

# A Complementaridade em N. Bohr: da mecânica quântica à filosofia

Ramiro Délio Borges De Meneses

Investigador do Instituto de Bioética da Universidade Católica – Porto  
Portugal.

[dr.ramiro@sapo.pt](mailto:dr.ramiro@sapo.pt)

## Introdução

O princípio da “complementaridade” foi elaborado, em 1927, por N. Bohr. Este físico dinamarquês foi laureado, em 1922, com o Prémio Nobel da Física, pelos seus trabalhos sobre a estrutura atómica, tendo concebido um modelo planetário, que fora confirmado experimentalmente. Para sistematizar os estados estacionários do átomo, Heisenberg construiu a Mecânica das Matrizes, a qual parte do princípio da correspondência de Niels Bohr, ao aplicar à natureza física os dois novos conceitos matemáticos de matriz e de probabilidade. Foi nas “crises quânticas” (Solvay, 1927) que Heisenberg enunciou o célebre princípio do indeterminismo ou das relações de incerteza:

$$\delta x \cdot \delta p \geq h/2\pi$$

E, do mesmo modo, para as outras coordenadas diferenciais:  $\delta y, \delta z, \delta t$  e  $\delta E$ . Assim, segundo Heisenberg, não se pode definir, ao mesmo tempo, a posição e a quantidade de movimento duma partícula. Surge sempre um erro que será igual ao valor dado pelo limite “h” ou *quantum actions* de M. Planck ( $h = 6,625 \cdot 10^{-27}$  erg). Este princípio possui relações métricas com o princípio da *complementaridade* de N. Bohr.<sup>1</sup>

Contudo, apesar de Sommerfeld ter aperfeiçoado o modelo bohreano do átomo de Hidrogénio, a órbita não é circular, mas elíptica, que pelos números quânticos (três

---

<sup>1</sup> Cf. SOUSA ALVES, V. M. – “Crítica da Mecânica Quântica”, in: *Revista Portuguesa de Filosofia*, 50 (Braga, 1994), p. 39.

graus de liberdade) desenha uma roseta de precessão.<sup>2</sup> Naturalmente, continuavam por resolver duas antinomias entre a mecânica clássica e a nova teoria quântica do átomo.

A segunda antinomia refere que o fenómeno da luz é ondulatório, porque origina franjas de interferência e é partícula, em movimento, porque produz o efeito fotoeléctrico e a dispersão de Compton. Esta antinomia é resolvida por Niels Bohr no princípio de “complementaridade”, que afirma ser a natureza dotada por duas imagens de onda e de partícula, como complementares, porque descrevem dois aspectos do mesmo fenómeno.

N. Bohr já tinha enunciado, em 1923, o *princípio da correspondência* (para casos limites de grandes massas e de órbitas de grandes dimensões, a Mecânica Quântica coincide com a Mecânica Clássica) para resolver a antinomia quântica, segundo a qual o movimento dos electrões orbitais obedece às equações da Mecânica Clássica, mas as radiações de energia só satisfazem as condições quânticas.<sup>3</sup>

As duas mecânicas estão entre si como a assíptota para uma curva. Niels Bohr escreveu a descoberta do H<sub>1</sub>, ensinando-nos que as teorias clássicas da Física são idealizações, que não podem ser aplicadas sem ambiguidades, senão no limite, em que todas as acções, postas em jogo, são grandes por relação ao *quantum actionis*.

Procuramos, assim, determinar, além da exposição quântica do princípio da complementaridade, algumas posições críticas do princípio da complementaridade, para depois apresentar uma metateoria que interpreta e/ou fundamenta o valor e limites das teorias científicas, também chamada crítica ou filosofia das ciências (*epistemologia*). Além das aplicações do princípio apresentamos os fundamentos ontológicos e gnoseológicos.

## **1 – Sentido quântico da complementaridade: pelo valor e pelos limites .**

**1.1** – Este princípio fundamental da Mecânica Quântica pretende explicar a observação dos aspectos antinómicos dos microfenómenos, desde o corpuscular ao ondulatório. Para descrever os estados estacionários do átomo, Heisenberg elabora a

---

<sup>2</sup> Cf. BORN, M. – *Física Atómica*, 3ª edição, tradução do inglês, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1969, pp. 114-116.

<sup>3</sup> Cf. N. BOHR – “The structure of the atom”, in: *Nobel Lectures on Physics*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1965, pp. 5-6].

Mecânica Quântica das Matrizes, onde se escrevem – seriados pelos sub- índices – os valores das “intensidades das frequências”<sup>4</sup> e Schrödinger apresenta a Mecânica Quântica Ondulatória. Mas, nenhum dos dois formalismos matemáticos, equivalentes, nos fornece a “imagem” clara e precisa do fenómeno total, como, por exemplo, a passagem do electrão na câmara de Wilson.

Schrödinger interpretou que os electrões do átomo são ondas corpusculares a três dimensões, contudo, reduziu os níveis de energia a puras frequências de ondas, como se atesta pela seguinte equação:

$$\Delta\psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2}(E - V)\psi = 0. \text{ }^5$$

Então a escola de Copenhagen, para clarificar o problema, na sua interpretação estatística, seguiu duas vias: princípio da incerteza e o princípio da complementaridade. As duas imagens (corpuscular e ondulatória) são duas descrições complementares da mesma realidade, porque os dois operadores dos valores reais, não sendo comutativos, apresentam grandezas físicas complementares:

$$\delta A \cdot \delta B > c/2$$

Não será, pois, possível o conhecimento rigoroso e simultâneo das grandezas físicas, que caracterizam a partícula e a onda, sendo estes conceitos analógicos aos da Mecânica Clássica.

Na matéria, bem como na radiação e, em geral, na luz, em particular, introduzir a ideia do corpúsculo e das ondas simultaneamente; ou, por outras palavras, tanto num caso como no outro, teremos de assumir a existência dos corpúsculos acompanhados pelas ondas. Todavia, os corpúsculos e ondas não podem ser independente um do outro. Segundo N. Bohr, existem dois aspectos complementares da realidade e poderá ser possível estabelecer um certo paralelismo entre o movimento de um corpúsculo e a propagação das ondas associadas. O primeiro e grande objectivo, entretanto, foi definir a existência daquele paralelismo.<sup>6</sup>

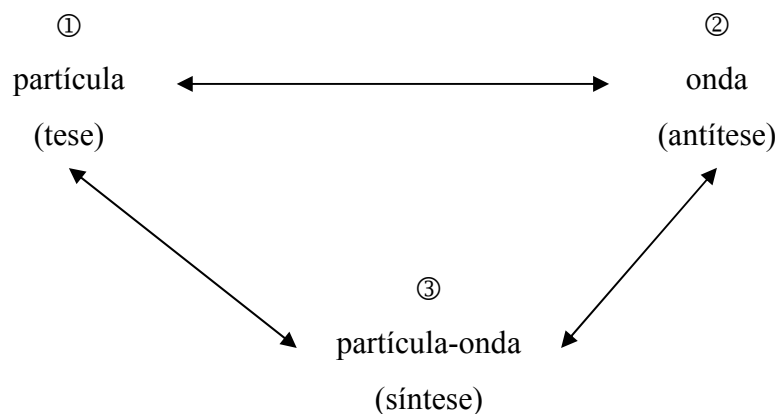
---

<sup>4</sup> Cf. HEISENBERG, W – *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*, Bibliographisches Institut, Mannheim, 1958, pp. 8-16.

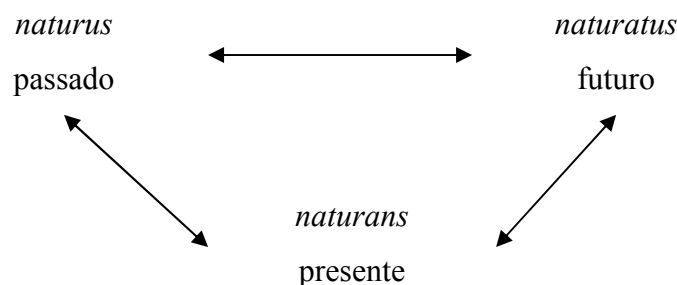
<sup>5</sup> Cf. DARROW, K. K. – *Elementare Einführung in die Wellenmechanik*, Zweite Auflage, Verlag von S. Hirzel, Leipzig, 1932, p. 17.

<sup>6</sup> Cf. IKENBERRY, E. – *Quantum Mechanics, for mathematicians and physicists*, Oxford University Press, New York, 1962, p. 28.

1.2 – Dialecticamente poderemos dizer que o “princípio da complementaridade” aparece como síntese:



Trata-se de um “enunciado diádico”, onde a natureza se revela: *naturans*, *naturatus et naturaturus*.



Assim, a complementaridade na “natureza” (*naturus*) terá esta singularidade, que vai do *naturatus sum*.

Através do princípio da complementaridade surgem duas linguagens para falar da natureza. A própria natureza reveste-se de duas formas *naturans et naturata*.

Na ordem física, a posição de uma partícula poderá obviamente observada como um “ponto acontecimento” ( $\Delta x_i$ ) e o momento surge como um acontecimento impulso  $\Delta p = m \cdot \Delta v$ . Somente se a partícula possui uma grande massa, então a Mecânica de Newton poderá ser aplicada, podendo falar-se de uma partícula, que tem uma posição e um momento e poderemos calcular o momento de duas posições pela fórmula:

$$p = m \cdot dx/dt .$$

De acordo com N. Bohr, o mundo físico não pode ser descrito por uma linguagem coerente.

Existem duas linguagens, segundo o princípio de Bohr, que são complementares uma da outra. Uma não é sem a outra. Em física quântica, a onda necessita do corpúsculo e este precisa do primeiro elemento físico. O princípio da complementaridade vem assegurar a relação entre estas duas formas de existir como “partícula-onda”, segundo L. de Broglie. Umhas vezes, somos obrigados a falar do “momento de partículas” ou impulso de acontecimentos. Se nós fazemos uso de todas as informações possíveis acerca do presente estado do mundo, poderemos usar ambas as linguagens. Poderemos “prever” acontecimentos que a ciência actual é inapta para os prever. Este aspecto do mundo é aquilo a que N. Bohr chamou de aspectos complementares.<sup>7</sup> Este princípio tem a vantagem de regular a *natura naturans* e a *natura naturata*, devido à dualidade do comportamento físico e suas relações. Esquemáticamente, vivem numa “relação de reciprocidade”, como se indica:



Uma não existe sem a outra, tal como analisa Heisenberg. Poderemos representar, como N. Bohr, a situação em física ,pelo esquema seguinte:

---

<sup>7</sup> Cf. FRANK, Ph – “Foundations of Physics”, in: *International Encyclopedia of Unified Science*, Volume 1, number 7, At the University Press, Chicago, 1950, p. 50.

– Física Clássica –

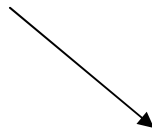
Descrição dos fenómenos no “espaço e no tempo”



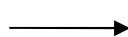
Causalidade caracterizada pelos teoremas da conservação da energia e do impulso

$$E_p + E_c = 0$$

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$



causa



efeito

– Física Quântica –

Descrição dos fenómenos no espaço e no tempo

Esquema matemático que não corresponde ao espaço e ao tempo



Relações de Incerteza

$$\Delta p \cdot \Delta x \sim h$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \sim h$$



Causalidade aleatória



(causa  $\rightarrow$  n-efeitos)



Ausência de lugar



sem o *terminus continentis*  
*imoblis primus*

<sup>8</sup> Cf. HEISENBERG, W. – *Physikalische Prinzipien der Quantentheorie*, Bibliographisches Institut, Mannheim, 1958, pp. 48-49].

**1.3** - A relação de incerteza poderá igualmente ser deduzida a partir da seguinte ideia geral: se nos propusermos formar um “feixe de ondas”, que ocupe uma distância finita na direcção do eixo dos  $xx$ , a partir de feixes de ondas separadas, necessitamos, para esse fim, de dispor de ondas monocromáticas com uma dada gama de frequência finita, isto é, por ser:

$$\lambda = h/p,$$

de partículas cujas quantidades de movimento formem um espectro finito. Mas, pode demonstrar-se, de forma geral, que a extensão linear do feixe de ondas está ligada com o espectro requerido pelas quantidades de movimento na relação:

$$\Delta p_i \cdot \Delta x_i \sim h$$

A relação análoga será  $\Delta E \cdot \Delta t \sim h$ , que pode deduzir-se de maneira semelhante, que poderá ser expressa:

$$\Delta x \cdot \Delta p = h/4\pi = 1/2 h$$

como exacta expressão da incerteza de Heisenberg para o feixe de ondas especial. Será evidente que, quanto à ordem de grandeza, a relação  $\Delta x \cdot \Delta p \sim h$ , é válida para qualquer forma de feixe de ondas.

Em função do princípio de Heisenberg, Bohr costumava asseverar que os aspectos corpuscular e ondulatório são *complementares*, significando que se demonstrarmos o carácter corpuscular de uma experiência, será impossível provar, ao mesmo tempo, *sed non sub eodem aspectu*, o seu carácter ondulatório e, assim, inversamente.<sup>9</sup>

O princípio de complementaridade depende do da incerteza, como se comprova pelo enunciado de N. Bohr:

$$\delta A \cdot \delta B > c/2$$

Este aspecto terá implicações na causalidade e, naturalmente, o dualismo onda-corpúsculo e a indeterminação estão nele essencialmente envolvidos, pela métrica das observações físicas, nos coage a abandonar qualquer tentativa de instituir uma “teoria

---

<sup>9</sup> Cf. BORN, M. – *Física Atómica*, tradução do inglês por Egídio Namorado, 4ª edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1986, pp. 111-112.

determinista”, que terá implicações na ordem filosófica, desde a gnoseologia até à ontologia, passando pela fenomenologia.<sup>10</sup>

**1.4** – O princípio da complementaridade pode ser quanticamente generalizado, assim consideramos a complementaridade entre amplitudes e fases, que implica o formalismo de Schrödinger e de Heisenberg.

Esta perspectiva pode aparecer como crítica e reflexão ao pensamento de Bohr. Será necessário pensar com um só corpúsculo, aquilo que estabelece a propriedade não somente para os bosões, mas também para os fermiões.

Estabelecemos estas propriedades em razão da maneira concreta sobre uma das mais célebres *gedankenexperiment* do tipo “banco de óptica”: o écran de Young atravessado por um só corpúsculo.

