



Ciência e Sociedade

CBPF-CS-001/21

maio 2021

**Estado da Arte da Crítica Materialista
Dialética à Mecânica Quântica**

Y.M.P. Gomes

Estado da Arte da Crítica Materialista Dialética à Mecânica Quântica

The state of the Art of the Dialectical Materialist Critique to Quantum Mechanics

Y.M.P. Gomes*

Instituto de Física - Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ),

20550-900, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Submetido: 15/09/2020

Aceito: 24/05/2021

Resumo: A discussão sobre a crítica materialista dialética à Física do século XX, especificamente elementos das críticas de Engels e Lenin às escolas filosóficas materialistas e idealistas que irão assentar as bases da Física do século XX, há muito se perdeu. Foram essas escolas idealistas que, ao fazerem a crítica ao materialismo metafísico, formaram os conceitos gerais que contribuíram na construção da mecânica quântica e da relatividade. Partiremos desses reflexos filosóficos na mecânica quântica do século XXI para mostrar que, apesar da importância histórica do idealismo para a superação do materialismo metafísico, hoje esses pressupostos filosóficos são uma barreira para o avanço do conhecimento sobre o microcosmo.

Palavras chave: Interpretações da Mecânica Quântica, Materialismo Dialético.

Abstract: The discussion on the dialectical materialist critique of 20th century physics, specifically the elements of Engels and Lenin's criticisms of materialist and idealist philosophical schools that would lay the foundations for 20th century physics has been lost. These idealistic schools were the ones that, in criticizing metaphysical materialism, built the main concepts which contributed to the construction of quantum mechanics and relativity. We will start from these philosophical reflections on the 21st century quantum mechanics to show that, despite the historical relevance of idealism for overcoming metaphysical materialism, these philosophical assumptions are today a barrier to the progress of knowledge concerning the microcosm.

Keywords: Interpretations of Quantum Mechanics, Dialectical Materialism.

Introdução

Devido às condições histórico-sociais do século XIX, o experimento e a verificação científica se tornavam essenciais. É sintomático que muitos pensadores modernos tenham escrito obras ou iniciado obras discutindo a problemática do conhecimento - Galileu, Bacon, Descartes, Kant. As exigências da produção no capitalismo mudaram o direcionamento da investigação para o conhecimento da natureza, de caráter ativo e prático. Por este motivo não poderia estar voltada para a essência das coisas,

mas a apreensão daquelas qualidades que pudessem ser submetidas à mensuração e quantificação. O processo de experimentação impôs que o conhecimento fosse uma articulação entre dados e razão. Porém os dados são sempre colhidos por intermédio dos sentidos, e, portanto, são parciais e recolhem apenas fragmentos da realidade, nunca a totalidade. Foi dessa maneira que se formou o principal paradigma a filosofia do século XIX, ou seja, como se chegar em leis gerais se os dados colhidos são sempre singulares, parciais, ao passo que o conhecimento científico significa o estabelecimento de leis gerais, que possam valer para todos os casos, especialmente os futuros.

A filosofia que predomina na física até o século XVIII é comumente chamada de materialismo metafísico. Sobre essa corrente filosófica que estava prestes a ser superada, Friedrich Engels, em seu livro "Ludwig Feuerbach e o fim da filosofia clássica alemã" afirma [1]:

"O materialismo do século passado era predominantemente mecânico, porque, de todas as ciências da Natureza

*Electronic address: yurimullergomes@gmail.com

daquela altura, apenas a mecânica, e, a bem dizer, também só a dos corpos sólidos - celestes e terrestres -, em suma, a mecânica dos graves, tinha chegado a um certo acabamento. A química existia apenas na sua figura infantil, flogística. A biologia andava ainda de cueiros; o organismo vegetal e animal era investigado apenas grosseiramente e era explicado por causas puramente mecânicas; tal como para Descartes o animal, o homem era para os materialistas do século XVIII uma máquina. Esta aplicação exclusiva do padrão da mecânica a processos que são de natureza química e orgânica - e para os quais as leis mecânicas certamente que também valem, mas são empurradas para um plano recuado por outras leis, superiores - forma a primeira limitação específica, mas inevitável para o seu tempo, do materialismo francês clássico.”

