

O Gato de Schrödinger

Guilherme David Araújo

Resumo

Neste trabalho, apresentaremos uma compilação das diferenças epistemológicas entre a mecânica clássica e a mecânica quântica para deixar claros os pontos de discussão em relação à compreensão e interpretação da realidade quântica evidenciados no experimento mental do gato de Schrödinger. Então apresentaremos estes pontos com a finalidade de instigar o questionamento crítico das reais dificuldades de resolvê-los.

I. INTRODUÇÃO

Evitando o uso de argumentos compactados em expressões próprias do tratamento científico que levam o entendimento do objeto para fora do texto, pretendemos explicitar alguns desafios de caráter epistemológico que acompanham o desenvolvimento da mecânica quântica. Ou seja, desafios que remetem às condições do nosso entendimento da realidade através de seu tratamento pela teoria quântica. Especificamente, os tópicos abordados aqui dizem respeito apenas aos problemas de entendimento da transição entre sistemas microscópicos e sistemas macroscópicos. Embora tenhamos em vista a existência de outros pontos igualmente instigantes que se desenvolvem em paralelo a estes; pontos que serão brevemente comentados na conclusão.

II. MECÂNICA CLÁSSICA

Temos a compreensão de que um dos objetivos de uma teoria científica, e uma das medidas de sua validade e eficiência, é a capacidade de simular e prever eventos e a evolução de parâmetros do sistema que é objeto desta teoria. A mecânica clássica, ao tratar sistemas físicos em escala macroscópica, promove a nossa capacidade de simular e prever de forma completa os eventos ocorrentes nesses sistemas. Ela diz que, se realizarmos a observação de um sistema físico em um dado instante, podemos coletar precisamente o valor de todos os parâmetros (por exemplo, a velocidade e a posição de cada componente) necessários para que, qualquer que seja o estado do sistema, seja possível determinar de forma completa sua evolução através da trajetória destes parâmetros ao longo da linha do tempo. A mecânica clássica garante, independentemente de outras observações, a realidade de todos estes parâmetros em qualquer instante de tempo. Inclusive que a observação em si não afeta a evolução do sistema.

Dentro do escopo da mecânica clássica, somos levados a tomar a intuição de que o ato de observar um sistema físico é simplesmente o ato de coletar o valor de seus parâmetros, inclusive sem a necessidade de entrarmos em contato com o sistema. E temos também a intuição de que, ao observarmos o sistema desta forma, utilizando as ferramentas da teoria, construímos uma correspondência

completa entre os elementos da realidade objetiva e os elementos do nosso entendimento de seu comportamento. Entendemos que não faltam parâmetros para se descrever essa realidade.

III. MECÂNICA QUÂNTICA

A mecânica quântica se desenvolveu com o tratamento de sistemas físicos em escala microscópica, aonde vimos que o formalismo clássico não era compatível com os eventos observados. Ou seja, foi necessário o desenvolvimento de outro conjunto de regras para tratarmos eventos em escala microscópica, um conjunto que a princípio requer uma reavaliação de nossa compreensão e intuição acerca da realidade física.

Dentro do formalismo da mecânica quântica, temos a existência de um elemento matemático, a função de onda, que funciona como a fonte de informações sobre parâmetros que são passíveis de observação (passíveis da medição de seus valores). A função de onda em si não é observável, e a partir de sua concepção não a entendemos como pertencente à realidade física. Ela apenas contém as informações do sistema físico que nos levam a obter os parâmetros observáveis. A equação de Schrödinger é o equivalente quântico das leis da teoria clássica que simulam a evolução do sistema físico, ou seja, seu papel a princípio é evoluir os parâmetros físicos no tempo. Mas a equação de Schrödinger evolui a função de onda no tempo, ela afeta a evolução do sistema através da modificação no tempo da função de onda. Como a função de onda a princípio não existe na realidade física, temos a condição de que ao evoluir um sistema físico nós não estamos em contato com a trajetória dos parâmetros observáveis e só podemos ter acesso a estes parâmetros ao realizarmos uma medição de seus valores.