Poderemos excluir da nossa perspectiva aquela que é a formulação tradicional, chamada complementaridade entre as noções de onda e de corpúsculo, atendendo àquilo porque se entendeu por onda e pelo sentido do corpúsculo.

Mas segundo o carácter obrigatório do número de ocupação, numa medida daquela fase de onda, não o será vice-versa. Retomemos a célebre experiência de pensamento das franjas de Young, determinada por uma onda  $\psi$ , portadores de um só corpúsculo.

Se queremos referir as franjas por acumulação do impacto sobre uma placa fotográfica, ao repetir a experiência um grande número de vezes, será necessário que as duas “lentes” estejam abertas.

Se, ao contrário, queremos determinar o número de ocupação de uma das duas ondas quasi-cilíndricas, então será necessário fechar a outra abertura. Mas, as franjas desaparecem, não podendo falar-se da diferença de fases destas duas ondas.

A diferença de fases, entre a onda e o corpúsculo, e os números de ocupação das duas ondas quasi-cilíndricas não são simultaneamente determinadas.

A defasagem entre as duas ondas, compondo a onda total, não será medida, se considerarmos um número grande, mas contáveis, de corpúsculos, sobre a onda total.

---

<sup>10</sup> Cf. HEISENBERG, W. *et alii* – *Discussione sulla fisica moderna*, traduzione dal tedesco, P. Boringhieri, Torino, 1960, pp. 35-58.



Os números de ocupação tornam-se elevados e naturalmente a relação de incerteza ,entre fases e números de ocupação  $n$ , têm, no caso dos bosões, a “forma”:

$$\delta A \cdot \delta B \cong 1$$

Mas, a grandeza limitaria a perfeição da interferência, como se escreve:

$$\delta A \cdot \delta n/n \cong 1/n ,$$

a qual tende para zero, quando  $n$  se torna muito grande.<sup>11</sup>

**1.5** – Sendo uma onda  $\psi$  portadora de um só corpúsculo, que cai sobre um espelho semi-transparente, a onda  $\psi$  separa-se em duas ondas, uma  $\psi_1$  transmitida e outra  $\psi_2$  reflectida, que são calculadas por meio de métodos usados pela óptica clássica. Sendo  $f = 1$ ,  $f_1$  e  $f_2$ , tais que  $f_1 + f_2 = 1$ , as intensidades reais positivas destas três ondas, quer dizer os fluxos correntes de Gordon, através de uma hiper-superfície de espaço semelhante.

Os números não-inteiros  $f_1$  e  $f_2$  representam as probabilidades *a priori* de reencontrar o corpúsculo sobre a onda  $\psi_1$  ou sobre a onda  $\psi_2$ , depois de medidas as intensidades das ondas  $\psi_1$  e  $\psi_2$  que serão tornadas inteiras, como os valores 1 e 0, ou 0 e 1.

Imaginemos que um observador  $O_1$  opera sobre o feixe  $\psi_1$ , e um observador  $O_2$  sobre o feixe  $\psi_2$ , cada um poderá fazer passar o seu feixe por meio de um écran, para ver se ele encontrará ou não o corpúsculo. Segundo O. Costa de Beauregard: “puisque le critère de l’objectivité, c’est l’unanimité témoins, nous devons conclure que , la grâce séparatrice et, au moins, un compteur de particules étant en place, c’est objectivement que le corpuscule se trouve présent sur l’un ou l’autre de deux faisceaux émergents, et absent de l’autre. Nous retrouvons ainsi le fait, déjà mis en lumière, de l’objectivité à l’intérieur d’un même programme de mesures, mais sous une forme rendue très frappante par la séparation en deux du faisceau initial”.<sup>12</sup>

N. Bohr foi criticado por Einstein na sua interpretação :“Si, dit Einstein, sans aucunement agir sur un certain être physique l’on peut cependant faire une mesure d’on résulte la connaissance exacte d’une propriété du premier être alors il existe un

---

<sup>11</sup> Cf. COSTA DE BEAUREGARD, O. – *Théorie Synthétique de la Relativité et des Quanta*, Gauthier-Villars, Paris, 1957, pp. 25-26.

<sup>12</sup> Cf. BOHR, N. – *The Theory of Spectre and Atomic Constitution*, At the University Press, Cambridge, 1922, pp. 7-15.

élément correspondant d'objectivité de cet être. C'est l'affirmation du caractère objectif d'un résultat de mesure. (...) A cela Bohr répond bien sûr, il ne peut être question d'un dérangement mécanique du système en étude durant la dernière étape critique de l'acte de mesure. (...) C'est l'affirmation du caractère arbitraire de la forme de la question posée à la Nature et du caractère aléatoire de la réponse reçue".<sup>13</sup>

A determinação simultânea da posição e da velocidade é realmente impossível e é incompatível com as leis quânticas firmemente alicerçadas na experiência.

A origem desta dificuldade aparece pelo facto de sermos complicados a usar palavras da linguagem vulgar, quando queremos descrever um fenómeno, não pela análise lógica ou matemática, mas por uma representação que apele para a imaginação. A linguagem vulgar desenvolveu-se pela experiência quotidiana e não pode nunca ultrapassar estes limites. A física clássica restringiu-se ao uso de conceitos, desta espécie, pela análise dos movimentos elementares: partículas móveis e ondas.

Não existe outra maneira de fazer uma descrição intuitiva dos movimentos, temos, sim, que os aplicar mesmo no domínio dos processos atómicos, onde a física clássica fracassou.

Naturalmente que, por um lado, qualquer processo poderá ser interpretado seja em termos de corpúsculos, seja em termos de ondas; mas, por outro lado, está para além das nossas possibilidades provar que estamos lidando com corpúsculos ou com ondas, pois não podemos determinar simultaneamente todas as outras propriedades, que caracterizam um corpúsculo ou uma onda. Poder-se-á afirmar que as descrições ondulatória e corpuscular devem ser encaradas como modos "complementares" de conceber o mesmo e único processo objectivo, o qual, só em casos limites e definidos, admite uma interpretação intuitiva completa. Será precisamente a possibilidade limitada de realizar medições, que define as fronteiras entre os nossos conceitos de partícula e de onda.

A descrição corpuscular significa, ao fim e ao cabo, que realizamos medições com o objectivo de obtermos informações exactas acerca das relações da quantidade de movimento e da energia, como se verifica pelo *Efeito de Compton*:

---

<sup>13</sup> Cf. *Idem, Ibidem*, pp.28-29.

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = c(1/v' - 1/v) = (1 - \cos\varphi) \frac{h}{m_0 c} = 2\lambda_0 \cdot \text{sen}^2 \varphi/2, \text{ onde o electrão tem,}$$

depois do choque com um *lucis quantum*, a seguinte energia cinética:

$$(m - m_0)c^2 = m_0 \cdot c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1 \right).^{14}$$

De forma observada, teremos, com o comprimento de onda do electrão, o seguinte valor métrico:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m \cdot c} \cdot (1 - \cos\vartheta),$$

$$h/mc \cong 2,4 \times 10^{-10} \text{ cm}.^{15}$$

Por aqui vamos verificando que o princípio da complementaridade é mais um princípio, de ordem filosófica, do que um postulado da métrica quântica.

Como analisaremos, talvez se possa dizer que é mais um princípio dos fundamentos filosóficos da Mecânica Quântica.

## 2 – *Ascensão e queda da complementaridade: pelas diferentes leituras*

**2.1** – Os físicos mais avançados, segundo M. Bunge, julgavam que tinham de enfrentar duas dualidades: a natureza dual do campo electromagnético (Maxwell) e a possível dualidade da matéria. A partir desta dupla dualidade, não havia mais do que um pequeno passo a dar para a conjuntura ontológica, de que toda a entidade física tem aspectos corpusculares e ondulatórios. Esta é a tese do dualismo geral, como hipótese metafísica, porque diz respeito à natureza básica de todo o existente.

Quando a Mecânica Quântica foi elaborada, as relações de “incerteza de Heisenberg” foram interpretadas segundo o “dualismo físico”:  $\Delta p_x \cdot \Delta x \sim h$ .

Naturalmente, o princípio de complementaridade de N. Bohr nunca foi afirmado sem ambiguidade, para não dizer claramente compreendido. Seria, de facto, uma especificação ou particularização porque, além de afirmar a dualidade, declarava que

<sup>14</sup> Cf. GASIOROWICZ, S. – *Quantum physics*, John Wiley and Sons, 1998, pp. 10-14.

<sup>15</sup> Cf. IKENBERRY, E. – *Quantum Mechanics, for mathematicians and physicists*, pp. 13-16.

quanto mais um dos dois aspectos é realçado, tanto mais o seu complemento era ofuscado.

O princípio da complementaridade pretendia dizer respeito mais ao complexo sujeito-objecto, do que aos micro sistemas, existindo autonomamente.

De facto, as formulações ortodoxas do princípio não afirmam que os traços corpusculares e ondulatórios de um microssistema se equilibram entre si. Em vez disso, declaram que aquilo que pode ser “complementar” é ou um par de dispositivos experimentais macroscópicos, incluindo o observador, ou um par de descrições dos resultados de operações conduzidas com a ajuda dessas montagens laboratoriais ou com um par de conceitos. A complementaridade fortalece o “dualismo” ao torná-lo ligeiramente mais preciso, mas por, outro lado, enfraquece o “dualismo” ao não conseguir atribuí-lo à natureza das coisas em si, como os átomos, no espaço livre, não teriam uma “natureza dual”. Eles seriam apenas ficções de uma imaginação não disciplinada pela filosofia de Copenhague, centrada no sujeito.<sup>16</sup>

Visto que os dispositivos experimentais e os seus resultados podem supostamente ser descritos em termos clássicos, o princípio de complementaridade permanece neste lado da Mecânica Quântica e da Electrodinâmica Quântica. *In stricto sensu*, a “complementaridade de Bohr” não é um enunciado teórico-quântico, enquanto não disser respeito a microssistemas. Trata-se de um enunciado lógico-filosófico, tanto mais que se trata de um princípio didáctico-pedagógico.

Assim, o princípio de complementaridade não é um princípio, porque nada implica e, ainda, segundo a lógica simbólica, nenhum teorema se segue dele.

O pseudo- princípio da complementaridade não é, então nem um princípio, nem um teorema, dado que não é válido para os campos.

E na teoria quântica avançada das partículas, pela segunda quantização de Feynemann, o campo é tratado como uma coisa primordial.<sup>17</sup>

Logo, no caso dos electrões, ou dos mesões, o campo da matéria é olhado como a entidade primária, ao passo que as partículas ou, antes, as entidades semelhantes às partículas, são apenas *quanta* do campo, ou seja, aparecem como pedaços do campo.

---

<sup>16</sup> Cf. BUNGE, M. – *Philosophy of Physics*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1973, pp. 123-125.

<sup>17</sup> Cf. *Idem*, *Ibidem*, p. 124.

Como representam um valor próprio do operador do número de ocupação, os *quanta* do campo não são partículas, em sentido clássico.

Por outras palavras, qualquer teoria de segunda quantização está mais próxima de uma teoria clássica do campo do que da teoria mecânica clássica, mesmo que possa ser moldada numa estruturação hamiltoniana para quantificação do campo radiante:

$$\begin{aligned}\vec{H}_u &= \omega_u^2 (\vec{q}_u \cdot \vec{q}'_u + \vec{q}'_u \cdot \vec{q}_u) \\ G &= \int_{\vec{L}^3} \vec{D} \wedge \vec{B} \cdot d\vec{r} = 1/c^2 \int_{\vec{L}^3} \\ G &= \sum_u (\vec{H}_u / c) \vec{k}_u / |\vec{k}_u| = \sum_u \vec{G}_u .^{18}\end{aligned}$$

Assim, segundo a nova mecânica quântica, teremos a hamiltoniana de um sistema completo:

átomo + campo radiante ,

concebido como sistema dinâmico único. A hamiltoniana do movimento não relativista de um “negatão atómico” no campo central será:

$$H_{matéria} = p^2 / 2m + \phi(r)$$

A hamiltoniana do campo radiante será:

$$H_{campo} = 1/2 \sum_u (P_u^2 + \omega_u^2 \cdot Q_u^2)$$

Ligando as duas equações, obteremos o hamiltoniano  $H_0$  do campo puro e da matéria representada pelo negatão atómico:

$$H_0 = H_{matéria} + H_{campo} = p^2 / 2m + \vec{\phi}(\vec{r}) + 1/2 \sum_u (P_u^2 + \omega_u^2 \cdot Q_u^2).^{19}$$

Epistemologicamente pensando, qualquer teoria da segunda quantização está mais próxima de uma teoria clássica do campo do que da teoria mecânica clássica, mesmo que possa ser moldada numa estruturação hamiltoniana.

Consequentemente, não há lugar para a “complementaridade” nas áreas mais específicas da teoria quântica, nem *a fortiori*, em qualquer das teorias fenomenológicas, tais como o formalismo matricial das incertezas, que evitam uma descrição detalhada do campo.

<sup>18</sup> Cf. KAHAN, Th. – *Précis da Physique Théorique*, tome II, volume I, Presses Universitaires de France, Paris, 1968, pp. 558-559.

<sup>19</sup> Cf. SCHIFF, L. I. – *Quantum Mechanics*, Mac Graw-Hill, 1955, pp. 68-120.

Então, como se explica a sobrevivência da complementaridade? A principal razão, segundo M. Bunge, parece ser a sua utilidade.

Na verdade, a “complementaridade” explica satisfatoriamente muitas dificuldades e dá conta das experiências de duas espécies: experiências pensadas, que nunca foram realizadas e experiências reais que nunca foram computadas, em termos teórico-quânticos.

Uma vez aceite o princípio da complementaridade, este poderá ser usado para consagrar obscuridades e inconsistências.

No tocante à experiência, que alegadamente ilustra o princípio, ela é, de facto imaginária ou está para além do alcance da teoria. Entre os primeiros encontra-se o microscópio de raios gama de Heisenberg e a experiência do obturador de Bohr na discussão com Einstein. Visto que não têm poder de confirmação, devemos deixá-los de lado. Entre as experiências de segunda espécie, destacam-se as experiências da difracção.

Infelizmente, a difracção, por uma única fenda, só foi calculada para uma fenda infinitamente longa e para uma onda monocromática de De Broglie. O cálculo disponível é aproximado e os seus resultados chocam de frente com as desigualdades de Heisenberg.

*A fortiori*, a muito discutida experiência da dupla fenda nunca foi calculada exactamente na Mecânica Quântica, para não falar na Electrodinâmica Quântica.