Engels continua sua crítica afirmando que [1]:

“A segunda limitação específica deste materialismo consistiu na sua incapacidade de apreender o mundo como um processo, como uma matéria compreendida numa continuada formação histórica. Isto correspondia ao estado da ciência da Natureza da altura e à maneira metafísica, isto é, anti-dialéctica, do filosofar, com aquele conexas. A Natureza, sabia-se, estava compreendida num movimento eterno. Mas esse movimento, segundo a representação da altura, girava eternamente em círculo e, portanto, nunca se mexia do sítio; produzia sempre de novo os mesmos resultados. Esta representação era na altura inevitável. A teoria de Kant acerca do surgimento do sistema solar malvinha de ser estabelecida e ainda passava só por mera curiosidade. A história do desenvolvimento da Terra, a geologia, era ainda totalmente desconhecida, e a representação de que os seres vivos naturais hodiernos são o resultado de uma longa série de desenvolvimento do simples para o complicado, não podia, naquela altura, ser, em geral, cientificamente estabelecida. A concepção não-histórica da Natureza era, portanto, inevitável.”

Ou seja, a crítica ao materialismo pode ser definida através do conceito de mecanicismo e de uma visão estática, determinista, de mundo.

O aparecimento de fenômenos que contrariavam a visão dominante da física do fim do século XIX e início do século XX, como a descoberta das radiações, dos decaimentos radioativos, o problema do espectro de corpo negro e das primeiras experiências sobre os átomos geraram uma crise na física. Naquele momento a física era dividida em 3 escolas principais:

- Mecanicistas e neo-mecanicistas: Kirchoff, Helmholtz, Thomson (Lorde Kelvin), Maxwell e os físicos modernos Larmor e Lorentz;
 - rejeitava a significação ontológica das teorias, focava exageradamente na significação fenomenológica;
- Energética ou conceitual (do termo conceito, ideia pura): Mach e Duhem;
 - Baseava-se em teorias conceituais, “abstrações puras” e afastava tanto quanto possível a hipótese da matéria;
- Criticista (Simbolista), intermediária entre as duas primeiras: Poincaré e Hilbert.

Já nesse contexto do início do século XX, Lenin em seu livro chamado “Materialismo e empiriocriticismo” [2] afirma diante do quadro onde esse materialismo já se mostra insuficiente para a explicação dos fenômenos microscópicos que começavam a ser descobertos:

“A essência da crise da física contemporânea consiste na subversão das velhas leis e dos princípios fundamentais e na rejeição da verdade objetiva existente fora da consciência, isto é, consiste na substituição do materialismo pelo idealismo e pelo agnosticismo. “A matéria desaparece”: pode-se exprimir nessas palavras a dificuldade fundamental, típica em relação a certas questões particulares, que suscitou essa crise.”

Devido a esse novo paradigma, onde a matéria parecia não ser mais imutável, Lenin [2] afirma que os idealistas

“[...] combateram o materialismo metafísico (...) com sua “mecanicidade” exclusiva e rejeitaram o essencial juntamente com o secundário. Negando a imutabilidade das propriedades e dos elementos da matéria conhecidos até então, deslizaram até a negação da matéria, isto é, da realidade objetiva do mundo físico. Negando o caráter absoluto das mais importantes leis fundamentais, chegaram à negação de toda lei objetiva na natureza; as leis naturais, afirmaram, não passam de convenções, de “limitação do alcance”, de “necessidade lógica”, etc. Insistindo no caráter aproximado, relativo, dos nossos conhecimentos, concluíram pela negação do objeto independente do conhecimento, refletido por esse último com uma exatidão aproximada, relativa.”

É neste contexto histórico que se encontrava a Física do início do século XX. Hoje essa corrente filosófica idealista é comumente relacionada com o relativismo; que privilegiava o sujeito em relação ao objeto¹. De forma geral o conhecimento pode ser entendido como uma relação entre sujeito e objeto. De maneira simplificada podemos dizer que se a prioridade estiver no sujeito também é comum chamarmos este ponto de vista de gnosiológico. Por outro lado, se a prioridade estiver no objeto chamamos este ponto de vista de ontológico. As perspectivas ontológicas e gnosiológicas existiram ao longo do processo histórico e tanto sua função social quanto a sua origem histórico-social nos permitem compreender que a pergunta sobre o objeto foi anterior à pergunta sobre o sujeito que age sobre o objeto. Ambas as abordagens cumpriram seu papel/função social em seus respectivos tempos históricos, com seus pontos positivos e suas limitações [4].