Na realidade, podemos entender que sempre temos acesso ao valor dos parâmetros somente quando os observamos. Mas é neste ponto que tomamos o entendimento da previsão desses valores enquanto apenas simulamos a evolução do sistema. A mecânica clássica permite esta previsão. Na mecânica quântica, a informação contida na função de onda é tal que sua evolução não permite a simulação da trajetória de valores para estes parâmetros, mas sim a simulação da probabilidade dos parâmetros possuírem certos valores dentro de intervalos de possíveis

valores. Ou seja, ao simular a evolução de um sistema, temos o conhecimento da frequência de ocorrência de certos valores ao longo da linha do tempo e não mais determinamos com certeza os valores dos parâmetros apenas com a simulação. Para isso precisamos observar o sistema. E não há nada mais contido no formalismo quântico que nos permite realizar uma correspondência entre todos os elementos da realidade objetiva e os elementos do nosso entendimento de seu comportamento enquanto apenas simulamos a evolução do sistema. Outro problema surge quando levamos em conta o princípio da incerteza de Heisenberg, que restringe o conhecimento do valor preciso de dois parâmetros em certas circunstâncias em uma mesma medida. Temos então que mesmo diante de uma observação do sistema (que a princípio permite que obtenhamos uma correspondência pontual) não podemos atribuir a realidade de todos os parâmetros necessários para se localizar o sistema físico. Aqui, sugerimos a correlação entre a realidade de um parâmetro físico e a possibilidade da obtenção de seu valor preciso, pois a pertinência de o considerarmos real é a condição de usarmos o seu valor para descrever o sistema físico. Nada garante a sua existência enquanto não somos capazes de precisar o seu valor; este argumento é desenvolvido por Einstein, Podolsky e Rosen em seu famoso artigo.

Podemos pontuar também que a natureza dos elementos físicos em escala microscópica, elementos observados sempre indiretamente neste contexto, é diferente da natureza clássica, já conquistada por nossa intuição. Então, os conceitos que utilizamos para delimitar comportamentos de elementos de um sistema físico, como partículas e ondas, não são mais aplicáveis na escala microscópica, onde vemos elementos rompendo as barreiras de comportamento entre partículas e ondas. Coube a nós os entendermos como elementos duais, como proposto inicialmente por De Broglie.

Somando estas considerações, temos então: i) sistemas físicos cuja natureza não é compatível com o nosso entendimento prévio proveniente da observação clássica, e também são observados indiretamente (neste caso, consideramos a ideia de uma observação ser direta ou indireta mediante a possibilidade de construção de uma imagem sensorial da natureza desse sistema, e não de rastros gerados pela interação de outros objetos que não a nossa própria observação sensorial). ii) sistemas físicos cuja realidade não corresponde completamente ao nosso entendimento em simulações de sua evolução ou até mesmo pontualmente, sob uma observação. Temos acesso apenas à probabilidade dos parâmetros observáveis tomarem certo valor quando observados.

Sabemos também que uma observação na escala microscópica necessariamente interage com o sistema físico. Isso porque uma observação deve entrar em contato com o sistema, pois coleta informação sobre ele. E nestas escalas o contato com o sistema gera uma perturbação que não podemos desprezar (imaginamos que em um tratamento clássico fundamentalmente interferimos no sistema enquanto o observamos, mas esta interferência é de uma

ordem correspondente a outros domínios que se encontram fora da detecção da mecânica clássica; por exemplo, domínios microscópicos).

Partindo deste ponto, vemos que, quando uma observação é realizada, dentro do formalismo consideramos a ocorrência de uma descontinuidade na função de onda, para que logo após a realização da medida ela expresse o estado quântico correspondente aos valores obtidos dos parâmetros que foram medidos e não mais o estado correspondente às probabilidades associadas aos valores destes parâmetros (note que essa consideração não supõe a ocorrência de uma descontinuidade na realidade do sistema físico, pois a função de onda por si não é real, portanto temos uma descontinuidade apenas na informação que temos sobre o sistema físico). Podemos notar também que perturbamos a função de onda de formas diferentes ao observar parâmetros diferentes, sabendo que pelo mencionado princípio da incerteza não podemos realizar uma única observação de todos os parâmetros.

