindo-o em duas partes. Por exemplo, em termodinâmica, separam um corpo material de todo o meio que o circunda (o "ambiente") e que provê as condições dominantes, como a temperatura. Tradicionalmente, os físicos quânticos separam o sistema quântico do aparato clássico que o mede. Se a coerência e a não-coerência forem levadas a sério, então é instrutivo dividir o universo em três partes, cada uma com um papel diferente.

estados quânticos: o objeto em questão, o ambiente e o sujeito ou observador (leia o quadro A realidade divi

A não-coerência causada pela interação do ambiente com o objeto ou com o observador garante que j; superposições quânticas de estados mentais. Mais ainda: o cérebro humano está de tal modo ligado ao ar coerência dos nossos neurônios ativos é inevitável e essencialmente instantânea. Como Zeh enfatizou, justificam a longa tradição dos livros didáticos de usar o postulado do colapso da função de onda como uma do tipo "cale a boca e calcule": compute as probabilidades como se a função de onda entrasse em colapso observado. Ainda que, segundo Everett, a função de onda tecnicamente nunca entre em colapso, os es concordam que a não-coerência produz um efeito que tem toda a aparência e o cheiro de um colapso.

A descoberta da não-coerência, combinada com demonstrações experimentais cada vez mais elabora quântica, causou uma mudança considerável na perspectiva dos físicos. A motivação principal para a intr colapso da função de onda foi explicar por que certos experimentos produziam resultados específicos superposições de resultados. Agora, grande parte dessa motivação não existe mais. E é também constri ninguém ter apresentado uma equação determinista e possível de ser testada que especifique exat misterioso colapso ocorre.

Uma pesquisa informal realizada em julho de 1999 durante uma conferência de computação quântica Newton em Cambridge, Inglaterra, sugere que o ponto de vista dominante está mudando. De 90 físicos ent oito declararam que sua concepção inclui explicitamente o colapso da função de onda; 30 optaram pela " múltiplos" ou de "histórias consistentes" (sem colapso nenhum) (grosso modo, a abordagem das "histi analisa seqüências de medições e coleta pacotes de resultados alternativos que formariam uma "história" observador). Mas o quadro ainda não está completo: 50 pesquisadores escolheram a alternativa "nenhuma indeciso".

Uma confusão lingüística pode ter contribuído para esse número elevado. Não é incomum que do professor a interpretação de Copenhague, por exemplo, e discordem sobre o que entendem por ela. Dit sugeriu claramente que já é tempo de atualizar os livros didáticos de física quântica: apesar de esses li inicial, infalivelmente apresentarem o colapso não-unitário como um postulado fundamental, a pesquisa r físicos atuais - pelo menos no campo ainda incipiente da computação quântica - não levam a sério esse pos colapso terá por muito tempo ainda grande utilidade como receita de cálculo, mas vale a pena uma palavra que poupará os estudantes astutos de muitas horas de confusão: essa noção talvez não seja um process viole a equação de Schrödinger.

Previendo o futuro

Depois de cem anos de idéias quânticas, o que resta pela frente? Que mistérios permanecem? Apesar de ontologia e da natureza última da realidade sempre aparecerem em discussões sobre como interpretar a me teoria talvez seja só mais uma peça de um enorme quebra-cabeça. As teorias podem ser grosseiramente árvores genealógicas, nas quais, pelo menos em princípio, cada ramo deriva de um ramo superior mais fu no topo estão a teoria geral da relatividade e a teoria quântica do campo; no primeiro nível dos descende especial da relatividade e a mecânica quântica; destas derivam o eletromagnetismo, a mecânica clássica, a disciplinas como a ciência da computação, a psicologia e a medicina aparecem bem abaixo na linhagem.