A visão materialista dialética busca entender a interação entre sujeito e objeto, mas afirmando que o polo regente é o objeto, sem ignorar a importância do papel do sujeito. Dessa forma, consegue-se abarcar dois elementos que certamente integram a realidade, objeto e sujeito, mas que não a explicam em sua totalidade caso forem separados um do outro. Esta maneira de pensar inicia-se na observação do objeto para então apreender as determinações essenciais que o caracterizam, abstraindo a sua lógica, seus padrões, suas simetrias, e partindo desses elementos traduzir teoricamente o objeto. Esse é o núcleo da visão materialista dialética.

¹ não confundir com a teoria da relatividade de Einstein.

Para entendermos os problemas do idealismo na física faremos uma breve contextualização do idealismo, cujo fundador mais expressivo e mais conhecido fora o filósofo Descartes. No século XIX pode-se afirmar que Ernest Mach fora um dos maiores expoentes do idealismo. Lenin ao desenvolver sua crítica ao idealismo [2], explicita:

“A tarefa da ciência - escrevia Mach em 1872 - não pode consistir senão em: 1) investigar as leis das relações entre as representações (psicologia); 2) descobrir as leis das relações entre sensações (as percepções) (física); 3) explicar as leis da relação entre as sensações e as representações (psicofísica).”

Ele também, para ilustrar o pensamento idealista, explicita a seguinte afirmação de Mach:

“As sensações não são os “símbolos dos objetos”; antes o “objeto” é que é um símbolo mental referente a um complexo de sensações relativamente estável. Não são os objetos (os corpos), mas as cores, os sons, as pressões, os espaços, os tempos, (o que chamamos comumente de sensação), que constituem os verdadeiros elementos do universo.”

A afirmação acima mostra que Mach se baseia em uma concepção idealista que vai de encontro ao materialismo, onde, como já explicitamos, as sensações apenas são símbolos (reflexos) dos objetos reais. Sobre essa visão gnosiológica, Engels, em seu livro intitulado *Anti-Dühring* [3] já fazia crítica à essa perspectiva:

“De onde o pensamento pode deduzir tais princípios? (Trata-se dos primeiros princípios de todo conhecimento). De si mesmo? Não... Não se trata aqui senão das formas de ser do mundo exterior, e essas formas, o pensamento nunca as pode criar ou tirar de si mesmo, mas, antes, do mundo exterior... Os princípios não são o ponto de partida da pesquisa, mas, antes, o seu resultado final; não são aplicados à natureza e à história da humanidade, mas delas derivam; não é a humanidade ou a natureza que se regem e se modelam de, acordo com tais princípios, mas os princípios não são verdadeiros senão na medida em que concordam com a natureza e a história.”

Nessa perspectiva Lenin [2] afirma que essa relação entre sujeito e objeto:

“Trata-se, caso, não dessa ou daquela definição do materialismo, mas a antinomia entre o materialismo e o idealismo, da diferença entre as duas correntes fundamentais da filosofia.”

A crítica de Lenin ao idealismo se encontra no fato de que caso a realidade não existisse sem o ser, o sujeito, não haveria necessidade nem possibilidade de conhecer nada além de si mesmo, seria até mesmo “(...) ocioso e supérfluo “admitir” a existência dos outros homens. Apenas o eu existe.”. Ou seja, o idealismo, e Mach como principal expoente, caem no solipsismo². Por esta razão Lenin afirma que [2]:

“O idealismo filosófico é (...) o caminho para o obscurantismo clerical.”

Com essa rápida contextualização da crítica materialista dialética às correntes filosóficas do materialismo metafísico e do idealismo, podemos agora avançar um pouco no tempo histórico e analisar como a Física lidou com estas transformações. Como bem se sabe, a quebra de paradigmas proporcionadas pelos novos fenômenos que emergem na Física do início do século XX foram embriões para duas novas áreas da física, a relatividade e a mecânica quântica. Analisaremos brevemente as influências filosóficas do surgimento da mecânica quântica para entendermos como a formação dessa nova área do conhecimento trouxe consigo limites que agora se expressam como limitações para o entendimento profundo da natureza.