IV. A INTERPRETAÇÃO DE COPENHAGEN

Com tudo isso, abrimos a possibilidade da existência de diversas interpretações da mecânica quântica, na tentativa de conectar esta, a princípio, falta de informação sobre sistemas à nossa compreensão da realidade física. A interpretação mais comumente considerada na comunidade científica desde a formulação da mecânica quântica, chamada de interpretação de Copenhague, inspira-se na sugestão matemática da forma da função de onda para postular que, enquanto não determinados por uma observação a assumir um único estado, os sistemas quânticos encontram-se em uma superposição dos possíveis estados. Esta superposição é matematicamente ponderada pelas respectivas probabilidades de se encontrar o sistema em cada estado. Nesta interpretação consideramos também que da descontinuidade da função de onda, na observação, decorre um colapso do sistema físico que se caracteriza pelo posicionamento de parâmetros para que o sistema seja medido em um específico estado.

Devemos lembrar que a princípio não há razão científica para considerar como reais as hipóteses contidas em qualquer interpretação da mecânica quântica. Para isso devemos submetê-las a alguma forma de verificação experimental. Para contrastar com o posicionamento da interpretação de Copenhague, apresentamos brevemente a alternativa para as mesmas descrições apresentada pela interpretação realista da mecânica quântica. Nesta interpretação, é considerado que o sistema está sempre posicionado em um estado físico determinado, com os valores dos parâmetros especificados na simulação da evolução do sistema. Consequentemente não há superposição real de estados quânticos nem o colapso do sistema sob uma observação, levando a uma compreensão semelhante à da mecânica clássica. Deste modo, esta interpretação impõe a característica de que a mecânica quântica é uma teoria

incompleta, pois postula que a função de onda não fornece toda a informação disponível a respeito do sistema, e é preciso se encontrar variáveis ocultas que carregam esta informação não disponível. (Esta interpretação foi investigada nas consequências do teorema de Bell, já verificado experimentalmente, e com isso atualmente é considerada incompatível com a localidade de transmissão de processos físicos; o teorema de Bell afirma que não existem variáveis ocultas locais compatíveis com a teoria quântica).

V. O GATO DE SCHRÖDINGER

Uma propriedade exigida para a teoria quântica, o chamado princípio da correspondência, diz que a descrição quântica da realidade microscópica deve corresponder à descrição clássica quando levamos o sistema para o limite com a escala macroscópica. De certa forma devemos esperar que o produto de um tratamento de média da mecânica quântica leve exatamente às leis contidas na mecânica clássica, que sabemos serem capazes de reger o mundo macroscópico. O formalismo matemático da teoria quântica satisfaz o princípio da correspondência (a propósito, em paralelo a todas as dificuldades interpretativas da realidade quântica, o sucesso do formalismo é aparentemente inabalável; e isso na verdade torna ainda mais urgentes essas dificuldades). Mas ao pensar nas diferenças de compreensão da realidade quântica e suas interpretações, o que devemos esperar de sua adequação ao princípio da correspondência?

Em resposta à interpretação de Copenhagen, Erwin Schrödinger elaborou um experimento mental que acabou se tornando famoso na comunidade científica e fora dela (impressionantemente o caráter excêntrico do experimento foi excessivamente explorado pela mídia não científica desde sua proposta). Falamos do experimento mental do gato de Schrödinger.

Em essência, o experimento considera uma montagem que envolve um gato isolado em uma caixa, sem contato com o exterior. Dentro da caixa há um sistema quântico que evolui em uma superposição de dois estados, um deles ativa um detector que desencadeia um processo que mata o gato, o outro estado não ativa o detector. A pergunta feita é: Uma vez que o processo que mata o gato está conectado à evolução do sistema quântico superposto, o próprio gato estaria em uma superposição dos estados vivo e morto enquanto a caixa não fosse aberta?

A princípio não nos parece aceitável acreditar em um objeto macroscópico estando em uma superposição de estados. Uma justificativa imediata dentro da interpretação é a de que a observação do sistema quântico ocorre no momento em que o sinal é ativado no detector, existindo assim um mecanismo que separa o estado clássico do gato (e de todos os componentes macroscópicos) e o estado quântico do sistema que evolui em superposição. Mas a partir disso surgem outras questões. Qual o limite que diferencia um objeto capaz de atuar

como um observador quântico de um objeto quântico por si (restrito à condição de observado)? De que precisamente constitui a medida? Estas perguntas são muito difíceis de serem respondidas com clareza de forma a não gerarem outras indefinições de compreensão. Autores investigam extensamente sobre estes temas e alguns dizem que questões como estas somente poderão ser respondidas mediante o avanço da experimentação científica e nossa compreensão de outros pontos da teoria.