Todas essas teorias têm dois componentes: equações matemáticas e palavras que explicam como relacionam com a observação experimental. A mecânica quântica, conforme é geralmente apresentada n tem ambos os componentes: algumas equações e três postulados escritos em linguagem corrente. I hierarquia teórica, novos conceitos (por exemplo, prótons, átomos, células, organismos, culturas) são in capturam convenientemente a essência do que está sendo tratado sem recorrer a teorias superiores. Gross a quantidade de equações por palavra diminui à medida que se percorre a hierarquia em sentido descendente de zero em campos de muita aplicabilidade, como a medicina e a sociologia. Em contraste, as teorias pró altamente matematizadas, e os físicos ainda lutam para compreender os conceitos que estão codificados ne:

A finalidade última da física é descobrir o que é jocosamente chamado de "teoria de tudo", da qual tod deduzido. Se essa teoria existir, ela ocupará o lugar mais alto da árvore, indicando que tanto a relativid teoria quântica do campo poderiam derivar dela. Os físicos sabem que está faltando alguma coisa no topo não temos uma teoria consistente que inclua tanto a gravitação quanto a mecânica quântica, embora o ambos os fenômenos.

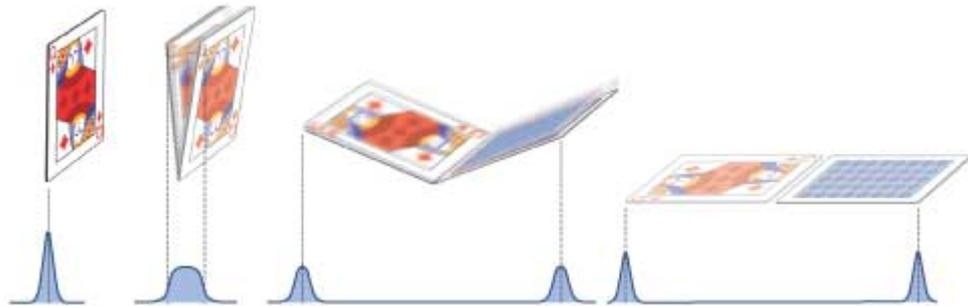
A teoria de tudo provavelmente não teria conceito algum, pois do contrário teríamos que buscar uma exp conceitos em alguma teoria ainda mais fundamental, o que nos levaria a uma recessão infinita. Em outras pã teria que ser puramente matemática, sem explicações ou postulados. Talvez um matemático infinitamer capaz de derivar toda a árvore teórica apenas de equações, deduzindo delas as propriedades do universo, e das percepções que eles têm do mundo.

Os primeiros cem anos da mecânica quântica proporcionaram tecnologias poderosas e responderam a Mas os físicos levantaram novas questões, tão importantes quanto as pendentes na época do discurso inã em Cambridge - questões referentes à gravitação quântica e à natureza última da realidade. Se a história ensinar, o século que iniciamos deverá estar cheio de excitantes surpresas.

Baralhos quânticos

Uma simples carta de baralho derrubada em princípio leva ao mistério quântico

De acordo com a física quântica, uma carta de baralho hipotética, perfeitamente equilibrada na borda, pode estar em duas direções ao mesmo tempo. Isso é conhecido como superposição. A função de onda da carta de baralho continua e uniformemente do estado de equilíbrio (esquerda) para o misterioso estado final (direita), em que a carta está em dois lugares ao mesmo tempo. Na prática, esse experimento é impossível com uma carta, mas situações análogas foram demonstradas inúmeras vezes com elétrons, átomos e objetos maiores. Entende-se as superposições e por que nunca as vemos acontecer no mundo cotidiano têm sido o grande mistério da física. Por décadas, os físicos desenvolveram várias idéias para resolver o mistério, entre elas as interpretações de Copenhague, dos mundos múltiplos e da não-coerência.



