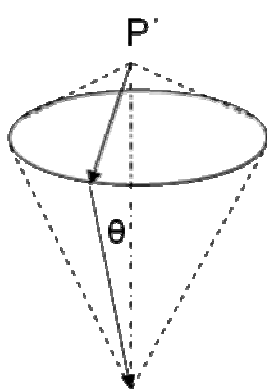


DAVID BOHM E O PRINCÍPIO DE INDETERMINAÇÃO DE HEISENBERG.

por Rodolfo Petrônio – Instituto Aquinate e Unirio.



Seja a observação microscópica de uma partícula atômica, p. ex., o elétron (veja a figura ao lado), visto que a luz utilizada no microscópio é constituída de quanta, isto é, de pacotes determinados de energia, então não é possível evitar a perturbação do elétron no ato de observação. Isto ocorre porque a energia de cada pacote é proporcional à frequência da onda de luz utilizada para a observação, o que demanda que se deve tentar obter um quantum de baixa frequência, de modo a não interferir tanto sobre o elétron a ser observado. A energia de cada pacote, que proporcional é frequência, é dada por $h\nu$,

sendo ν a frequência da onda de observação e h uma constante chamada *constante de Planck*, pois Max Planck foi o cientista pioneiro que postulou que deveriam existir tais pacotes de onda, pelos quais a energia interage com corpúsculos materiais.

E porque a luz também é uma onda, então apresenta o fenômeno de espalhamento na região indicada com sombreamento na figura acima, cujo tamanho é diretamente proporcional ao comprimento de onda $\lambda = c/\nu$ (menor ν , maior λ), em que c é a velocidade de propagação da luz. Ora, se pretendemos perturbar o menos possível o elétron por meio de um quantum com menor frequência, então obtemos uma região [dita de “indeterminação” ou de “incerteza”] com imagem mais pobre, e não saberemos exatamente onde ele, o elétron, que é a partícula a ser observada, se encontra.

Por sua vez, a perturbação do elétron, que expressamos por Δp , pois é dada por uma variação em sua quantidade de movimento p , torna-se então imprevisível e incontrollável, uma vez que não temos condição antecipada de saber ou de controlar o valor do ângulo θ e Δp é dada aproximadamente por $h \cdot \sin\theta / \lambda$. Desse modo, não se pode evitar uma incerteza Δx na posição do elétron, e esta, pelo *princípio de indeterminação* [ou de *incerteza*] de Heisenberg é dado pela relação $\Delta p \cdot \Delta x = h$. Ainda que se pensasse em algum outro tipo de experimento, a situação não mudaria essencialmente. Ou bem se determina com precisão a *posição* (pelo uso de luz de baixo λ , e portanto, elevada frequência ν), com transmissão não-controlada e imprevisível de quantidade de movimento Δp à partícula, ou bem se determina com precisão a quantidade de movimento p (pelo uso de luz de alto λ), e isto que leva a um grande ângulo de difração na lente

e uma baixa resolução na definição da posição da partícula, com incerteza de precisão Δx .

O fato de todo processo de medição estar sujeito às mesmas limitações finais de precisão levou Heisenberg a considerar as relações de indeterminação como a manifestação de um princípio bastante fundamental e difuso, operando na totalidade das leis naturais. Assim, em vez de considerar as relações de incerteza como sendo primariamente uma dedução da teoria quântica em sua forma corrente, *Heisenberg postula que essas relações são uma lei básica da natureza e supõe que todas as outras leis devem ser consistentes com essas relações*. Isto, no entender do físico David Bohm, significa postular que as relações de incerteza teriam para Heisenberg uma validade absoluta e definitiva, mesmo que (como parece ser bastante provável) a forma atual da teoria pudesse ser eventualmente estendida, corrigida ou mesmo alterada de modo fundamental e revolucionário. Para Bohm, o ponto de vista tanto de Heisenberg como o da maioria dos proponentes da interpretação usual da mecânica quântica é o de que o desenvolvimento futuro da física será na direção de tornar o comportamento das coisas cada vez menos definido, com precisão não inferior à seja possível em termos da teoria quântica atual, de tal modo que esta última fixa um limite à precisão de todas as medições possíveis¹.