Panorama histórico da Física do início do Séc. XX:

Para ilustrarmos o quadro apenas de maneira esquemática, destacamos abaixo alguns dos físicos mais importantes do início do século XX, em ordem mais ou menos cronológica;

- Max Planck (discípulo de Kirchoff e Helmholtz - 1899);
- Niels Bohr (discípulo de J.J.Thompson - 1913);
- Albert Einstein (discípulo de Henri Poincaré, Ernst Mach e David Hume - 1910);
- Arnold Sommerfeld (discípulo de Hilbert - 1910);
- Erwin Schrödinger (Fortemente influenciado por Schopenhauer (neokantismo) - 1920);
- Wolfgang Pauli (discípulo de Ernst Mach - 1920);
- Werner Heisenberg (discípulo de Sommerfeld - 1920);
- Max Born (discípulo de Hilbert - 1920);
- Paul Dirac (discípulo de Ralph Fowler - 1925);

Todos os físicos citados acima contribuíram para o entendimento da Física moderna, seja por contribuições para a relatividade e/ou para a mecânica quântica (destacamos a data da primeira contribuição de cada autor para a física moderna). Como podemos perceber, a crise da Física foi claramente uma crise do materialismo metafísico, visto que os grandes expoentes citados acima tinham, majoritariamente, influência das escolas Energéticas e Simbolistas. Sobre essa crise James Ward [5] afirma:

“A teoria mecânica, compreendida como a explicação obrigatória do universo, recebe um golpe mortal do progresso da própria física mecânica.”

A mecânica e o eletromagnetismo clássicos chegaram ao seu limite no fim do século XIX e com isso as perspectivas idealistas; seja pelo positivismo de Schrödinger, que introduz a probabilidade quântica onde não se pode conhecer a “coisa em si”, seja pelo idealismo matematizado de Poincaré e Hilbert (Simbolismo), se tornam as principais correntes filosóficas na física do século XX. A mecânica quântica, formulada por Bohr, Heisenberg, Schrödinger e muitos outros, foi o produto mais acabado dessa superação do materialismo metafísico ao explicar os fenômenos atômicos de

² FILOSOFIA: doutrina segundo a qual só existem, efetivamente, o eu e suas sensações, sendo os outros entes (seres humanos e objetos), como partícipes da única mente pensante, meras impressões sem existência própria.

forma satisfatória. Entretanto, essa formulação trouxe consigo alguns paradoxos que até hoje são objetos de discussão. Um desses paradoxos é representado pelo “Princípio da complementariedade” de Bohr [6]. Esse princípio afirma que existem variáveis complementares na microfísica que não podem ser medidas (ou seja, conhecidas) simultaneamente. Exemplo: Posição e momento. É um princípio geral por trás do chamado princípio da incerteza de Heisenberg. É nesse princípio que a chamada interpretação de Copenhague está embasada e esse ponto é um ponto central da crítica à mecânica quântica, em especial os seguidores da escola fundada por David Bohm com sua teoria das variáveis escondidas [7].

Além da controvérsia do “Princípio da complementariedade” há também a controvérsia do chamado “colapso da função de onda”. Essa por sua vez, como mostraremos mais adiante, gerou uma mistificação da mecânica quântica, na medida em que se considerou que a consciência pudesse interferir na natureza dos objetos microscópicos. Sabemos muito bem do sucesso da mecânica quântica para explicar o microcosmo, principalmente após pouco mais de 100 anos de sua formulação e incontáveis experimentos envolvendo fenômenos quânticos e nos imensos avanços tecnológicos advindos das propriedades quânticas da matéria. Na sessão seguinte, explicitaremos as interpretações de alguns expoentes da Física do século XXI sobre a mecânica quântica, especificamente Wigner e Everett, e em seguida uma visão materialista que acredito que aponte para o materialismo dialético, especificamente as visões de G. 't Hooft, V. Fock e I. Prigogine.

Eugene Wigner e o papel da consciência:

Wigner teve uma brilhante carreira com importantes contribuições para no entendimento das simetrias na Física [8]. Hoje temos um vasto material sobre suas visões filosóficas acerca da Física, e em especial nos vale sua visão do chamado colapso da função de onda. Por exemplo, sobre o papel do observador ele afirma [8]:

“...[P]arece perigoso considerarmos o ato de observação como um ato humano, básico para a teoria dos objetos inanimados. É, no entanto, em minha opinião, uma conclusão inevitável. Se isto for aceito, temos que considerar o ato de observação como um ato mental, um conceito primitivo da física, nos termos do qual as regularidades e as correlações da Mecânica Quântica são formuladas.”