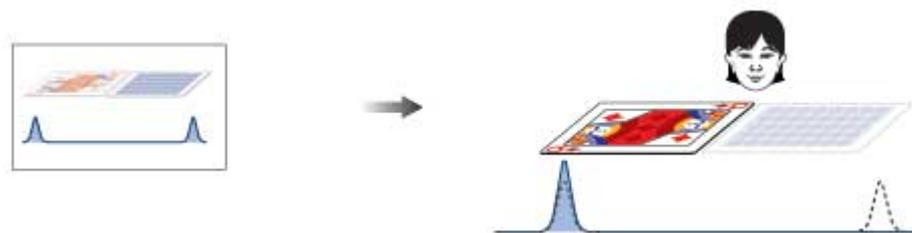
A interpretação de Copenhague

Idéia: Observadores vêem um resultado casual; a probabilidade é dada pela função de onda.

Vantagem: Um único resultado ocorre. Ele coincide com o fenômeno observado.

Problema: É necessário que ocorra o colapso da função de onda, mas nenhuma equação específica controla esse processo.

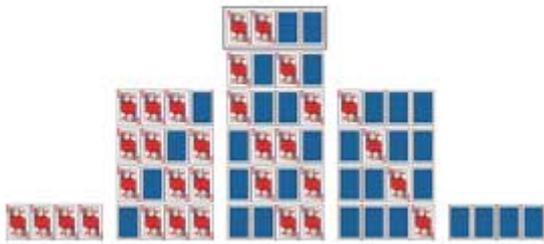
Quando se mede ou se observa uma superposição quântica, o que se vê é uma das alternativas possíveis. As probabilidades são controladas pela função de onda. Suponhamos que uma pessoa aposte que a carta virá para cima. Quando ela olhar para a carta pela primeira vez, terá 50% de chance de ganhar. A interpretação de Copenhague já tenha sido pragmaticamente aceita há bastante tempo pelos físicos, ela requer mudança da função de onda, violando a equação de Schrödinger.



A interpretação dos mundos múltiplos

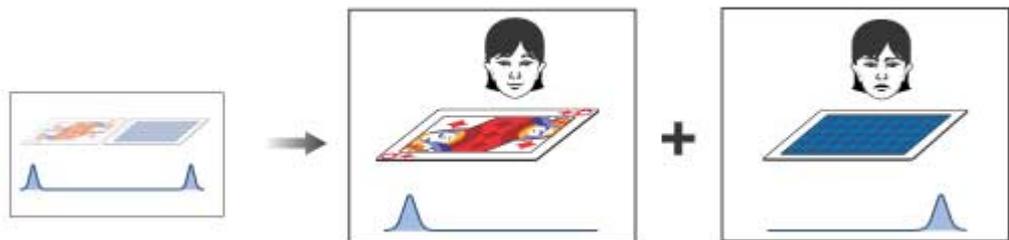
Idéia: As superposições parecerão mundos alternativos paralelos para seus habitantes.

Vantagem: A equação de Schrödinger funciona sempre; as funções de onda nunca entram em colaps



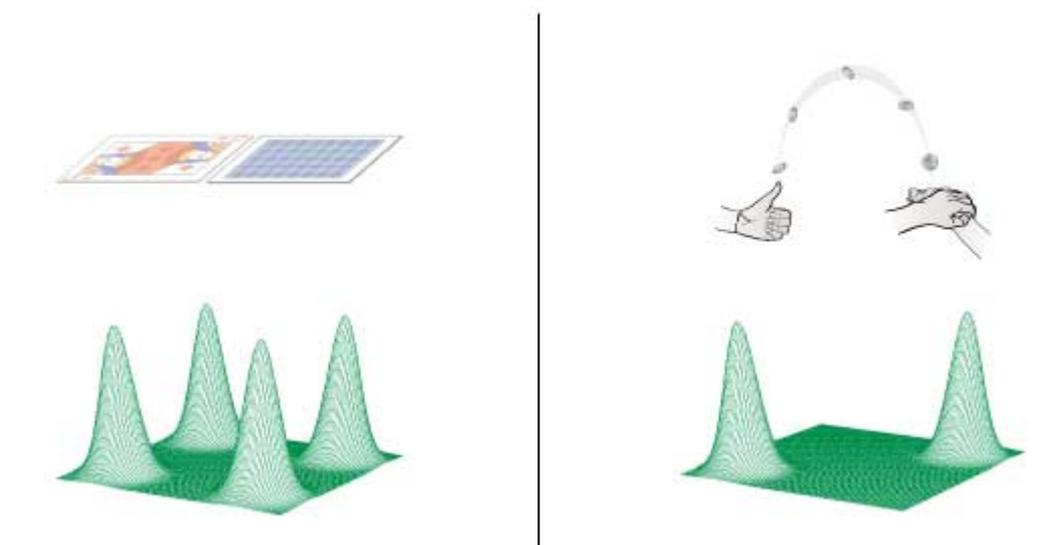
Problemas: A esquisitice da idéia; alguns enigmas técnicos permanecem.