Neste caso, se interpretamos o princípio de indeterminação como uma característica não epistemológica (isto é, relativa ao nosso modo de conhecer as coisas), porém ontológica (isto é, relativa ao modo de ser próprio das coisas), então isto nos conduziria ao abandono da causalidade no domínio subatômico. Segundo a física clássica, os valores iniciais e as taxas iniciais de variação das variáveis que definem o estado de um sistema *determinam* o movimento futuro desse sistema. No entanto, pelo princípio de indeterminação, existiria uma limitação fundamental (isto é, oriunda das próprias leis ou modos de ser da natureza ao nível subatômico), que nos impediria de fixar os valores iniciais dos diversos parâmetros que *determinariam* (segundo a ótica clássica) o comportamento desses sistemas subatômicos. Sobre isso, nos alertava Bohm:

“Todavia, os proponentes da interpretação usual da teoria quântica adotaram a hipótese de Heisenberg. Não supõem que o princípio de indeterminação seja apenas uma consequência da teoria quântica em seu presente estágio de desenvolvimento, a qual poderia apresentar, no entanto, somente um intervalo de validade limitado,

¹ Por exemplo, o comprimento fundamental de 10^{-13} cm, proposto por Heisenberg, abaixo do qual as propriedades de espaço e tempo deixariam de ser definíveis. Presentemente, este comprimento fundamental é muitíssimo inferior ao que pensava Heisenberg, e situa-se em torno de 10^{-33} cm, e se chama *comprimento fundamental de Planck*.

uma vez que se descubra posteriormente, e é o que parece, que a forma presente da teoria deva ser modificada, corrigida ou estendida. Em vez disso, supõe-se que esse princípio representa uma limitação absoluta e final de nossa capacidade de definir um estado de coisas por meio de medições de quaisquer tipos que nos são agora (ou que jamais venham a ser) possíveis².

As observações acima foram reforçadas por um teorema do matemático John von Neumann de 1932, segundo o qual não seria apenas impossível verificar *experimentalmente* qualquer teoria causal que objetivasse a predição do comportamento detalhado de um sistema individual no nível subatômico, mas também seria impossível sequer *conceber* tal explicação, uma vez que não poderiam sequer existir parâmetros “ocultos” que pudessem transformar a indeterminação essencial da natureza em relações determinadas e causais.

Portanto, o abandono do conceito de causalidade proviria não apenas do fato de que não seríamos capazes de medir com precisão os valores das variáveis que comporiam a expressão das leis causais no nível subatômico, dadas pelo princípio de indeterminação de Heisenberg, mas também do fato de que seria impossível existirem tais leis causais, segundo o teorema de Von Neumann. Desse modo, o *princípio de indeterminação* funcionaria, segundo Bohm, como uma lei absoluta e final aplicável a todos os processos do universo, determinando o colapso da causalidade associada aos fenômenos subatômicos. Mais ainda: o colapso não se restringiria apenas ao domínio subatômico ou às propriedades inobserváveis ou “ocultas” das coisas, mas ao domínio dos fenômenos reais e observáveis propriamente ditos.

Ora, se entendermos o princípio de Heisenberg não como um postulado de *indeterminação*, que fixa uma perspectiva *ontológica* para os modos de ser da natureza no domínio subatômico, porém como um princípio de *incerteza*, que provê uma perspectiva *puramente epistemológica* acerca do alcance da atual forma da mecânica quântica, então se teria melhor receptividade às diversas propostas que não excluem uma compreensão causal da natureza.

² BOHM, D. *Causality and Chance in Modern Physics*. Princeton: Van Nostrand, 1957, p. 85.