Em outro momento, ele se refere explicitamente ao colapso da função de onda [8]:

“...[D]ar razão para o crescente interesse dos físicos contemporâneos em problemas de epistemologia e ontologia poderia ser útil, apesar de não ser algo estritamente relevante. A razão é, em poucas palavras, que os físicos têm achado impossível dar uma satisfatória descrição dos fenômenos atômicos sem referência à consciência. Isto tem pouco a ver com o frequentemente requeitado problema da dualidade onda e partícula e se refere, certamente, ao processo chamado 'redução do pacote de onda'. Este ocorre sempre que o resultado de uma observação entra na consciência do observador - ou, para ser ainda mais exager-

adamente preciso, minha própria consciência, já que eu sou o único observador, todas as outras pessoas sendo somente objetos das minhas observações. Alternativamente, alguém poderia dizer que a Mecânica Quântica provê somente conexões de probabilidade entre o resultado de minhas observações como eu as percebo. Seja qual for a formulação que se adote, a consciência tem evidentemente um papel indispensável.”

Em outro trecho ele reafirma sua convicção do papel da consciência no colapso da função de onda [8]:

“Chegamos, então, à questão de completeza da teoria física. O evento básico da Mecânica Quântica é a observação e não é descrito por suas equações. Isto envolve um ser vivo e se a Mecânica Quântica for válida, ao menos para objetos inanimados, não é completa enquanto seus resultados não entrarem na consciência.”

Wigner encontra o ponto central da problematização do colapso da função de onda, porém sua visão idealista o impede de encontrar uma solução, e o impele a dar uma solução mistificadora ao afirmar que a consciência do observador seria a chave para o entendimento do colapso da função de onda. Posteriormente Wigner irá dar um passo atrás nessa concepção do papel da consciência da mecânica quântica, apostando na tentativa de matematizar o processo de medida através de generalizações não-lineares da equação de Schrödinger. Entretanto, é um exemplo claro do limite que a visão idealista trouxe consigo ao ser o modo histórico no qual superamos o materialismo metafísico.

Everett e a interpretação dos muitos mundos:

Recentemente o Físico Sean Carroll lançou um livro chamado *Something Deeply Hidden* [9] onde ele recupera a interpretação dos muitos mundos, feita pelo Físico Hugh Everett em 1957. Nessa interpretação se condensa as consequências da afirmação da objetividade absoluta da função de onda na mecânica quântica. Tal objetividade absoluta leva a afirmação de que a função de onda representa estados realmente existentes - em vez de probabilidades - de tal modo que o colapso de onda assumiria um estado em detrimento do desaparecimento de todos os outros, igualmente reais. Para contornar esse paradoxo, Everett afirma que esses estados preteridos não sumiram, mas se materializaram em outros universos paralelos. Dessa forma, a realidade dos estados representados pela função de onda se mantém.

Entretanto, ao introduzir um artifício extraordinário, a existência de infinitos mundos paralelos, Everett jogou o problema sobre o entendimento do colapso da função de onda para esses infinitos mundos nunca detectados, nada resolve e nada explica, o que poderíamos chamar de uma forma bem sofisticada de “jogar a poeira para debaixo do tapete”.

Apesar de se afirmar como uma visão realista, a interpretação dos muitos mundos se mostra de fato como uma interpretação idealista, uma vez que ao afirmar a objetividade absoluta da função de onda e que a medida cria novos mundos está afirmando que o sujeito, ao fazer a medida, cria novos universos, o que implica que essa nova realidade pode existir somente com o sujeito, e, portanto, vai contra a visão materialista da primazia do objeto

sobre o sujeito.

't Hooft e a crítica ao determinismo clássico:

Em seu livro intitulado *The Cellular Automaton Interpretation of Quantum Mechanics*, Gerard 't Hooft discute - em uma introdução para sua visão determinista da Mecânica quântica - sua visão sobre a interpretação de Copenhague, e coloca de maneira sucinta [10]:

“An important element in the Copenhagen interpretation is that one may only ask what the outcome of an experiment will be. In particular, it is forbidden to ask: what is it that is actually happening? It is exactly the latter question that sparks endless discussions; the important point made by the Copenhagen group is that such questions are unnecessary. If one knows the Schrödinger equation, one knows everything needed to predict the outcomes of an experiment, no further questions should be asked. This is a strong point of the Copenhagen doctrine, but it also yields severe limitations. If we know the Schrödinger equation, we know everything there is to be known.”