Se as funções de onda nunca entram em colapso, a equação de Schrödinger prevê que, ao olhar a cartas, o próprio observador entre numa superposição de dois resultados possíveis: ganhando e perdendo simultaneamente. As duas partes da função total de onda (do observador mais a carta) evoluem independentemente em dois mundos paralelos. Se o experimento for repetido muitas vezes, as pessoas da maior parte dos mundos a carta cair com a face para cima, na metade das vezes, aproximadamente. As cartas empilhadas à direita representam mundos resultantes de uma carta derrubada quatro vezes.

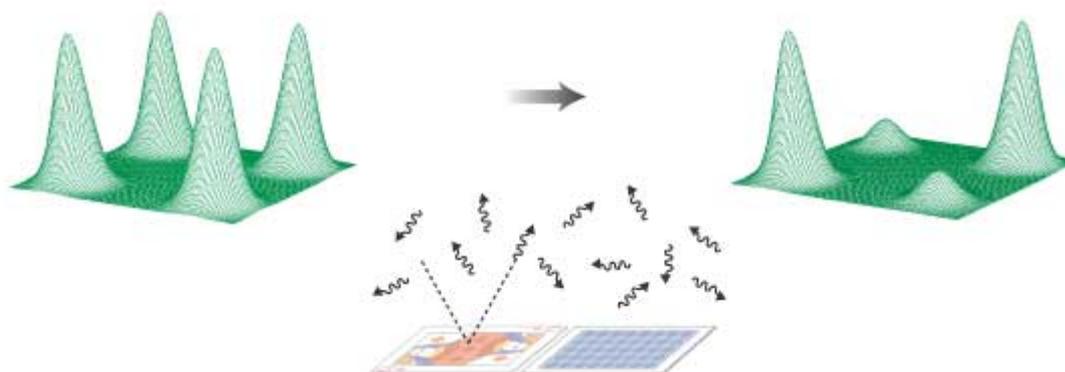


A não-coerência: como a quântica se torna clássica

A incerteza de uma superposição quântica (esquerda) é diferente da incerteza da probabilidade clássica depois de um arremesso de moeda (direita). Um objeto matemático chamado matriz de densidade ilustra a função de onda da carta quântica corresponde à matriz de densidade de quatro picos. Dois desses picos representam o por cento de probabilidade de cada resultado, "face para cima" ou "face para baixo". Os outros dois picos representam os outros dois resultados podem ainda, em princípio, interferir um com o outro. O estado quântico permanece "coerente" até que a moeda cai de fato na posição cara ou coroa, mas que não olhamos para ela ainda.



A teoria da não-coerência revela que a mais ínfima interação com o ambiente, seja com um simples molécula de gás, transforma rapidamente uma matriz de densidade coerente em outra que, para todos os efeitos, representa as probabilidades clássicas, como as do arremesso de moeda. A equação de Schrödinger descreve esse processo.