Na verdade, só algumas fórmulas são usadas nas discussões qualitativas destas experiências, mas elas são tiradas da teoria geral, não resultando de uma aplicação dela e essas circunstâncias especiais.

Com efeito, também acontece que alguns padrões de difracção são mostrados, mas eles são tirados de experiências reais, até agora não calculados ou são empréstimos da óptica clássica.

A discussão destas experiências, em termos de complementaridade, é verbal e analógica.

Naturalmente, a complementaridade não é parte e parcela da teoria quântica.

A complementaridade, embora parecesse razoável nos primeiros tempos da teoria quântica, quando se pensava em termos de imagens clássicas, esgotará, segundo

Bunge, qualquer potencial que pudesse ter tido e tornou-se uma desculpa para a obscuridade e inconsistência, favorecendo a teoria dos “parâmetros ocultos”.<sup>20</sup>

**2.2** – A complementaridade de Bohr oscila entre uma descrição espaciotemporal e uma descrição causal, que se poderá reduzir entre a posição e o tempo, por um lado ,e, por outro, a impulsão e a energia. A essência da física quântica poderá exprimir-se pelo “postulado de Bohr”, o qual refere que todo o processo atómico apresenta um carácter de descontinuidade ou de individualidade, completamente estranho às teorias clássicas e caracterizado pelo *quantum actionis* de Planck.<sup>21</sup>

Pese embora o princípio de complementaridade não apareça descrito na maioria dos tratados de Mecânica Quântica, está consignado filosoficamente com algum interesse, uma vez que esta complementaridade logicamente se traduz numa relação n-ádica, que existe entre as notas ou elementos de um conceito, de uma proposição ou de n-proposições, de modo a formar um todo de sentido semântico,  $xRy$ , aparecendo como uma operação formal da teoria dos conjuntos:  $A < B$ . O sentido prático da complementaridade, segundo N. Bohr, é reduzido, mas tal não implica que não haja pouco significado em Mecânica Quântica.

Por estas razões, o princípio de complementaridade refere-se com interesse marcadamente gnoseológico, como veremos ao descrever a sua fundamentação filosófica.

**2.3** – Será interessante observar que, no ano de 1927, a situação era tal que nem o modelo corpuscular, nem o ondulatório eram adequados para explicar a nova realidade do mundo sub- atómico. O princípio de Bohr, muito embora surjam muitas críticas, segundo E. Agazzi, desempenhou um papel significativo na filosofia oficial da Mecânica Quântica.

Um dos aspectos mais curiosos prende-se com o facto de este princípio nunca ter sido enunciado de modo claro e unívoco, especialmente no que se refere ao enunciado

---

<sup>20</sup> Cf. SAKURAI, J. J. – *Modern Quantum Mechanics*, Addison-Wesley Publishing Company, New York, 1998, pp. 106-226.

<sup>21</sup> Cf. DIRAC, P. A. M. – *The Principles of Quantum Mechanics*, Clarendon Press, Oxford, 1958, pp. 18-56.

do seu criador Niels Bohr. Há uma grande vacuidade sobre elementos quânticos, relativamente às afirmações fundamentais deste princípio.

Se se toma em consideração as declarações de Bohr, o princípio em questão parece referir-se a descrições dos fenómenos. Por causa dos seus contrastes, as manifestações dos sistemas atómicos, sob diversas condições experimentais, devem ser entendidas como “complementares”, no sentido em que todas elas estão perfeitamente definidas e que juntas esgotam todo o conhecimento, relativamente aos objectos estudados. O formalismo quântico, cujo fim será a compreensão das observações feitas sob condições experimentais, susceptíveis de serem descritas mediante simples conceitos físicos proporciona uma descrição completamente exhaustiva de um amplo domínio da experiência.<sup>22</sup>

Analogamente, Bohr fala outras vezes de “imagens”. Os dados obtidos, em condições experimentais distintas, não se podem recolher numa imagem singular, mas numa “imagem dual” (complementares), no sentido em que somente a totalidade dos fenómenos esgota a possibilidade de informação relativamente aos objectos.

A vacuidade, não voluntária, criada por N. Bohr ao falar de descrições ou “imagens”, esteve menos acentuada em outros autores.

W. Pauli chama “complementares” aos dois conceitos clássicos, não duas afirmações e salienta: se a possibilidade de usar um conceito clássico está na relação de exclusão com a possibilidade de utilizar outros, então chamamos de complementares a estes dois conceitos, por exemplo, as coordenadas de posição e do impulso de uma partícula.<sup>23</sup>

Não será difícil ver que o conceito de complementaridade se lê de uma maneira distinta.

Não se trata já, como no caso de Bohr, de duas descrições clássicas, mutuamente excluídas dos factos atómicos, mas de dois conceitos que, pertencendo a uma mesma descrição clássica, como a corpuscular, não se pode usar simultaneamente, sendo modificado por Carl von Weizsäcker.<sup>24</sup>

---

<sup>22</sup> Cf. AGAZZI, E. – *Temas y problemas de Filosofía de la Física*, Barcelona, Editorial Herder, 1978, p. 130.

<sup>23</sup> Cf. PAULI, W. – *Pauli Lectures on Physics*, volume 5, *Wave Mechanics*, translated by H. R. Lewis and S. Margulies, MIT Press, Cambridge, 1973, pp. 38-69; 105-126; 127-164.

<sup>24</sup> Cf. VON WEIZSÄCKER, C. F. E. – “El significado de la teoría cuántica”, in: *Analogía*, 5, 2 (México, 1991) pp. 10-12.



Ao menos o que se pode dizer é que considerar equivalentes formulações da complementaridade, tais como a exposta por Bohr, por uma parte, e, por Pauli, por outra, equivale a criar uma certa confusão, a qual remonta ao mesmo Bohr. Segundo o físico dinamarquês, observa-se, em variadas circunstâncias, a impossibilidade de combinar, totalmente, a coordenação espácio-temporal, por um lado, e a determinação da energia e a quantidade do movimento, por outro, ficando a mesma estrutura, que em princípio devem ter os aparelhos capazes de permitir a determinação de uma ou de outra.

Este raciocínio, cuja essência é evidentemente o conteúdo do princípio de Heisenberg, deveria conduzir a uma definição da *complementaridade* do tipo de Pauli.

Pelo contrário, Bohr passa, sem nenhuma justificação, ao seu tipo de complementaridade, isto é, aquele que se refere às descrições classicamente incompatíveis: deveremos estar preparados, afirma, frente ao facto de que os dados obtidos mediante dispositivos experimentais mutuamente excluídos – como os que usam para determinar a posição e o impulso – podem mostrar contrastes até agora não observados e aparecer como contraditórios à primeira vista. Será, necessariamente, por esta situação, na qual se recorre à noção de complementaridade, para elaborar um esquema suficientemente amplo, que proporciona a explicação das regularidades fundamentais, que não podem ser incluídas numa descrição única.<sup>25</sup>

O facto de que devemos estar preparados para aceitar uma complementaridade entre descrições reunidas entre si, não resulta absolutamente como consequência lógica de que estamos obrigados a contentarmos com medidas não plenamente determinadas de certas grandezas físicas. O princípio de complementaridade foi apresentado como uma espécie de *estado de necessidade* imposto pelas relações de indeterminação:

$$\Delta x \cdot \Delta p \sim h; \quad \Delta E \cdot \Delta t \sim h$$

Max Born segue plenamente Niels Bohr, neste tipo de raciocínio. Tal facto não é verdadeiro se o princípio de complementaridade se entende no sentido de Bohr – complementaridade entre descrições –, enquanto resulta demasiado trivial, que se entenda no sentido de Pauli, posto que, neste caso, surge uma simples reformulação verbal do mesmo princípio de indeterminação.<sup>26</sup>

---

<sup>25</sup> Cf. BOHR, N. – *Collected Works*, volume 2, edited by U. Hoyer, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1981, pp. 7-10.

<sup>26</sup> Cf. BORN, M. – *Física Atómica*, 1968, pp. 107-109.

Está clara a afirmação simultânea das “imagens”, das “descrições” e, portanto, de duas teorias embrionárias contrapostas do mundo da microfísica, que não podiam escapar a um juízo formulado, uma vez por Schroedinger:

$$\Delta\psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V)\psi \equiv 0$$

Para não admitir um *status* provisional para o princípio da complementaridade, e ao mesmo tempo para sustentar as acusações de contradição, os defensores da complementaridade encontraram um precioso auxílio no princípio de Heisenberg.<sup>27</sup>

É indiscutível e historicamente documentável que Bohr não chegou à ideia de complementaridade pelo conhecimento do princípio de Heisenberg, mas não é menos certo que no referido princípio se encontra uma espécie de confirmação psicológica e lógica.

Segundo a perspectiva de N. Bohr, o princípio da indeterminação coloca o preço a pagar pelo uso de noções complementares, mas irreconciliáveis, e mostrava como não se chegaria a uma contradição, porque jamais se chegariam a cimentar simultaneamente os dois aspectos complementares e irreconciliáveis de um mesmo fenómeno.<sup>28</sup>

Mas, esta justificação foi exaustivamente repetida por muitos defensores da chamada “Escola de Copenhaguen”, mas a sua força aparente repousa precisamente numa confusão entre os dois aspectos distintos da noção de complementaridade.

Uma coisa é a situação nova que se dá na microfísica, que nos proíbe o uso simultâneo, com uma precisão superior a certo limite, dos dois conceitos mutuamente compatíveis (posição e velocidade), cujo significado provém da Mecânica Clássica, enquanto que outra coisa distinta é admitir que a nova situação parece impor-se ao uso simultâneo de dois conceitos de origem clássico, mutuamente incompatíveis (onda e corpúsculo).

O primeiro caso não coloca problemas de compatibilidade lógica, de não contradição intrínseca, senão que coloca o problema da inadequação dos conceitos clássicos isolados ao aplicarem-se situações quânticas.

---

<sup>27</sup> Cf. HEISENBERG, W. – *Physics and Philosophy*, George Allen and Unwin, London, 1958, pp. 115-126.

<sup>28</sup> Cf. BOHR, N.; PAIS, A. – *Niels Bohr's Times: in Physics, Philosophy, and Polity*, Oxford, Clarendon Press, 1991, pp. 425-427.

Porém, o segundo caso coloca problemas de não contradição intrínseca, para fazer frente aos quais é ilusório recorrer ao princípio de indeterminação, por duas razões: por um lado, porque este é uma tomada de consciência de uma situação do primeiro tipo, que não apresenta nenhum nexos evidente com as do segundo; em segundo, porque a “compatibilidade lógica” entre os conceitos não pode estar assegurada pelo simples facto dos mesmos, não podem ser confrontados directamente no terreno experimental, por causa da indeterminação das “medidas quânticas”.<sup>29</sup>

**2.4** – Foi no Congresso de Como que Bohr formulou, pela primeira vez, a ideia de complementaridade, a mesma que aparecia como enunciado de uma necessidade para considerar tão só como complementares, a nível quântico, certos conceitos, que a nível clássico eram compatíveis e se acostumavam a empregar simultaneamente a propósito dos mesmos acontecimentos.

Assim, Bohr considerou a localização espácio-temporal, por um lado, e causalidade pelo outro, e não conseguiu determinar mais a sua formulação, porque não era possível na época, que só pode lograr-se precisamente depois do enunciado do princípio de Heisenberg: “A natureza intrínseca da teoria quanta, diz Bohr, obriga-nos a considerar a coordenação espácio-temporal e a afirmação de causalidade, cuja união caracteriza a teoria clássica, como aspectos complementares e mutuamente excluídos da descrição, os quais simbolizam a idealização da observação e da definição”.<sup>30</sup>

Até aqui não se observam traços do uso da complementaridade para justificar o uso de conceitos classicamente incompatíveis.

Quando Bohr concebeu a ideia de complementaridade, pretendeu estabelecer o balanço do estado da microfísica da época.

Até 1925, o formalismo da Mecânica Quântica consistia essencialmente num esquema simbólico, que permita, de acordo com o princípio da correspondência, (considera uma certa média das grandezas clássicas, tomadas sobre o conjunto dos estados não estacionários, que são intermédios entre o estado estacionário final, que

---

<sup>29</sup> Cf. AGAZZI, E. – *Temas y problemas de Filosofía de la Física*, tradução do francês, Barcelona, Editorial Herder, 1978, pp. 311-312.

<sup>30</sup> Cf. HEISENBERG, W. – *Philosophic Problems of Nuclear Science*, Faber and Faber, London, 1978, pp. 27-106.

correspondem à risca espectral considerada)<sup>31</sup> prever certos resultados que se poderiam obter a partir de condições especificadas em termos de conceitos clássicos.

Assim, o princípio de complementaridade declara, de modo explícito, mas genericamente, a necessária situação de imprecisão, que acompanha o uso destes conceitos. Muito pouco tempo depois, o princípio de indeterminação proporcionaria uma formulação quantitativa precisa da mesma afirmação, constituindo, desta maneira, uma confirmação do princípio da complementaridade, entendido de acordo com esta primeira interpretação.

Quando mais tarde, pela consequência de bem conhecidas vicissitudes, de tipo teórico e experimental, tiveram que enfrentar-se as alternativas de tipo “onda-corpúsculo”, parecem ver nelas uma situação análoga à precedente. Isto é, foram interpretadas a partir do exemplo familiar, dado por dois conceitos clássicos, que se deveriam supor como complementares.

É absolutamente necessário compreender, escreve N. Bohr, que no exame de toda a experiência física, devem expressar-se ora pelas condições experimentais, ora pelos resultados das observações, os mesmos meios de comunicação, que se usam na física clássica.<sup>32</sup>

Também outros autores, que adoptam posturas deste tipo, como Heisenberg, Born, Jordan, assinalaram rapidamente esta dependência da teoria dos *quanta* relativamente à linguagem clássica. Esta circunstância seria justificada pelo facto dos aparelhos experimentais, que nós devem valer para investigar os fenómenos subatómicos, e os seus comportamentos devem ser descritos classicamente.

É natural que os conceitos clássicos tão só podem encontrar uma aplicação aproximada, mesmo que, por outra parte, está claro que não se pode fazer outra coisa senão que tomar nota desta situação e contentar-se com o facto de que precisamente a imprecisão desta aplicação constitui uma garantia contra um choque directo entre conceitos contraditórios.