Continuando a discussão, ele afirma [10]:

“What Einstein and Bohr did seem to agree about is the importance of the role of an observer. Indeed, this was the important lesson learned in the 20th century: if something cannot be observed, it may not be a well-defined concept - it may even not exist at all.”

Dessa forma 't Hooft explicita a visão de Bohr e Einstein sobre o realismo científico. Entretanto, ele demonstra sua discordância em relação à essa visão positivista. Em outro trecho do livro ele diz [10]:

“Things that are not directly observable may still exist and as such play a decisive role in the observable properties of an object. They may also help us to construct realistic models of the world.”

Afirmando que algo não observável possa existir ele se diferencia em relação à visão de realismo positivista de Einstein e Bohr. Essa visão ignora que a essência do objeto não é igual a sua aparência, sendo somente essa segunda passível de observação direta. Continuando, 't Hooft dá um exemplo:

“An interesting blow was given to the doctrine that observability should be central, when quark theory was proposed. Quarks cannot be isolated to be observed individually, and for that reason the idea that quarks would be physical particles was attacked. Fortunately, in this case the theoretical coherence of the evidence in favor of the quarks became so overwhelming, and experimental methods for observing them, even while they are not entirely separated, improved so much, that all doubts evaporated.”

Assim ele mostra como o realismo positivista é insuficiente para entender a natureza do microcosmos. Essa forma de ver a natureza corrobora com o materialismo dialético [4]. Já que o conhecimento sobre o objeto é sempre aproximativo, os parâmetros que podemos utilizar para avaliar se este conhecimento é suficiente para caracterizar o objeto são dois, segundo Tonet - um de natureza ontológico-teórica e outro de natureza ontológico-prática [4]. O primeiro parâmetro, chamado de argumento onto-teórico, vem no sentido de que a tradução ideal do objeto seja suficiente para diferenciá-lo

dos outros objetos, ou seja, que obter uma identidade desse objeto seja possível. O segundo, o parâmetro onto-prático, se define na confrontação da tradução teórica com a realidade. Mas, diferentemente de uma prova empírica, ela depende do parâmetro onto-teórico. Também implica na compreensão dos fatos, dos fenômenos e da dinâmica no qual ele está inserido. Ela se refere, portanto, à compreensão dos fatos imediatos remetidos à totalidade. Como podemos ver, a visão de 't Hooft e seu exemplo dos quarks vai exatamente nesse sentido.

V. Fock e a síntese entre lei e acaso:

O Físico soviético Vladimir Fock fez uma interessante crítica à visão Newtoniana, afirmando que se alguém tivesse conhecimento de todas as condições iniciais do universo e de todas as leis da natureza, saberia com precisão total o destino do universo, trazendo, portanto, uma visão religiosa de um ente externo onisciente, portanto anti-materialista [11]. Ele se utiliza desse argumento para afirmar que a mecânica quântica não seria idealista, ao contrário da crítica posta por físicos da época (como Bohm, de Bloch, etc), mas uma visão materialista onde o princípio de determinismo idealista de Newton (comumente chamado de determinismo Laplaciano) teria sido superado (O Físico León Rosenfeld chegou na mesma conclusão de forma paralela [12]). Em especial, a característica que mostraria a superação do determinismo Newtoniano estaria exatamente no princípio da complementariedade, que ao invés de introduzir o “indeterminismo” na ciência, ele entende que a probabilidade contida na função de onda que “(...) se encontra sujeita à verificação”, ou seja, essa “(...) verificação deverá constar não apenas de uma medição, mas de várias repetições da experiência completa (sendo o modo como se prepara o objeto para a experiência sempre o mesmo, e sem que haja modificações das condições externas). A estatística que se obtém em resultado dessa série de repetições permitir-nos-á, então, julgar a distribuição de probabilidades sujeita à verificação” [11].