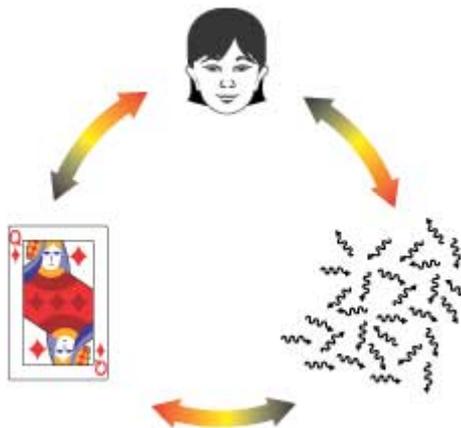
A realidade dividida

É instrutivo dividir o universo em três partes: o objeto sob consideração, o ambiente e o estado quântico do sujeito. A equação de Schrödinger, que governa o universo como um todo, pode ser dividida em termos de dinâmica interna de cada um desses três subsistemas e termos que descrevem as interações entre eles. Esses termos têm efeitos muito diferentes.

O termo que mostra a dinâmica do objeto é tipicamente o mais importante. Então, para representar o que acontece, os teóricos geralmente começam ignorando todos os outros termos. Com relação à nossa carta quântica, ela diz que ela cairá para os dois lados, direito e esquerdo, simultaneamente, em superposição. Quando nós olhamos a carta, a interação sujeito-objeto estende a superposição ao seu estado mental do sujeito, produzindo alegria e desapontamento pelo ganho e perda simultâneos da aposta. A pessoa, no entanto, não está em superposição, porque a interação entre o objeto e o ambiente (como, por exemplo, as moléculas de ar e a luz) causa uma rápida "descoerência", que torna a superposição inobservável.

Mesmo que ela pudesse isolar completamente a carta do ambiente (por exemplo, realizando o experimento em uma câmara de vácuo escura, no zero absoluto), isso não faria diferença. Quando olhasse a carta, ao menos seus nervos ópticos entraria numa superposição dos estados "ativado" e "não-ativado" e essa superposição seria "descoerenciada" em cerca de 10-20 de segundo, de acordo com cálculos recentes. Se os complexos pa-

dos neurônios em nosso cérebro têm alguma coisa a ver com a consciência e a maneira como formamos percepções, então a "descoerência" de nossos neurônios garante que jamais percebamos superposição de estados mentais. Em essência, nossos cérebros enredam inextricavelmente o sujeito e o ambiente, forçam a coerência. (M.T. e J.A.W.)



Os autores

MAX TEGMARK e JOHN ARCHIBALD WHEELER discutiram amplamente a mecânica quântica durante um período em que Tegmark fez seu pós-doutorado no Instituto de Estudos Avançados de Princeton. Atualmente, Tegmark é professor assistente de física na Universidade da Pensilvânia. Wheeler é professor em Princeton. Entre seus ex-alunos, figuram Richard Feynman e Hugh Everett III (criador da interpretação dos muitos mundos). Wheeler recebeu o prêmio Wolf de Física de 1997, por seus trabalhos sobre reações nucleares, mecânica quântica e buracos negros.

Em 1934 e 1935, teve o privilégio de estudar física nuclear com o grupo de Niels Bohr, em Copenhaga. Um dia, perguntou a um trabalhador, que podava uma trepadeira que se alastrava no muro acima, onde poderia encontrar Bohr. "Eu sou Niels Bohr", o homem respondeu.

Os autores agradecem a Emily Bennet e Ken Ford pela ajuda com um antigo manuscrito sobre o assunto, e a Jeff Klien, Dieter Zeh e Wojciech H. Zurek por seus úteis comentários.

Para saber mais...

> Beam Line, Special quantum century issue, vol.30, nº 2, 2000. Disponível on-line no endereço <http://www.slac.stanford.edu/pubs/beamline/pdf/00ii.pdf>

Temas relacionados

- > [Descobrimos a Teoria das Cordas](#)
- > [À procura do gato de Schrödinger](#)
- > [Mapa conceitual das partículas](#)
- > [Física Quântica - Luz quanta e ação... discreta](#)



Para enviar seu comentário, [clique aqui!](#)

[imprimir](#) | [voltar](#)

© 2003-2004 - Núcleo de Apoio ao Ensino da Química - NAEQ - Todos os Direitos Reservados
Webmaster - [Emiliano Chemello](#)