O carácter de indeterminação, inerente ao princípio de Heisenberg, fazem servir para conceitos, que não têm realmente nada a ver com o dito princípio, tais como os de

---

<sup>31</sup> Cf. DE BROGLIE, L. – *La Física Nueva y los Cuantos*, traducción del francés, Editorial Losada, Buenos Aires, 1944, p. 157.

<sup>32</sup> Cf. HERMANN, G. – *Les fondements philosophique de la mécanique quantique*, traduit par A. Schmell, Librairie Philosophique J. Vrin, Paris, 1996, pp. 77-79.

onda e os corpúsculos, graças a um equívoco subtil, mas que não é difícil colocar em evidência.

Finalmente, entre a ascensão e a queda da *complementaridade* de N. Bohr, teremos que dizer que tal princípio necessitaria de ser generalizado em virtude da teoria da unificação da Física.

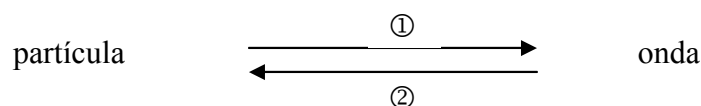
Contudo, será conveniente referir que este princípio não é de índole científica, dado que não tem confirmação experimental, no mundo da física, mas apresenta-se unicamente como enunciado metafísico.

A complementaridade ontologicamente diz que a natureza *sicut dynamicam essentiam esse* revela-se em duas “imagens” ou duas expressões recíprocas diadicamente, como: onda-partícula.

Seria como se a natureza tivesse uma dupla essência, com o mesmo *esse ontologicus*. . A física teórica e a filosofia da natureza são “complementares” para a resolução dos problemas quânticos. A física desvenda, pela Análise Matemática, as estruturas e as próprias essências dos entes físicos e a Filosofia da Natureza estuda os problemas do ser (existir) e o devir temporal dos entes físicos (partícula-onda).

O problema ontológico da complementaridade coloca esta dualidade complementar: essência dinâmica e existir.

Em qualquer hipótese, implica, na sua essência existencial, ou na mudança a relação biunívoca:

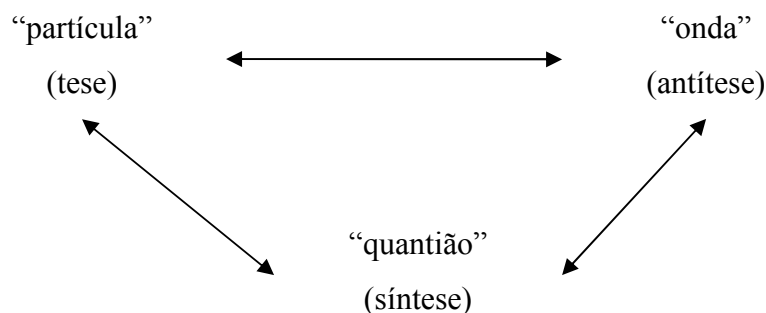


A relação metafísica será dada por dois princípios de ser: o material e o formal. Com efeito, revelam-se novos graus de ser e propriedades especificamente diferentes. Essa relação corresponde à expressão dual e física (partícula-onda), que metricamente, segundo a Mecânica Quântica, se significa por:

$$i/\hbar H\psi \leftrightarrow \sum \left( \frac{\partial H}{\partial p} \cdot \frac{\partial}{\partial q_i} - \frac{\partial H}{\partial q_i} \cdot \frac{\partial}{\partial p_i} \right) \psi$$
<sup>33</sup>

<sup>33</sup> Cf. SIRAUSS, M. – *Modern Physics and its Philosophy, Selected Papers in the Logic, History, and Philosophy of Science*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1974, pp. 258-259.

Segundo a “métrica de Schroedinger”, as leis do movimento da partícula-onda traduzem a potência como limite do ser métrico dual, onde uma potência se transforma noutra potência. A perfeição do ser mutável é o acto, que revela a “complementaridade ontológica”, ou *síntese*, como defendeu Hegel, ao dizer que esta supõe uma “trilogia dialéctica”:



O *quantião* é o movimento e a posição da partícula-onda, que são determinados em função do princípio de incerteza quer para a quantidade matéria, quer para a energia, respectivamente pelas fórmulas:

$$\Delta p \cdot \Delta x \sim h ; \Delta E \cdot \Delta t \sim h .$$

O *quantião* marca, sinteticamente, o sentido ontológico da *complementaridade* como limite da perfeição quântica. Poderemos dizer que se trata de uma “potência de potência”. Naturalmente que o *quantião* vive numa causalidade probabilística de n-efeitos: partícula → onda → partícula. Este determina a causalidade circular ou “recíproca”, a qual postula n-efeitos.

Segundo o princípio da complementaridade surgem diferentes imagens para a natureza, que gnoseologicamente são as certezas probabilísticas, que têm como fundamento a evidência aleatória quântica. Naturalmente, hoje a Mecânica Quântica é, também, matemática e filosofia aplicadas.

Com a complementaridade a natureza é uma, com duas faces ou “imagens”: a corpuscular e a ondulatória.

As duas imagens não são uma sem a outra e, por isso, convivem, na natureza, dualmente, como determina a ontologia regional da Mecânica Quântica.

### **3 – Interpretação de Copenhagen e a complementaridade: da gnoseologia à lógica simbólica**

**3.1** – A interpretação de Copenhagen é quase universalmente aceite e diz que a realidade objectiva se esfumou, dado que a Mecânica Quântica não representa partículas, antes o nosso conhecimento, a nossa observação, a nossa consciência das partículas.

O físico F. Bopp, escreveu, sobre a leitura de Copenhagen, que as considerações não supõem nenhuma alteração do conceito matemático de complementaridade, porque este físico interpreta o formalismo teórico-quântico como extensão da mecânica estatística clássica, como se fosse uma teoria dos conjuntos. Há muito tempo que a interpretação de Copenhagen foi abandonada, e a maioria dos físicos não lhe presta qualquer atenção.<sup>34</sup>

A mecânica quântica era considerada pelos seus partidários como a forma final desta teoria electromagnética da matéria.

O formalismo de Copenhagen considera a teoria dos electrões e dos protões e, portanto, como a teoria da constituição dos átomos, do sistema periódico dos elementos, e de suas propriedades físicas e da ligação química.

Esta teoria, de que a matéria consiste em protões e electrões, morreu desde há alguns anos a esta parte

. A sua enfermidade começou com a descoberta do neutrão e do positão (que as autoridades de Copenhagen se negaram a aceitar o princípio), recebeu o golpe de misericórdia pela descoberta dos níveis de interacção, de que as forças electromagnéticas constituem uma entre quatro:

1. forças nucleares;
2. forças electromagnéticas;
3. interacções débeis de desintegração;
4. forças de gravitação.

---

<sup>34</sup> Cf. SCHILPP, P. A. – *Albert Einstein: philosopher-scientist*, New York, 1949, pp. 665-668.

Também se perdeu a esperança de resolver, dentro da Mecânica Quântica, problemas clássicos da teoria electromagnética, tais como: a explicação da carga electrónica. Perante uma tal situação poderemos considerar a luta titânica entre Einstein e Bohr. O problema colocado por Einstein foi se a Mecânica Quântica era – completa –. Einstein dizia que não e Bohr dizia que sim.<sup>35</sup>

Einstein tinha razão, mas quem ganhou a batalha fora Bohr. Esta opinião persistiu, em grande medida, porque o ataque de Einstein à asserção de Bohr sobre a – completude – da Mecânica Quântica fora interpretada pela Escola de Copenhague, como um ataque à Mecânica Quântica e à sua consistência. Daqui ser estranho aceitar a identificação da interpretação de Copenhague como a teoria quântica e à mudança que fez Bohr do problema da completude ou das correcções (ausência de contradição). Entretanto, Einstein ofereceu a sua própria interpretação (estatística) da teoria quântica, tendo aceite claramente o facto da sua consistência.<sup>36</sup>

Gnoseologicamente pensando, não é físico aceitar a ideia de que existem partículas que possuam posições ( $\Delta xi$ ) e movimentos ( $\Delta pi$ ) definidos em qualquer momento do tempo dado e conceder que esses dados nunca poderão ser confirmados experimentalmente, por um capricho da natureza.

Há que admitir que os físicos aplicam o formalismo da Mecânica Quântica a velhos problemas e aos métodos do formalismo, com muitas modificações se se usam, em parte, na relação com problemas da teoria nuclear e da teoria das partículas elementares.

A maioria dos experimentadores, mais preocupados com os limites da precisão dos seus resultados, não parecem estar preocupados relativamente à função do observador ou com respeito à sua interferência resultados do que se referiu, quando se trata de uma inovadora experiência clássica. Muitos físicos preferem uma nova teoria realmente.

Aquilo que é necessário discutir, segundo a leitura de Copenhague, no aspecto gnoseológico, encerra-se exactamente na afirmação de que, na teoria atómica, teremos que considerar o “observador” ou o “sujeito”, como especialmente importante, porque a

---

<sup>35</sup> Cf. EINSTEIN, A *et alii* – “Can Quantum Mechanical Description of Physical Reality be considered complete”, in: *Physical Review*, 47 (New York, 1935), pp. 777-780.

<sup>36</sup> Cf. BOHR, N. – “The Quantum Postulate and the recent development of Atomic Theory”, in: *Nature*, 121 (London, 1928), pp. 580-590.



teoria atômica adquire, em grande medida, o seu carácter peculiar da interferência do sujeito ou do observador e dos seus meios para medir o objecto físico, que se investiga. Realmente, segundo N. Bohr, a interacção finita entre o objecto e os meios de medir desvia-nos de uma renúncia definitiva ao ideal clássico e uma reconsideração da nossa atitude, frente ao problema da realidade física.<sup>37</sup>

Heisenberg partilha que o requisito tradicional da ciência permite uma divisão do mundo em sujeito e objecto (observador e observado). Esta suposição não é permissível em física atômica. A interacção entre o observador e o objecto causa mudanças incontroláveis no sistema, que está em observação, devido às mudanças descontínuas e características dos processos atômicos. Heisenberg sugere que será proveitoso reexaminar a discussão fundamental, tão importante para a epistemologia, quanto a dificuldade em separar os aspectos subjectivos e objectivos do mundo.<sup>38</sup>

Ainda que os conceitos possuam uma grande capacidade de sugestão e influência no desenvolvimento posterior da teoria, não é o sistema conceptual senão a teoria a que tem importância real para o aspecto científico. Já a teoria não é simplesmente um instrumento será mais, encontra-se interessada na sua verdade ou aproximação desta. O sistema conceptual é intercambiável e é um entre os variados instrumentos possíveis, que podem usar-se para formular a teoria. O sistema conceptual proporciona uma linguagem para a teoria, quiçá uma linguagem melhor e mais simples.<sup>39</sup>

H. Hertz disse, e foi repetido por Wittgenstein, que em ciência criamos “imagens” para nós, dos factos ou da realidade, e escolhemos as nossas “imagens”, de tal maneira que as consequências são necessariamente lógicas (*die denknöwendigen Folgen*) onde as imagens estão de acordo com as consequências necessariamente naturais (*die naturnöwendigen Folgen*) dos objectos e das imagens reais.

Mach sugeriu que deveríamos interpretar as imagens de Hertz como conceitos. A concepção de Bohr parece similar, quando fala da “imagem corpuscular” e da “imagem ondulatória”, que revelam a influência de Hertz e de Mach.

---

<sup>37</sup> Cf. VON NEWMANN, J. – *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, Cambridge, At the University Press, 1949, 1955, pp. 418-421.

<sup>38</sup> Cf. HEISENBERG, W. K. – *The Physical Principles of the Quantum Theory*, Blackwell, London, 1930, pp. 232-235.

<sup>39</sup> Cf. POPPER, K. P. – *A Teoría Cuántica y el Cisma en Física*, traducción de M. S. Vidal, Editorial Tecnos, Madrid, 1982, pp. 63-65.

Mas, as imagens não têm importância. Possuem pouca importância se são mais ou menos sinónimos dos conceitos e de pouco significado, que representem as teorias.

Uma teoria não é uma imagem. Não necessita ser entendida por meio de “imagens visuais”. Assim, entendemos uma teoria, se compreendemos o problema para cuja solução se concebeu e se entendemos a forma, pela qual se resolve melhor ou pior do que os seus competidores formais.

Estas considerações são importantes por causa da disputa constante entre “imagem corpuscular” e a “imagem ondulatória” e a sua suposta dualidade ou “complementaridade” e sobre a suposta necessidade, afirmada por Bohr, de usar “imagens clássicas” ,por causa da impossibilidade de entender e de visualizar os objectos atómicos. Toda esta discussão sobre as “imagens” não têm a mais pequena relação com a física, nem com as teorias físicas, nem com o entendimento das mesmas. De grande significado será a nossa carência de conhecimento, descoberta por Heisenberg e formulada no princípio de indeterminação ou de “incerteza”, que nos obriga a adoptar uma teoria probabilística.

Teremos que explicar o carácter probabilístico dos nossos problemas, acudindo à nossa carência de conhecimento em vez de fazermos em função do carácter estatístico dos nossos conhecimentos e isto levou-nos à intrusão do observador ou do sujeito na teoria quântica.

O grande problema quântico consiste em tomar a “função de distribuição”, isto é, uma função de medida estatística, que caracteriza algum espaço mestral e tratá-la como se fosse uma propriedade física dos elementos da população. O espaço mestral nada tem a ver com os elementos. Não há relação simétrica e, portanto, não existe – dualidade entre partícula e onda ou entre as partículas e o seu campo correspondente.

Infelizmente, muitos físicos falam como se a função de distribuição fosse uma propriedade dos elementos da população, em questão. Não se distinguem entre categorias ou tipos de coisas totalmente diferentes e baseia-se na suposição.

A chamada onda – função  $\psi$  pode ser identificada como a fórmula matemática de uma função:

$$f(P, dP/dt),$$

que é expressão de uma função de distribuição probabilística P, onde:

$$f = \psi = \psi(q, t); \quad P = |\psi|^2.$$

É uma função de distribuição de densidade. O elemento, em questão, tem as propriedades de uma partícula. A forma de onda – no espaço de configuração – da função  $\psi$  é, deste ponto de vista, uma espécie de acidente, que coloca um problema à teoria da probabilidade, mas que não tem quase nada a ver com as propriedades físicas das partículas.

Estas fórmulas são elementos estatísticos validamente deriváveis da teoria quântica.