Em um artigo intitulado “On the Interpretation of Quantum Mechanics” [13], V. Fock coloca de forma cristalina sua visão materialista dialética sobre a mecânica quântica. Já na introdução ele faz uma afirmação que parece válida até hoje:

“The necessity of a suitable interpretation of the mathematical technique of quantum mechanics arises more and more sharply.”

Sobre uma possível violação da causalidade da mecânica quântica ele afirma que [13]:

“The causality principle in the general sense should be understood as the statement of the existence of the laws of nature and in particular those related to the general properties of space and time finite speed of action propagation, impossibility to influence the past). Being understood in this way, quantum mechanics not only agrees with the causality principle but also gives some new content to it and enlarges it to probabilistic laws.”

Embora a mecânica quântica viole a causalidade no sentido clássico (do tipo Laplaciano), ela respeita a causalidade nos termos propostos acima com a vantagem de conter em si as probabilidades e dessa forma “exorcizar” o famoso

demônio de Laplace.

Nesse artigo ele faz importantes apontamentos sobre essa negação das propriedades probabilísticas da mecânica quântica. Fazendo uma crítica aberta à escola das variáveis escondidas de Bohm, ele diz [13]:

“The fact that such understanding of materialism is narrow and therefore wrong seems doubtless to us. To force nature to obey just the deterministic form of laws, rejecting to assume their more general probabilistic form, means to be based on dogmas rather than on properties of nature itself. Such point of view is philosophically wrong.”

Apesar de sua crítica, Fock entende a contexto histórico em que esse determinismo se consolidou. Segundo ele [13]:

“Such a deterministic point of view is not unavoidable logically but is rather a consequence of historical conditions and mainly of successes of celestial mechanics in the 18th and 19th centuries. The high accuracy of predictions of the motion of celestial objects generated a belief in mechanistic determinism (the Laplace determinism). As a result of this belief the deterministic point of view had spread over the whole physics (with thermodynamics perhaps being the only exception) and started to pretend to be the only scientific one.”

Mesmo assim, ele coloca a mecânica quântica como um novo paradigma para o determinismo e para a causalidade, uma forma mais sofisticada e rica de materialismo [13]:

“Quantum mechanics restores the rights of the difference between the potential possibility and the realization dictated by everyday life.”

Um ponto crucial para o entendimento da mecânica quântica é compreender a sua natureza probabilística. Segundo ele a função de onda não representa um “ensemble” de partículas, pois [13]:

“A deeper reason for the impossibility to put a statistical ensemble into correspondence to a wave function is that the notion of a wave function corresponds to a potential possibility (to the experiments that have not yet been performed), although the notion of a statistical ensemble corresponds to the already performed experiments.”

Continuando o seu raciocínio [13]:

“The probability of one or another behavior of an object under given external conditions is determined by the internal properties of a given individual object and given conditions. (...) This probability expresses itself in the relative number of realized cases of the given behavior of an object; this number is its measure. Therefore the probability corresponds to a single object and characterizes its potential possibilities; on the other hand, to determine its numerical value experimentally, one needs to have statistics of realizations of such possibilities, i.e., several repetitions of the experiment.”

Ou seja, a probabilidade é uma propriedade quântica dos objetos singulares microscópicos ao interagirem com o aparelho de medida, e que se revela na medida em que o experimento é repetido várias vezes. Dessa forma o caráter singular dos objetos microscópicos é mantido ao mesmo tempo que suas propriedades estatísticas. Naturalmente, ao seguir a linha de raciocínio, V. Fock chegamos ao problema do colapso da função de onda. Segundo ele o colapso da função de onda ocorre quando se muda o “aparato de medida” ao qual o sistema foi preparado. Vale a pena colocar todo o trecho

pois resume de forma brilhante o problema [13]:

“If one assumes that a final stage of one experiment is at the same time the initial stage of another one, then the wave function that gave the probability distribution of the results of the first experiment should be replaced by another one corresponding to the actual obtained result. Such a replacement happens at once; the change of the wave function does not satisfy the Schrödinger equation. It might look like (and this question has been in fact debated) that the sudden change of the wave function contradicts the finiteness of the speed of action propagation. However, it is easy to see that in this situation we are dealing not with the propagation of an action, but rather with a change of the question of probabilities. In the experiment, only one of the possible results prescribed by the wave function was realized. The change of the question of probabilities consists of accounting for the realized result, i.e., accounting for the new data. But to the new data a new wave function corresponds. These speculations show how important it is to interpret the quantum mechanics to distinguish between something potentially possible and something actually realized. They also show in a completely transparent way that the wave function is not a real field and that its sudden change is not a physical process like a change of a field. A physical process is in fact related to an experiment but it influences the wave function indirectly by means of the requirement to reformulate the problem of probabilities.”