Inclusive, sabemos que a realidade macroscópica é uma grande composição da realidade microscópica. Até podemos entender como a indeterminação de parâmetros, observada na escala clássica, mesmo sendo completamente indetectável, ainda existe. Possivelmente temos funções de onda ditando evoluções probabilísticas distribuídas sobre um intervalo de valores indistinguível classicamente. Mas porque isto faz com que o sistema clássico possa se comportar como observador, colapsando outros sistemas? Indo além, imaginamos como um sistema pode interagir com outro e detectar seus parâmetros de alguma forma para si e com isso talvez venhamos a concluir que os sistemas se colapsam mutuamente, mas não nos damos conta de colapsos nos sistemas macroscópicos utilizados para realizar medidas quânticas. Também, a princípio não seríamos capazes de captar a medição realizada por um objeto delimitado microscopicamente (aqui diferenciamos o tratamento de um objeto como microscópico ou macroscópico por nossa própria capacidade de delimitá-lo dentro destas escalas).

Em complemento, outro ponto muito debatido é a possibilidade de a observação quântica depender da presença de um observador consciente, colocando em evidência aspectos do caráter subjetivo da compreensão da realidade pelo ser humano como grupo ou mesmo pelo indivíduo humano como ser consciente (em questões que se tornam pertinentes ao nos darmos conta de que mesmo a consciência de outros objetos da realidade é tão questionável quanto qualquer instância dessa realidade exterior; alguém poderia se perguntar se qualquer sistema quântico é passível de colapsar sem que esta própria pessoa tenha realizado uma medida). Neste ponto as discussões podem perder o contato com a pertinência científica, mas devemos considerar que a hipótese está contida na elaboração do experimento do gato de Schrödinger. Que diferença deveria fazer alguém ter que abrir a caixa uma vez que já temos sistemas quânticos interagindo com sistemas suficientemente macroscópicos (por exemplo, um gato)? A partir de questionamentos desta natureza, surgiu uma variante do experimento chamada amigo de Wigner, proposta pelo físico Eugene Wigner. Na variante, ao invés de um gato estar acoplado a um sistema quântico desta forma, há um ser humano.

VI. CONCLUSÃO

Por fim, terminamos com a ideia de que ainda há muito a ser investigado acerca da compreensão da mecânica

quântica para que a teoria soe minimamente confortável a nossas mentes, em concordância com o que disseram muitos físicos que proporcionaram grandes avanços na teoria desde a sua concepção.

Para complementar a lista de desafios da mecânica quântica, poderíamos mencionar também as investigações das consequências do teorema de Bell e as verificações realizadas por Alain Aspect, os efeitos de não localidade e emaranhamento envolvidos nessa abordagem e em outras, fenômenos de decoerência, a compreensão da conexão entre a mecânica quântica e a teoria da re-

latividade e também a consideração da possibilidade de diversas outras interpretações da teoria quântica, como a interpretação de multiversos, e também as diversas interpretações de interpretações para vários problemas pontuais.

Experimentos já vêm sendo realizados para se diminuir as possibilidades em muitos dos questionamentos colocados sobre as interpretações da mecânica quântica à medida que a capacidade de precisão experimental evolui, ironicamente, com a aplicação da própria teoria quântica.

-
- [1] Griffiths, D. J. Introduction to Quantum Mechanics. Pearson, 2ed.
 - [2] Rae, A. I. M. Quantum physics: Illusion or reality? (Cambridge University Press)
 - [3] Carpenter RHS, Anderson AJ (2006). "The death of Schrodinger's cat and of consciousness-based wave-function collapse".
 - [4] Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? A. Einstein, B. Podolsky, and N. Rosen, Phys. Rev. 47, 777 (1935).
 - [5] N. David Mermin. 'Is the moon there when nobody looks?' (Physics Today, April 1985).