As fórmulas de Heisenberg estabelecem certos limites inferiores para a “dispersão estatística” dos resultados de sucessões de experiências, apresentando-se como “relações estatísticas de dispersão”.

Para contrastar estas relações de dispersão teremos que ser capazes de efectuar medições, que sejam muito mais precisas do que a extensão ou amplitude da dispersão.

Por certo medimos o momento  $p_x$  de uma partícula considerada por meio da sua posição na película do espectógrafo. Por causa da repetida afirmação de Bohr, as medições do momento e das medições da posição são incompatíveis ou complementares, devido à exclusão mútua dos procedimentos experimentais, que permitem a definição inequívoca das qualidades físicas complementares. Os procedimentos experimentais, como refere Bohr, excluem-se mutuamente, porque as medições do movimento requerem uma écran móvel, enquanto que as medições de posição requerem um écran fixo ou uma placa fotográfica fixa.

Admitindo as medições para as quais, como admite Heisenberg,  $\Delta p \cdot \Delta q \ll h$ , toda a situação muda por completo, porque agora não pode haver dúvida de si, segundo a teoria quântica, porque um electrão pode ter uma posição e um momento precisos.

Era precisamente este facto que se negava constantemente, dado que Heisenberg fez dele uma questão de crença pessoal. Bohr e a Escola de Copenhagen insistiram em que um electrão não pode ter uma posição e um momento nítidos ao mesmo tempo. Este dogma está no núcleo da tese de Bohr, de que a teoria quântica é completa, presumivelmente no sentido de que esta permite que uma partícula não pode ter propriedades, que a teoria não permite medir.<sup>40</sup>

---

<sup>40</sup> Cf. HEISENBERG, W. K. – *The Physical Principles of the Quantum Theory*, Blackwell, London, 1930, p.20.

Naturalmente, a interpretação do formalismo da Mecânica Quântica está *in stricto sensu* relacionada com a interpretação do cálculo de probabilidades, sendo este entendido como cálculo formal, que contém leis formais, como

$$0 \leq p(a, b) \leq 1$$

Aquilo que a probabilidade significa e o que representam os argumentos  $a$  e  $b$ , ficará aberto à interpretação.

Existem, com efeito, uma variedade de interpretações, quer subjectivas, quer objectivas.

A Mecânica Quântica é *per naturam suam* uma teoria estatística aplicada, dado que tem de trabalhar com variáveis aleatórias holísticas, criando uma nova visão para a natureza. Além dos aspectos gnoseológicos e epistemológicos, teremos de proceder à fundamentação lógica.

**3.2** – Assim, a teoria estatística pode ser referida como caracterizada pelo conjunto de grandezas físicas, formando uma estrutura algébrica de um espécie, conjuntamente com um algoritmo para definir as probabilidades para obter valores possíveis destas grandezas. A *teoria quântica* (pela complementaridade de Bohr e incertezas de Heisenberg) implica um conjunto de “estados estatísticos”, que assinalam as probabilidades para uma sentença teórica:  $val(A) \in S$ .

As duas grandezas físicas,  $A$  e  $B$ , são equivalentes numa teoria estatística, como no caso:

$$p_w(val(A) \in S) = p_w(val(B) \in S).$$

Para todos os estudos estatísticos,  $W_e$ , para o conjunto de Borel  $S$ , onde  $g: R \rightarrow R$  é uma função de Borel valorizada como real, quando  $x$  e  $g(A)$ , são estatisticamente equivalentes. Relativamente a esta relação de equivalência, as duas grandezas  $A_1$  e  $A_2$  são consideradas compatíveis, se e só se existir uma terceira grandeza,  $B$ , e como função de Borel  $g_1: R \rightarrow R$  e  $g_2: R \rightarrow R$ , tal como:

$$A_1 = g_1(B);$$

$$A_2 = g_2(B).$$

Esta definição de “compatibilidade” de duas grandezas é devida a Kochen e Specker.

Uma combinação linear de duas grandezas compatíveis pode ser definida via funções lineares associadas, como:

$$a_1 A_1 + a_2 A_2 = (a_1 g_1 + a_2 g_2) \cdot (B)$$

onde  $a_1, a_2$  são números reais, e simultaneamente o produto pode ser definido como:

$$A_1 A_2 = (g_1 g_2) \cdot (B)$$

Com combinações lineares e produtos de grandezas compatíveis definidas neste caminho, as grandezas de uma teoria estatística formam uma álgebra parcial.

Evidentemente se todas as grandezas de uma teoria estatística são compatíveis, a álgebra parcial é uma álgebra comutativa e o conjunto de grandezas idênticas será uma Álgebra de Boole.<sup>41</sup>

Usualmente, a medida de probabilidade entendeu-se como função conjunto normada, num campo –  $\sigma$  de subconjuntos de um espaço  $X$ , ou seja, um mapa:  $\mathfrak{S} \rightarrow R$ , satisfazendo as seguintes condições:

$$p(0) = 0; \quad p(R) = 1$$

$$0 \leq p(E) \leq 1 \text{ para } E \in J$$

$$p\left(\bigcup_{i=1}^{\infty} E_i\right) = \sum_{i=1}^{\infty} p(E_i)$$

onde  $E_i$  é uma classe contável de conjuntos disjuntos em  $\mathfrak{S}$ , i. e.,  $E_i \cap E_j = 0$ ,  $i \neq j$ .

A trílice relação  $\langle X, J, p \rangle$  é referida como “espaço probabilístico”. O conjunto  $X$  pode ser entendido como o conjunto de “outcomes” possíveis e distintos de uma experiência, e o conjunto  $\mathfrak{S}$  como o conjunto de acontecimentos, para que as probabilidades sejam garantidas. Equivalentemente, por causa do isomorfismo entre campos de conjuntos e as álgebras de Boole, o conceito de probabilidade desenvolve-se formalmente na Álgebra de Boole.

No mesmo sentido, as probabilidades podem ser assinaladas em sentenças lógicas de Boole, determinando que as sentenças equivalentes logicamente são assinaladas pela mesma probabilidade. No caso da álgebra de Boole, há obviamente uma generalização. A medida de probabilidade é, no sentido generalizado, qualquer determinação dos valores entre 0 e 1 para os elementos de uma álgebra de Boole parcial,

---

<sup>41</sup> Cf. KLEENE, S. C. – *Mathematical Logic*, John Wiley & Sons, New York, 1973, pp. 10-26.

que satisfaz as condições usuais para a medida de probabilidade em cada subconjunto compatível e máximo da álgebra booleana parcial.

O algoritmo da Mecânica Quântica envolve a representação dos estados estatísticos da teoria por meio de determinada classe de operadores no espaço de Hilbert, os operadores estatísticos, e as grandezas físicas por meio de operadores hermenêuticos..<sup>42</sup>

As álgebras de Boole, para subespaços de um espaço de Hilbert, podem ser ordenado parcialmente pela inclusão de conjuntos. Uma álgebra de Boole de subespaços é “máxima” com respeito à sua ordem.

Um conjunto de sentenças corresponde à máxima álgebra de Boole de subespaços de  $H$ , sendo uma lógica de Boole. A lógica das sentenças, que são probabilidades assinaladas pelo algoritmo quântico, não é de Boole, existem subespaços incompatíveis ou equivalentemente, porque o conjunto de grandezas físicas não pode ser todo expresso como função de uma grandeza singular.

O juízo, que define um sentido lógico para a Mecânica Quântica, é não-booleano, no sentido em que o valor da álgebra de Lindenbaum-Tarski é isomórfico para uma álgebra booleana parcial de subespaços de Hilbert. Logo, será acentuadamente mais do que uma reformulação de sentenças mais familiares, do que grandezas físicas da teoria, elaborada de uma álgebra não comunicativa, sendo opostas às grandezas físicas da Mecânica Clássica.

As peculiaridades das relações da estatística quântica e as anomalias que damos atenção são explicadas pelo apontamento dos caracteres não-booleanos da lógica das sentenças, em que as probabilidades são justificadas pela teoria quântica.

Compreende-se a interpretação de Copenhagen da teoria como explicação proposta para estas anomalias.

Assim, J. Bub explica o sentido e relação das incertezas de Heisenberg com as álgebras de Boole e o sentido para a interpretação de Copenhagen pelas seguintes palavras: “Thus, Heisenberg’s proposal is to understand the non-Boolean working logic of quantum mechanics in terms of the theoretical opacity of measurement disturbances. It is the claim that a certain theory of measurement is true that explains the

---

<sup>42</sup> Cf. BUB, J. – “On the completeness of Quantum Mechanics”, in: C. A.HOOKER – *Contemporary Research in the Foundations and Philosophy of Quantum Theory*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1973, pp. 4-5.

appropriateness of a theory with a non- Boolean working logic for the description, and explanation of the behavior of micro-systems. And this claim in turn is supported by arguments of the kind involved in Heisenberg's x-ray microscope thought experiment. The peculiarities of the quantum description of micro-events are taken to reflect, ultimately, the truth of a theory concerning the observability of micro-events".<sup>43</sup>

Os operadores estatísticos da Mecânica Quântica dividem-se em dois conjuntos: um dependente e outro independente.

Um operador estatístico "idempotente" é um operador-projecção num subespaço 1-dimensional e existe uma correspondência biunívoca entre o conjunto de espaços 1-dimensional de  $H$  e o conjunto de operadores estatísticos "idempotentes" em  $H$ . Mas, cada subespaço 1-dimensional pode ser associado com um "vector-unidade" em  $H$ , e, também, para operadores estatísticos idempotentes. O algoritmo para probabilidade determinadas pode ser formulado em termos de espaços associados de Hilbert, vectorialmente:

$$p_{\psi}(\text{val}(A) \in S) = \|P_A(S)\psi\|^2 = (\psi, P_A(S)\psi).$$

No caso em que  $A$  tem um espectro directo com "eigenvalues" não-degenerados, este transforma-se em :

$$p_{\psi}(\text{val}(A) \in S) = \sum_{a_i \in S} \|P_{a_i}\psi\|^2 = \sum_{a_i \in S} |(\alpha_i, \psi)|^2,$$

onde  $P_{a_i}$  é o operador- projecção dentro do subespaço 1-dimensional, expandindo pelos eigenvectores  $\alpha_i$  correspondendo ao valor de  $a_i$ .

Agora, os operadores estatísticos idempotentes são exprimíveis como a soma convexa de dois ou mais operadores estatísticos diferentes, i. e., se  $W$  é idempotente, segundo:

$$W = p_1W_1 + p_2W_2 \\ (p_1 + p_2 = 1); \quad p_1 > 0; \quad p_2 > 0$$

quando:  $W = W_1 + W_2$ .

Isto significa que a probabilidade determinada pelo  $W$  para as sentenças não pode reduzir-se a uma soma convexa de probabilidades, definida em  $S$  por operadores estatísticos diferentes de  $W$ , i. e.:

---

<sup>43</sup> Cf. *Idem, Ibidem*, p.7.

$$p_w(S) \neq p_1 w_1(S) + p_2 w_2(S),$$

para qualquer  $p_1, p_2, w_1$  e  $w_2$ . Os operadores estatísticos não- idempotentes são todos expressíveis como somas convexas de operadores estatísticos “idempotentes”. Os operadores estatísticos de um conjunto convexoligam-se aos operadores estatísticos puros como “extrema”.

A dispersão  $\Delta_w A$ , de uma grandeza física A, é definida para cada operador estatístico W por:

$$(\Delta_w A)^2 = \text{Exp } p_w(A - \text{Exp}_w(A))^2 = \text{Exp}_w(A)^2 - (\text{Exp}_w(A))^2,$$

onde  $\text{Exp}_w(A)$  é o valor de expectativa de A, i. e.:

$$\text{Exp}_w(A) = \int_{-\infty}^{\infty} r d(\text{Tr}(WP_A(r))) = \text{Tr}(WA)$$

No caso de um operador estatístico puro corresponde a um vector  $\psi$ , assim poderemos escrever:

$$(\Delta_\psi \cdot A)^2 = \text{Exp}_\psi(A)^2 - (\text{Exp}_\psi(A))^2;$$

e:

$$\text{Exp}_\psi(A) = \int_{-\infty}^{\infty} r d(\psi, P_A(r)\psi) = (\psi, A_\psi)$$

A relação de Heisenberg ,como relação recíproca entre as dispersões de duas grandezas incompatíveis A, B, satisfaz uma relação de comutação:

$$AB - BA = ihI/2\pi, \text{ que}$$

poderá ser derivada como um teorema da Mecânica Quântica:

$$\Delta_\psi A \cdot \Delta_\psi B \geq h/4\pi \text{ (para cada } \psi)$$

Então, os operadores estatísticos formam um conjunto convexo *a fortiori*:

$$\Delta_w A \cdot \Delta_w B \geq h/4\pi,$$

para todos os operadores estatísticos impuros W. Isto será um corolário imediato para este teorema, que não é um operador estatístico W, como livre dispersão, para todas as grandezas A, i. e., há um operador não-estatístico W, que satisfaz a equação:

$$\Delta_w(A) = 0 \text{ (para todos os A).}$$

Estas deduções não se poderão aplicar ao princípio de complementaridade, dado que estes não se encontram na afirmação de N. Bohr.



Segundo a lógica simbólica, o chamado princípio de complementaridade não se poderá referir como definição, nem como axioma, e, muito menos, como um teorema.<sup>44</sup>

A interpretação de Heisenberg providencia uma explanação para esta curiosa suficiência de estatísticas quânticas. Em particular, a ausência da dispersão de operadores estatísticos na teoria é entendida como reflectindo a impossibilidade física de assegurar valores verdadeiros, simultaneamente para proposições incompatíveis em qualquer processo de medida, porque distribuição incontrolável dos valores de incompatíveis grandezas com A envolvida, em toda a medida de A.

Classicamente, o valor da expectativa de uma variável aleatória A no espaço de probabilidade  $\langle X, J, p \rangle$  é definida por:

$$Exp(A) = \int_x A \cdot dp$$

e a dispersão de A por:

$$(\Delta A)^2 = \int_x (A - Exp A)^2 dp = Exp(A^2) - (Exp(A))^2$$

Uma medida da probabilidade de livre expressão p satisfaz a condição:  $\Delta A = 0$  para todos os A. Em particular,  $\Delta P = 0$ , surge para todas as variáveis aleatórias “idempotentes”. Uma idempotente variável aleatória satisfaz a condição:

$$P(x)^2 = P(x); \text{ para todos os } x \in X.$$

$P(x) = 0$ , ou 1. Então,  $P.X \rightarrow \{0,1\}$  é uma função característica do conjunto de Borel:  $E \equiv X$ , então:

$$Exp(P) = \int_x P dp = p(E).$$

Agora,

$$\Delta P = Exp(P^2) - (Exp(P))^2 = Exp(P) - (Exp(P))^2 = p(E) - p^2(E).$$

Assim, a medida da probabilidade da dispersão livre será a medida de 2-valores, uma determinação das probabilidades 1 ou 0, para cada conjunto de Borel em H. Entretanto:

$$p(E') = 1 - p(E),$$

quando

---

<sup>44</sup> Cf. BUNGE, M. – “Strife about Complementarity”, in: *British Journal for the Philosophy of Science*, 6 (London, 1955), pp. 11-12; 141-154.

$$E' = X - E$$

e

$$p(E \cap F) = p(E)p(F),$$

para todos os conjuntos de Borel:

$$E, F \subseteq X$$

Pelo isomorfismo entre J e L ,a álgebra de Lindenbaum-Tarski da lógica de Boole, como uma medida de probabilidade de dispersão livre em L, é a medida do 2-valor em L. Mas, a medida do 2-valor em L é um homomorfismo 2-valor em L, e corresponde a um ultra-filtro em L, para um conjunto de consistência máxima de proposições.

Uma probabilidade em dispersão livre, medida em espaço de fase da Mecânica Clássica ,corresponde ao ponto no espaço de fase – um estado da mecânica quântica.

Novamente encontramos o sentido do pensamento de J. Bub: “For Heisenberg, there are no dispersion-free statistical operators of the theory represent those, and only those, probability assignments that are compatible with our possible knowledge of the micro-level, in the light of the theoretical opacity of measurement there is no analogue in quantum mechanics of the classical mechanical state – the Boole an ultra filter, or dispersion-free probability measure – is taken to reflect the contingent truth of a theory concerning possible measurements at the micro-level. The pure statistical operators of the theory are compatible with maximal knowledge, not maximal truth.

It is in this sense that vectors in Hilbert space are the legitimate successors in the quantum description to the classical states: they represent various possible totalities of situation in logical space that are maximal with respect to what can be known simultaneously. These are the state descriptions of quantum mechanics, and the impure statistical operators represent less than maximal knowledge, probability measures over quantum states”.<sup>45</sup>

A versão de Heisenberg da interpretação de Copenhagen é caracterizada pela tese de que a mecânica quântica é quer *estatística*, quer *completa*, i. e., irreduzivelmente estatística, no sentido que o “espaço de Hilbert” representa as descrições de estado, que

---

<sup>45</sup> Cf. FEYERABEND, J. – “On a recent critique of Complementarity”, in: *Philosophy of Science*, 35 (New York, 1968), pp.309-331.

são tão fechadas quanto possível nos “ultra filtros”, entendidos com referência à teoria, que mede os distúrbios teoricamente opacos no micronível.

Os vectores no espaço de Hilbert são interpretados como totalidades q-máxima de situações, no espaço lógico, como totalidades das situações cognoscíveis, que são máximas relativamente ao que pode ser conhecido simultaneamente.

Relativamente, ao pensamento da complementaridade de N. Bohr, refere J. Bub: “Now, it would be quite wrong to understand Bohr’s version of the Copenhagen interpretation as simply another story that explains why such – and – such totalities of situations are maximal in this sense, i. e., in terms of the wholeness of instrument and measured object, the ultimacy of classical concepts, as opposed to Heisenberg’s story, which involves a theory about the irreducibility and uncontrollability of measurement disturbances. Bohr’s position differs radically from Heisenberg’s”.<sup>46</sup>

Para N. Bohr, aquilo que é fundamental será a teoria da aplicabilidade dos conceitos.

Um conceito é referido sob certas condições, a aplicabilidade das condições, de dois conceitos diferentes, pode ser mutuamente exclusiva.

A perspectiva de Bohr será o caso para o espaço-tempo e o momento de energia quanto aos conceitos da física clássica, isto é, as condições para a aplicabilidade dos conceitos de espaço-tempo poderão excluir as condições para a aplicabilidade dos conceitos do momento de energia.

A Mecânica Quântica é uma generalização racional da mecânica clássica no seguinte sentido: cada sentença teórica  $val(A) \in S$  está associada como grupo dos conceitos do espaço-tempo ou com o grupo de conceitos do momento da energia, mas não com ambos.

Uma sentença teórica expressa uma proposição se e só se as condições de aplicabilidade dos conceitos associados são satisfeitos.

Segundo J. Bub, poderemos atender: “For Bohr, the probability assigned to a theoretical sentence  $val(A) \in S$  is the probability that if the conditions for the applicability of the associated concept were to be satisfied, the corresponding propositions would be true. Bohr denies that the “Hilbert space” vectors represent q-

---

<sup>46</sup> Cf. BUB, J. – “On the completeness of Quantum Mechanics”, in: C. A. HOOKER – *Contemporary Research in the Foundations and Philosophy of Quantum Theory*, p.12.

maximal totalities of situations in logical space in Heisenberg's sense. There is no a maximal totality of situations in which the q-maximal totality is embedded, if we define a q-maximal totality as the totality of situations corresponding to a maximal set of theoretical sentences that could simultaneously express propositions”.

Existem sempre relações formais entre o princípio de complementaridade de Bohr e pela hermenêutica da Escola de Copenhagen, que está de acordo com o referido princípio.

#### **4 – A Complementaridade: pela leitura fenomenológica e pelo idealismo transcendental.**

**4.1 –** A partícula não é uma onda ,e vice-versa, porque podemos localizá-la no decurso de uma observação e não é um corpúsculo porque, antes da observação, lhe é atribuído um conjunto de posições e de velocidades; não pode ser nem uma coisa, nem outra, mas assemelha-se a ambas ao mesmo tempo. Na verdade, a questão de saber como representar a partícula *per se* nem sequer tem sentido para Bohr e Heisenberg. Verificaram que os conceitos clássicos de onda e corpúsculo são ao mesmo tempo incapazes e indispensáveis para descrever a realidade e concluem que toda a descrição unívoca de partícula se torna impossível no quadro do espaço e do tempo.

Se medir é perturbar e conhecer é medir, como poderíamos definir uma partícula independentemente dos instrumentos de medida, através dos quais se manifesta a sua existência?

A realidade de um electrão ou de um fóton restringe-se ao conjunto de possibilidades para obter certos resultados com o auxílio de medidas adequadas.

Teremos um conjunto de valores possíveis e de probabilidades de concretização pelas medidas de posição, um análogo para as medidas de velocidade, outro para as medidas de energia.

Então verificamos que as probabilidades calculadas em Mecânica Quântica não correspondem às distribuições de valores das diferentes grandezas físicas, que coexistem objectivamente. É aquilo que Bohr e Heisenberg exprimem ao dizer que estas distribuições estatísticas só existem potencialmente e que é a própria medida, que torna

efectiva esta ou aquela potencialidade. Para a Escola de Copenhague ,a partícula será apenas um conjunto das potencialidades de medida ,contidas na sua função de onda:

$$|\psi|^2 dV$$

Esta é a conclusão fundamental que resulta da interpretação das relações de Heisenberg, como relações de indeterminação. Os modelos clássicos de onda e de corpúsculo perdem todo o significado nesta nova teoria quântica. Bohr tentou conservar estas imagens, na sua interpretação, assim será este o significado do seu famoso princípio de complementaridade, frequentemente considerado pelos seus discípulos como a chave conceptual da Mecânica Quântica.

Com efeito, os conceitos clássicos de corpúsculo e de onda (monocromática) são incompatíveis e mesmo contraditórios. A natureza ondulatória da matéria e da luz implica um comprimento de onda e, portanto, uma velocidade bem definida, ao passo que a observação das propriedades corpusculares exige informações precisas sobre a posição do electrão e do fóton. Ora as relações de Heisenberg afirmam precisamente que os nossos conhecimentos sobre a velocidade e a posição se prejudicam mutuamente, isto significa que a natureza corpuscular só poderá afirmar-se numa experiência à custa do aspecto ondulatório e reciprocamente.

Fenomenologicamente, graças às relações de indeterminação, Bohr poderá dizer que os conceitos de onda e de corpúsculo, em princípio contraditórios, nunca se chocam na nossa descrição da natureza, e, portanto, o problema de uma escolha insolúvel nunca se porá. O electrão e o fóton comportam-se, às vezes, como uma onda, outras como um corpúsculo e, ainda às vezes como grãos, outras como campos, conforme o conjunto experimental com que os observamos. Sendo ambos indispensáveis à descrição da realidade, aparecendo sempre um com prejuízo do outro, ambos mais ou menos potencialmente presentes. Bohr considerou complementares os conceitos de onda e de corpúsculo, assim como a velocidade e a posição de uma partícula, segundo o princípio de Heisenberg:

$$\Delta p_x \cdot \Delta x \sim h .$$

Apesar das suas imprecisões, o princípio da complementaridade fornece uma linguagem fenomenológica para a descrição dos microssistemas, segundo as ideias da Escola de Copenhague.

Não devemos, pois, esquecer que, mesmo no âmbito destas ideias, ele não esgota a interpretação do formalismo quântico. Em particular não é capaz de dar resposta ao problema mais delicado e controverso da teoria, conhecido por redução do grupo de ondas pela medida.

Consideremos o caso simples de um electrão de massa  $m$ , deslocando-se livremente e acerca do qual possuímos certas informações respeitantes ao instante  $t_0$ . Sabemos que se encontra entre os pontos de abcissas  $x_0$  e  $x_0 + \Delta_{x_0}$ , e está animado de uma velocidade compreendida entre  $v_0$  e  $v_0 + \Delta_{v_0}$ , entendendo-se que  $\Delta_{x_0}$  e  $\Delta_{v_0}$  satisfazem a relação de Heisenberg:

$$\Delta_{x_0} \Delta_{v_0} \geq h/m.$$

Mas, todos os nossos conhecimentos sobre o estado da partícula no  $t_0$  devem poder traduzir-se na expressão  $\psi_0$  da função de onda, nesse instante e, segundo os princípios das interferências e da decomposição espectral,  $\psi_0$  tem de ser aqui um grupo de ondas inserido, no intervalo de espaço  $(x_0, x_0 + \Delta_{x_0})$ , e conter, de acordo com a relação de De Broglie, todos os comprimentos de onda compreendidos entre:

$$\lambda_0 = h/mv_0 ; \quad \lambda'_0 = h/m \cdot (v_0 + \Delta_{v_0})$$

A função  $\psi_0$ , que contém toda a nossa informação sobre o electrão, constitui a descrição do seu estado inicial.

Uma vez fixada a forma deste grupo de ondas, no instante  $t_0$ , a sua evolução será rigorosamente definida pela equação de Schroedinger. É precisamente esta evolução determinista da onda, que permite prever o estado do electrão em qualquer instante posterior e formular, portanto, determinam previsões estatísticas sobre o resultado da medida de uma ou de outra grandeza.<sup>47</sup>

Poderemos calcular a intensidade da onda, num dado instante  $t$ , posterior a  $t_0$ , e de acordo com o princípio das interferências, ficaremos a saber a probabilidade de detectar o electrão, em qualquer ponto do espaço, onde a intensidade da onda não seja nula.

Mas, admitamos agora que queremos por à prova essa previsão, medindo de facto a posição do electrão no instante  $t$ . Poderemos verificar a sua presença pelo

---

<sup>47</sup> Cf. ANDRADE, J. A.; LOCHAK, G. – *Quanta, grãos e campos*, tradução do inglês, Sá da Costa, Lisboa, 1969, pp. 126-127.

aparecimento de uma pequena mancha num dado ponto  $x$  de uma chapa fotográfica, montada para o efeito e verificar tratar-se de um ponto, onde se previra que a intensidade da onda, não seria nula. Repetimos a experiência muitas vezes, com electrões sempre colocados nas mesmas condições iniciais, de modo que o seu estado seja sempre representado pelo mesmo grupo de ondas: veremos aparecer na chapa uma série de manchas nos pontos  $x_1, x_2$  e  $x_3$  e poderemos confirmar a exactidão do princípio das interferências, verificando que a densidade das manchas em cada região da chapa é na verdade proporcional à intensidade calculada para a onda. Recordemos que estas experiências, de que voltaremos a falar, confirmam a teoria.

Com efeito, segundo a Escola de Copenhague, o electrão não possui posição determinada antes da medida, visto que estão potencialmente espalhados por toda a extensão da onda  $\psi$ . Precisamos, então, de saber por que razão ele se manifesta como entidade bem localizada. A medida da posição de um electrão, com o auxílio de uma chapa fotográfica, leva-nos a representá-la por um grupo de ondas muito bem localizadas, correspondendo praticamente às dimensões da pequena mancha negra que observamos; mas, antes da medida, o electrão era representado por um outro grupo de ondas, cujas dimensões podiam ser muito grandes. É, pois, necessário compreender como pode este grupo de ondas tornar-se instantaneamente quase natural.

É evidente que a interpretação imediata dada, do ponto de vista de Bohr, para esta redução do grupo de ondas (grupo de probabilidades), consiste em tornar responsável por ele o aparelho de medida. Constatamos assim que, em virtude da existência da constante  $h$ , não é possível observar uma partícula sem perturbar o seu estado.

Dir-se-á então que a própria chapa fotográfica concretiza uma das localizações potenciais do electrão ou, mais genericamente, é a interacção da partícula com o aparelho de medida, que produz a redução brutal do grupo de probabilidades. Esta explicação é perfilhada, mais ou menos explicitamente, por grande número de autores, que se reclamam da Escola de Copenhague.<sup>48</sup>

Deste modo, Bohr opõe à descrição unívoca da natureza, desenvolvida pela física clássica, uma descrição por pares de conceitos ou variáveis complementares, que ele considera consequência inevitável da lei dos *quanta*. Os dois exemplos que

---

<sup>48</sup> Cf. MERZBACHER, E. – *Quantum Mechanics*, John Wiley and Sons, New York, 1963, pp. 7-8.

acabamos de citar (onda-corpúsculo e posição-velocidade) são os mais importantes, mas podem encontrar-se outros, muito embora se chegue, por vezes, a enunciados nebulosos como o do carácter complementar da causalidade e da descrição espacio-temporal. Tentou-se estender estas ideias a outras disciplinas, principalmente à biologia, à psicologia e à sociologia, mas o mínimo que podemos dizer é que o resultado destas extrapolações não é muito convincente,<sup>49</sup> como iremos analisar.

**4.2** – Muito naturalmente Bohr terá lido algumas obras de Kant, que marcaram a formulação do princípio da complementaridade, como se refere pela crítica de Folse: “Thus an alternative account for the significance of the classical concepts in complementarity will be suggested there. This argument will depend on a recognition of the fact that viewed from the perspective of quantum theory, the classical description of nature, depending as it does on the non-complementarity use of spatio-temporal states of systems, and the mechanical causal interaction between systems is an idealization which in the light of the demands of objectivity we are forced to make.

Bohr repeatedly referred to this idealization of classical physics and stressed the fact that such an idealization worked only because classical physics dealt with systems where the quantum of action could be ignored. In the essay *Unity of Knowledge* Bohr makes the important comment that the notion of complementarity does in no way involve a departure from our position as detached observers of nature, but must be regarded as the logical expression of our situation as regards objective description in this field of experience”.<sup>50</sup>

Bohr reconheceu a existência de uma similaridade entre a aproximação clássica e a filosofia crítica, como se poderá entender no resumo que Folse fez nas seguintes palavras: “The crux of the issue is that while there need be no unambiguous separation between measured and measuring systems on a physical level, indeed there cannot if there is to be a measurements at all, the criterion of objectivity, through being defined in terms of our position as detached observers serving to eliminate the subjective element in experience, demands that the conceptual representation of such systems in unambiguous communication of knowledge represents these systems as isolated and the

---

<sup>49</sup> Cf. POPPER, K. – *La théorie quantique et le schisme en Physique*, traduction de l'anglais pour E. M. DISSAKI, Éditions des Sciences et des Arts, Hermann, 1996, p.173.

<sup>50</sup> Cf. FOLSE, H. J. – “Kantian Aspects of Complementarity”, in: *Kant-Studien*, 69 (Berlin, 1978), p. 64.



observer as dynamically detached. The only way which the nature of experience provides for doing this, argue Bohr, is through the concepts of classical physics, i. e., we detach the observer from the observed through isolating the system spatio-temporally and treating it as closed in the sense that the observer is dynamically detached from any transference of momentum or energy.

Of course to do so constitutes a conceptual idealization imposed on experience, but such an idealization will not run into paradoxes as long as we remember that the phenomenon demands description in terms which include reference to the whole experimental situation in which an observation is made.

For Bohr the consistency of the quantum mechanical formalism is guaranteed in the fact that within a given experimental context to application of classical concepts is mutually exclusive and requires having recourse to such concepts in a complementary fashion. Thus it is Bohr's commitment to objectivity which has led to his so called dogmatic retention of classical physics, and it is sad irony that this factor of complementarity has often been misinterpreted as a concession to subjectivity".<sup>51</sup>

Finalmente, poderemos rematar pelo pensamento de Folse: "... Bohr's utilization of the classical concepts should not be read as revealing allegiance to the metaphysics of materialistic mechanism. In complementarity experience is treated as a "bed-rock category", and objectivity is grounded within it rather than through appeal to a transphenomenal material substratum. Bohr stresses that in resting its claim to objectivity on the notion of an isolated system, classical physics relied on a rationalistic construct which was at variance the professed reliance of science on empirical methodology. By placing interaction at the heart of the physical doctrine of observation, the *quantum actionis*, has brought home the lesson that the definition of objectivity through appeal to a detached observer is an idealization the use of which, demands classical concepts but only when used in a complementary fashion. It remains possible to change the notion of detached observer in a way hither to unanticipated or to change the notion of objectivity such that detached observer does not enter into such a definition. Had Bohr taken this latter alternative, he would in a significant sense have taken a Kantian position".<sup>52</sup>

---

<sup>51</sup> Cf. *Idem, Ibidem*, p.65.

<sup>52</sup> Cf. *Idem, Ibidem*, p.66.

Contudo, é muito provável que tenham surgido outras influências filosóficas, em Bohr, para elaborar o princípio da complementaridade.

## **5 – A complementaridade de Bohr: pela aplicabilidade e pelas extrapolações**

**5.1** – Niels Bohr terminou a sua comunicação no Congresso de Como, sugerindo que os novos conceitos encontravam aplicações fora da Física como referiu: “I hope ... that the idea of complementarity is suited to characterize the situation which bears a deep going analogy to general difficulty in the formation of human ideas inherent in the distinction between – subject and object – clearly an allusion to the ambiguities in psychological terminology which Bohr had thought so much about in his adolescence (...). At that time the analogy between Riemann, surfaces and planes of objectivity had served him as a source of inspiration. Now, the newly found tool of complementarity was, he hope, much better suited to cope with his earlier quandaries.

If since then the tools had changed, the purpose had not, which, I think, explains why in the late 1920 s the psychologist. Rubin, a friend since the ekliptica days, once said after Bohr had explained to him some point about complementarity: But Niels? You told us all of that twenty years ago”.<sup>53</sup>

**5.2** – As ideias sobre a complementaridade de Bohr referidas, em psicologia, poderão ser apontadas da seguinte forma: uma pessoa contempla, é espectador, quando planeia a sua acção, e, além disso, quando reflecte nos seus resultados. Entretanto, quando age, ele está também pensando, mas não de modo contemplativo. Para ser espectador é necessário executar e avaliar o papel do actor e como desempenhar o acto por si próprio. Estes dois modos de compromisso são ambos elementos necessários no contexto mental da pessoa, excluindo-se um ao outro, logo serão complementares.<sup>54</sup>

Bohr ao falar deste aspecto da complementaridade, salienta: “In order to describe our mental activity, we require, on the one hand, an objectively given content to be juxtaposed to a perceiving subject, while, on the other hand, no sharp separation between object and subject can be maintained, since the perceiving arbitrariness in the

---

<sup>53</sup> Cf. PAIS, A. – *Niels Bohr's Times: in Physics, Philosophy, and Polity*, Clarendon Press, Oxford, 1991, p. 439.

<sup>54</sup> Cf. *Idem, Ibidem*, pp. 439-440.

placement of the cut between object and subject in psychology, the actor describing his action, with the arbitrariness in the distinction between object and tool for observation in physics”.<sup>55</sup>

O ponto decisivo está no estado de consciência, na descrição de palavras, como “I will”, encontram aplicação será a complementaridade para um estado em que nós estamos interessados com uma análise de estados emocionais, como um sentido de liberdade, complementar ao estado de raciocínio, no qual “I will” será analisado como uma cadeia de actos objectivos. Quando nós usamos o verbo “I will”, nós abandonamos a argumentação explanatória. Segundo a psicologia, nos escritos de Bohr, a complementaridade da emoção e da razão é toda penetrante.

O uso de palavras como “pensamento” e “sentimento”, igualmente indispensável para ilustrar a diversidade da experiência psíquica, toca as situações mutuamente exclusivas, caracterizadas pelo esboço (desenho) da linha de separação entre sujeito e objecto, que aparece como uma sabedoria antiga numa nova linguagem. As palavras preferem pensamentos e sentimentos, como sendo a origem da linguagem usada de uma maneira complementar.<sup>56</sup>

**5.3** – Bohr, no Congresso Internacional de Light-therapist, realizado, em Agosto de 1932, em Copenhague, colocou a seguinte pergunta: Será possível impulsionar a análise dos processos vivos para limitar, como eles podem ser descritos em termos de física ou de química puras? Esta questão é fundamental para a análise dos fenómenos naturais, e como podemos alcançar um entendimento da vida na base da experiência física. Será óbvio que Bohr não encontrou aspectos estranhos na matéria inorgânica para impulsionar a análise de constituintes de um organismo vivo para o nível molecular/atómico, como referiu pelas seguintes palavras: “It must be kept in mind, however, that the conditions in biological and physical research are not directly comparable, since the necessity of keeping the object alive imposes a restriction on the former – living things – which finds no counterpart in the latter (...). In every experiment on living organism there must remain some uncertainty as regards the

---

<sup>55</sup> Cf. BOHR, N. – “On the constitution of atoms and molecular”, in: *Philosophical Magazine*, 26 (New York, 1913), pp. 1-25; 476-502.

<sup>56</sup> Cf. GONZALEZ FERNANDES, M. P. – “Probabilidad y causalidad en la filosofía de Max Born”, in: *Logos Anales del Semanario de Metafísica*, 38 (Madrid, 2005), p. 254.

physical conditions to which they are subjected, and the idea suggests itself that the minimal freedom we must allow the organism will be just large enough to permit it, so to say, to hide its ultimate secrets from us. On this views the very existence of life must in biology, be considered as an elementary fact, just as in atomic physics the existence of the quantum of action has to be taken as a basic fact that cannot be derived from ordinary mechanical physics. Indeed, the essential non-analizability of atomic stability in mechanical terms presents a close analogy to the impossibility of a physical or chemical explanation of the peculiar functions characteristic of life”.<sup>57</sup>

Assim, Bohr lançou novo conceito de análise em Biologia: existe uma exclusividade óbvia entre cada aspecto da vida como a “self-preservation” e “self-generation” dos indivíduos, por um lado; e a subdivisão necessária para qualquer análise física, por outro. Devido a esta suficiência de complementaridade, o conceito de objectivo, que é estranho à análise mecânica encontra certa aplicação em Biologia.<sup>58</sup>

Variadas são as aplicações do princípio da complementaridade de Bohr no domínio biológico, mas como elemento epistemológico.

**5.4** – Em 1938, Bohr dirigiu uma comunicação, sobre: “Natural philosophy and human cultures”, ao Congresso Internacional de Antropologia e Etnologia, realizado em Helsinki, que servisse para determinar o papel e importância das culturas.

N. Bohr apresenta a distinção entre “nature” e “nurture”.

Ao falar das diferentes culturas, Bohr diz: “Especially in the study of cultures of primitive peoples, ethnologists are, indeed, not only aware of the risk of corrupting such cultures by necessary contact, but are even confronted with the problem of the reaction of such studies on their own human attitude. What I here allude to is the experience, well known to explorers, of the shaking of their hitherto unrealized prejudices through the experience of the unsuspected inner harmony human life can present under conventions and traditions most radically different from their own (...). We may truly say that different human cultures are complementary to each other. Of course, there cannot, in this domain, be any question of such absolutely exclusive relationships as those between complementary experiences about the behaviour of well defined atomic

---

<sup>57</sup> Cf. BOHR, N. – “Quantum physics and biology”, in: *Light and Life*, translation from german, W. D. Mc Elroy and B. Glass, John Hopkins University Press, 1961, pp. 16-46.

<sup>58</sup> Cf. PAIS, A. – *Niels Bohr's Times: in Physics, Philosophy, and Polity*, pp. 441-442.

objects, since hardly any culture exists which could be said to be fully self-contained. Bohr went on to note how the gradual fusion of traditions, for example by emigration or conquest, advances civilization by the creation of new cultures”.<sup>59</sup>

Mas, em 1948, Bohr volta à relevância da complementaridade em Sociologia, que temos de cobrir com o elemento da complacência inerente a toda a cultura nacional e manifestando ele próprio em prejuízo que obviamente não pode ser apreciado do ponto de vista das nações. O elemento da “self-satisfaction” é inerente em todas as culturas corresponde ao instinto da característica “self-preservation” para qualquer espécie de “organismo vivo”.

Naturalmente que, segundo Bohr, as suficiências da complementaridade descreve-se na relação entre a sociedade e os elementos individuais dos grupos, dos agregados, etc.

Muitas são as áreas da cultura, onde se nota a presença da cultura, mas em todas elas aparece o princípio da complementaridade como um elemento epistemológico, nada tendo de ordem ontológica. O princípio de complementaridade é um enunciado puramente gnoseológico, sofrendo da influência do pensamento do filósofo da *Aufklaerung*, pela *Kritik der reinen Vernunft*.

**5.5** – Bohr fala uma única vez do sentimento/conhecimento íntimo, nos seus escritos, quando diz: “The fact that consciousness, as we know it is inseparably connected with life ought to prepare us for finding that the very problem of the distinction between the living and the dead escapes comprehension in the ordinary sense of the Word. That a physicist touches upon such question may perhaps be excused on the ground that the new situation in physics has so forcibly reminded us of the old truth that we are spectators as well as actors in the great drama of existence”.<sup>60</sup>

Assim, N. Bohr não faz qualquer referência ao sentido da consciência e do conhecimento íntimo (sentimento) em mais nenhum texto e não apresenta qualquer extrapolação do seu complementarismo, no âmbito da consciência.

Porém, Daniel. Serrão sugere que só o uso do princípio da complementaridade de Niels Bohr nos vai permitir, um dia, saber muito sobre a “consciência humana”,

---

<sup>59</sup> Cf. *Ibidem*, pp. 444-445.

<sup>60</sup> Cf. BOHR, N. – “On the constitution of atoms and molecular structure”, in: *Philosophical Magazine*, 26 (New York, 1913), pp. 857-875.

porque, ao acrescentar, é como acontece com a luz, os neurofisiologistas saberão tudo da consciência estudada como corpúsculo e os fenomenologistas do espírito saberão tudo sobre a consciência estudada como onda.<sup>61</sup>

Esta reflexão não se apresenta correcta, pelas seguintes razões:

**5.5.1** – António Damásio pode usar para consciência a metáfora da luz, coisa que já foi feita na Patrística, como está consignado no *Corpus Christianorum graece et latine*, desde há muitos séculos, como se refere genérica como a “voz de Deus” no coração do homem ou o santuário íntimo ao qual são repostados os actos humanos em ordem ao bem e ao mal. Até porque Damásio desconhece o que se refere, nesta matéria, em Patrologia. O primeiro passo seria ir às fontes, para conhecer e analisar os textos gregos e latinos, acompanhados da resposta hermenêutica. A crítica de Damásio insere-se no pensamento de Descartes, que coloca como essência da pessoa a consciência, e mais tarde Kant apresentá-la-á como *Freiheit*. Muito depois, Edmundo Husserl referirá a “consciência marginal” e a “consciência eidética”, como dois graus analógicos, embora distintos, mas complementares. Segundo E. Husserl, a consciência é única, mas com dois aspectos complementares. Provavelmente, será esta reflexão fenomenológica de Husserl desconhecida pelos autores das anteriores expressões críticas.<sup>62</sup>

**5.5.2** – Nem os neurofisiologistas, nem os fenomenologistas poderão estudar a consciência como corpúsculo e os fenomenologistas nunca poderão saber algo da consciência como onda, respectivamente.

Quando muito, segundo os dados da Mecânica Quântica, desenvolvidos neste artigo, poderiam apontar para que os neurofisiologistas estudassem a “consciência”, ora como corpúsculo, ora como onda. O princípio da complementaridade só se poderia aplicar neste caso, nunca no âmbito da fenomenologia do espírito.

**5.5.3** – Mesmo que os neurofisiologistas estudem a “consciência” como corpúsculo-onda, seguindo *ipsis verbis* o enunciado quântico de N. Bohr, nunca lá

---

<sup>61</sup> Cf. TORRES LIMA, A. C. – *Bioética e Antropologia*, Gráfica de Coimbra, Coimbra, 2004, p. 156.

<sup>62</sup> Cf. FRAGATA, J. S. J. – *A Fenomenologia de Husserl: como fundamento da Filosofia*, Livraria Cruz, Braga, 1985, pp. 119-128.

chegariam, uma vez que só o suporte biológico da consciência, que é o cérebro e o seu funcionamento, poderá justificar-se no e pelo princípio de complementaridade devido à correlação sinóptica, segundo a neurofisiologia, que aqui simplificará o corpúsculo-onda, desde as partículas emitidas nos receptores quânticos, até à energia quântica, dimanada pelos contactos sinópticos, seguindo o valor métrico de M. Planck, de acordo com a “neurofísica”:  $\varepsilon = h \cdot \nu$ , que se refere à onda quântica, segundo Shroedinger.

Ainda porque, segundo a mais recente Mecânica Quântica não existem corpúsculos, nem ondas. Esta transforma-se em corpúsculo e, vice-versa, pela equação relativista da energia cinética:  $E = m \cdot c^2$ .

Segundo a nova orientação da Mecânica Quântica, o princípio de N. Bohr não tem qualquer validade, ora na ordem gnoseológica, ora na ordem ontológica.

**5.5.4 – A fenomenologia do espírito resolve a consciência, não como onda, mas como uma forma íntima de vivenciar e exprimir a essência do existir, de maneira comportamental, como refere Husserl. Considerar, segundo a fenomenologia, que se saberá sobre a consciência estudada como “onda” e um “fiscalismo puro” e alterar o sentido do princípio de complementaridade de Niels Bohr.**

A consciência pura, segundo o Husserl, é o campo (nem partícula, nem onda) das evidências apodíticas em virtude da união íntima sujeito-objecto, que encontra a sua plena explicação no esclarecimento da constituição transcendental, relativa ao modo como o objecto se constitui ou forma na consciência pura.

Como a consciência é designativa de algum objecto, encontra-se unificada pela referência a esse objecto, e esta unificação desenvolve-se no tempo imanente. O carácter imediato da consciência do objecto, onde me levou a “epoché”, não se verifica apenas instantaneamente, mas numa sequência temporal. Este campo de fenómenos puros em que nos movemos, escreve Husserl, não é tanto um campo, mas antes um perene fluxo heraclitiano de fenómenos. A consciência está num contínuo fluxo. A consciência, apesar de temporal, não é, portanto, “dispersão”, dado que é uma síntese e esta determina que a vida consciente seja penetrada pela relação ao objecto.<sup>62</sup>

**5.5.5** – Daniel Serrão salienta e questiona: e a consciência sentiente e decisora é corpúsculo ou é onda? Responde dizendo que consoante a metodologia do observador aparecerá ou como corpúsculo – um sólido instrumento de biliões de células articuladas entre si, activadas pela circulação de múltiplos medidores químicos, que subitamente se formam e se extinguem, que reentram e reverberam, etc. – ou como onda – a geração imprevisível das “ideias abstractas”, a invenção de signos e significantes, a comunicação de sentido, a liberdade interior a alimentar as “decisões éticas”, que aparecem na auto-consciência, etc.<sup>63</sup>

Devemos dizer que a consciência sentiente e decisora não é corpúsculo nem onda. Nem uma coisa nem outra. Até porque se fosse, como afirma D. Serrão corpúsculo, seria partícula, o que seria impossível, constituída por biliões de células e pela acção de mediadores químicos. Isto é o aspecto material, que aqui todo ele é onda e todo ele é partícula. A consciência como onda nunca será uma geração previsível de ideias abstractas e de signos. Nada disto tem a ver com a “onda”, que é um movimento vibratório de massa-energia, quer segundo a Mecânica Clássica, quer segundo a Mecânica Ondulatória de De Broglie:

$$W = \frac{m}{2}u^2; \quad g = m \cdot u; \quad g = \sqrt{2mW}; \quad W = m \cdot c^2; \quad g = W/c = hv/c.$$

A consciência sentiente e decisora é uma forma de consciência ética e como tal depende não do *modus essendi*, mas antes do *modus agendi*, estando dependente da *phronésis* (sabedoria prática) que implica o terceiro grau de abstracção, segundo a perspectiva aristotélico-tomista ou, segundo o idealismo transcendental kantiano, a intuição pura *a priori*, para a qual se inclinara N. Bohr, dado que, na juventude, lera algumas obras de Kant.

**5.5.6** – Como a “consciência decisora” é uma *consciência moral*, naturalmente podemos-la referir como: *practici intellectus dictamen su rationis de moralitate actus hic et nunc a nobis ponendi vel omittendi iudicium ultimo practicum, aut etiam positi aut omissi, secundum moralia principia.*

---

<sup>63</sup> Cf. SERRÃO, D. – “Archeobiologia e Bioética: um encontro não conflituoso”, in: *Fragmentos de uma História: imagens inéditas*, Porto, Porto Editora, 2001, p.409.



A raiz e fundamento da consciência moral é a própria índole da razão, pronta para conhecer os princípios à volta da *recta ratio agibilium*, inicialmente dada pelo hábito natural *syndéresis*.

Com efeito, o objecto e fim da consciência moral será afirmar a conformidade e a não adequação com a regra dos costumes a partir do acto próprio em particular, segundo as “fontes da moralidade”.

Assim, a “consciência” é diferente da *synderesi*, como afirma toda a escolástica e neo-escolástica ao dizer: *synderesi quae est ingenitus habitus rationis practicae dans prima principia omnino universalia operabilium, vel etiam innata quaedam promptitudo ad ea perspicienda, cuius est dictare principia universalissima per se nota, praecisive a particulari et actuali applicatione eorumdem, capacitando subiectum ad habendam conscientiam cuius scintilla seu igniculus dicitur synderesis*.

A consciência ética apresenta-se como a norma subjectiva da moralidade, a qual compreende os seguintes elementos: a consciência directa (psicologia) da acção, que se refere directamente ao seu objecto, para o acto e para o objecto do acto, que tem a ver com a “decisão ética”; conhecimento da lei, segundo a ciência moral; comparação da acção com a lei natural; juízo partindo do valor moral.

Naturalmente, a consciência julga do valor da acção ou da omissão em ordem às regras dos costumes e segundo as exigências da natureza humana.

O princípio da complementaridade não poderá ser extrapolado para o domínio da consciência, uma vez que é da ordem do conhecimento prático, enquanto que o princípio de Bohr pertence ao conhecimento epistemológico.

A consciência é da área do *sofía*, necessariamente a complementaridade é do foro teórico, que muito dificilmente se comprovará cientificamente.

O princípio da complementaridade de N. Bohr não se poderá aplicar e fundamentar no âmbito da consciência *recta* antecedente, como regra necessária dos actos humanos, quer próximos, quer subsecutivos.

O mesmo princípio da complementaridade (correlação de duas imagens recíprocas na natureza) não poderá indicar a consciência objectivamente verdadeira como regra subjectiva e próxima do agir humano.

Finalmente, a complementaridade de Bohr não poderá orientar uma “consciência certa” ,como regra legítima do agir humano, porque nenhuma forma de

consciência poderá ser quer corpuscular, quer ondulatória. O complementarismo de N. Bohr só terá interesse epistemológico para ligar todas as formas de consciência entre si.

5. 5. 7. - Segundo Husserl, a ciência positiva é a ciência que se perdeu no mundo. Assim, necessita-se, em primeiro lugar, perder o mundo pela *epoché* para o recuperar de novo na mediação universal sobre si mesmo. Tal como dizia S. Agostinho : *Noli foras ire, in te redi, in interiore hominis habitat veritas*. À luz desta passagem, deveremos intender que a fenomenologia de Husserl fora caracterizada, por Lévinas, como “fenomenologia da consciência”. Este santuário interior, ao qual faço aferência dos meus actos morais, como presupostos ineludíveis, por meio dos quais somos conduzidos pelos caminhos do pensar. A consciência, segundo Husserl, não é o ponto de partida de uma cadeia de demonstrações, mas esta consciência será um *absolutum* no sentido de ser uma região privilegiada do ser ( *ausgezeichnete Seinsregion* ).

Husserl fez uma defesa da consciência, onde ela aparece como fonte de toda a razão, de toda a legitimidade e ilegitimidade, de toda a realidade e da ficção, de todo o valor e do contravalor, de todo o acto e do contra-acto..

Nela encerra-se a quinta essência da alma, do espírito, da razão, na perspectiva huserliana. Assim, será, a existência de uma racionalidade pensada, sendo ademais uma capacidade máxima, que possui o ser humano para desentranhar o problema da realidade. A consciência nunca será nem realidade ondulatória, nem corpuscular. Três são as definições de consciência, que Husserl oferece, sem a pretensão de ser exaustivo, terminando por apresentar a terceira de uma forma mais afortunada, do que as restantes, sendo precisamente aquela que declara, em sentido transitivo, que a consciência mesma será a “complexão das vivências”. A caracterização da consciência, em Husserl, será dada pelas *Erlebnisse*, que possuem um modo de existência diferente, quando se compara com o mundo das coisas.

A redução transcendental de Husserl continuou a autorgar carta de cidadania a um modelo contemplativo, no qual a proeminência absoluta da consciência se pressupõe já dada de antemão. Pela primeira vez, surge, segundo Husserl, a “consciência eidética”, como uma consciência pura, onde radicam todas as outras, a começar pela consciência sensiente e decisora.

A ideia fundamental da fenomenologia husserliana seria, neste sentido, aquela que atribui existência absoluta à vida consciente e concreta. A consciência descreve-se como “esfera da existência absoluta”. O ser da consciência, de toda a corrente e ocorrência de vivências, seria, sem dúvida, modificada necessariamente por uma aniquilação do mundo das coisas, mas não ficaria afectado pela sua própria existência. A finalidade última de Husserl foi considerar a consciência como “região absoluta” frente ao mundo relativo das coisas transcendentais e não transcendentais, como a luz, o corpúsculo ou a onda. A consciência é uma esfera de posição absoluta, não relativa, como o corpúsculo ou como a onda da Mecânica Quântica. A consciência nada tem a ver com a dualidade de corpúsculo-onda, tal como é delineada pela Física Quântica, dos dias de hoje.

## Conclusão

Devemos reconhecer que a descoberta de Bohr, ao apresentar o princípio da complementaridade, leva-nos a compreender os aspectos contraditórios dos conceitos de onda e de partícula, ao descreverem a mesma realidade, que poderá ser apaziguada. Segundo Niels Bohr, esta reconciliação permite modificações dos atributos clássicos, com os quais nós dotamos as ondas e as partículas, porque uma das imagens apresenta-se como imprópria para a descrição dos acontecimentos. Conduzido pelo facto empírico da natureza dual da matéria, Bohr reduziu estes aspectos da dualidade de imagens da natureza a um princípio da complementaridade, que se pode enunciar matematicamente da seguinte forma:

$$\delta A \cdot \delta B > 1/2c .^{64}$$

Assim, a natureza, como partícula e como onda, será considerada nos aspectos complementares da matéria. Ambas as imagens são necessárias para uma descrição da natureza, o que levou a que Bohr generalizasse o princípio da complementaridade a outras áreas da conduta humana, considerando-se de grandes potencialidades não só no mundo físico, como também, na história humana e na epistemologia. Mas, a batalha mais violenta que Bohr teve de travar foi no âmbito das implicações filosóficas do princípio da Mecânica Quântica e seus fundamentos conceptuais.

---

<sup>64</sup> Cf. MERZBACHER, E. – *Quantum Mechanics*, John Wiley and Sons, New York, 1963, p. 7.

A doutrina de Bohr ia na linha de que a mecânica quântica pressupõe a física clássica para a sua verdadeira formulação.<sup>65</sup>

Mas, esta tentativa falhou com os mais recentes progressos da Mecânica Quântica, permitindo, assim, que a “complementaridade” se coloque somente como princípio filosófico e não como axioma da Mecânica Quântica.

Niels Bohr confundiu os problemas ontológicos, com questões onde os conceitos estão relacionados com a “realidade”. Segundo a sua opinião a “comunicabilidade” é fundamental nas questões do conhecimento, tal como asseverava: “Our task is not to penetrate into the essence of things, the meaning of which we don't know anyway, but rather to develop concepts which allow us to talk in a productive way about phenomena in nature”.<sup>66</sup>

Assim, se conclui tratar-se de um princípio gnoseológico, que determinou algumas generalizações e extrapolações, que não resolvem muitas questões, como as que se prendem com a temática da “consciência”, sendo uma tentativa mais epistemológica do que ontológica.

O princípio da complementaridade de N. Bohr marcou a evolução e os fundamentos filosóficos da Mecânica Quântica, enquadrando-se no espírito da Interpretação de Copenhagen.

Tratou-se da procura de apresentar uma forma de “dualismo físico” (relação recíproca entre partícula-onda), que se poderá fundamentar no “dualismo ontológico”.

Segundo A. Pais, no ensejo de resumo e de síntese das aplicações e extrapolações da complementaridade, poderemos asseverar: “His general contributions to the general issues of human culture are not new and original, yet beautifully convey Bohr's position that complementary carries lessons of tolerance and of openness toward all the world. His thoughts on biology have not born fruit. Finally, I hope that the spirit of this sketch on Bohr's philosophy reflects on of his examples of complementarity between reason and sentiment”.<sup>67</sup>

Múltiplas serão sempre as extrapolações de complementaridade, até porque se inscreve gnoseologicamente nos conceitos duais, que determinam o conhecimento da “realidade física”.

---

<sup>65</sup> Cf. *Ibidem*, pp. 8-9.

<sup>66</sup> Cf. PAIS, A. – *Niels Bohr's Times: in Physics, Philosophy, and Polity*, p. 446.

<sup>67</sup> Cf. *Ibidem*, pp. 446-447.