Ou seja, embora a probabilidade seja uma propriedade quântica da interação entre o objeto microscópico e o aparelho de medida, a função de onda não é um objeto físico. Apenas uma abstração que representa as probabilidades de um evento ocorrer. Portanto, esse “colapso da função de onda” não precisa respeitar nenhuma lei causal. Dessa forma, a função de onda seria uma ferramenta para parametrizar todas os resultados de medida, para todas as possíveis medidas do experimento previamente preparado para tal.

Ilya Prigogine e a irreversibilidade:

Prigogine, ganhador do prêmio Nobel pela descoberta das chamadas estruturas dissipativas, fenômeno exclusivo de sistemas fora do equilíbrio e, portanto, em constante movimento, trouxe importantes avanços para a compreensão da natureza no sentido de contestar o paradigma existente até hoje na física, no ato de se debruçar em entender sistemas que não são estáticos, que segundo ele são a regra dos fenômenos físicos. Para ele, sistemas em equilíbrio são a exceção [14].

Segundo Prigogine, sistemas em equilíbrio são “cegos”, enquanto que sistemas fora do equilíbrio podem perceber o sistema em sua totalidade. É o que matematicamente chamamos de não-localidade. Outro conceito elaborado por Prigogine é o chamado de ponto de bifurcação. Nesse ponto do sistema o determinismo perde sentido e, segundo ele [14]:

“Uma única flutuação, emprestando sua força a outras flutuações, pode tornar-se suficientemente poderosa para reorganizar a totalidade do sistema em um novo esquema. Os pontos onde esse fenômeno ocorre são “pontos de bifurcação”, inacessíveis à descrição determinística; o sis-

tema segue, então, um dos vários desvios possíveis do caminho original.”

Ou seja, mesmo em sistemas clássicos, o determinismo já é um paradigma questionável, e em sistemas fora do equilíbrio faz parte intrínseca da dinâmica do sistema, através desses pontos de bifurcação. Segundo a perspectiva Prigoginiana, mesmo que nós tivéssemos um grande conhecimento sobre as condições iniciais do sistema, nos pontos de bifurcação, nada nos permitiria deduzir sua evolução e, portanto, apenas as probabilidades de que o sistema siga para uma determinada dinâmica nos é possível saber.

Seus estudos sobre os sistemas fora do equilíbrio também o fez repensar sobre o conceito de entropia desses sistemas. Ao contrário da visão comumente utilizada na física de que a entropia é a medida da desordem do sistema, para ele a entropia seria uma medida da complexidade do sistema. Em especial, nos sistemas fora do equilíbrio ordem e desordem formam uma unidade dialética [14] de forma que a visão de desordem enquanto futuro inevitável dos sistemas, devido à segunda lei da termodinâmica, não se aplica. Segundo Prigogine [14]:

“A evolução do universo não se deu na direção da degradação, mas na do aumento de complexidade, com estruturas que aparecem progressivamente a todos os níveis, desde as estrelas e as galáxias aos sistemas biológicos. [...] Não podemos prever o futuro da vida ou da nossa sociedade ou do universo. A lição do segundo princípio [da Termodinâmica] é que este futuro permanece aberto, ligado como está a processos sempre novos de transformação e de aumento da complexidade. Os recentes desenvolvimentos da Termodinâmica propõem-nos, por conseguinte, um universo em que o tempo não é nem ilusão nem dissipação, mas no qual o tempo é criação.”

Dessa forma, Prigogine vai da direção oposta à tese niilista da morte térmica do universo. Em relação à interpretação subjetivista da entropia, em que o que se perderia é a nossa capacidade de termos informação sobre o sistema conforme ele evolui, e, portanto, a irreversibilidade seria apenas uma ilusão causada por nossos sentidos, ele usa exemplos simples do absurdo que essa interpretação nos leva, como a condutividade térmica dos materiais, cuja propriedade intrínseca é independente do observador e decorrente da segunda lei. Portanto, essa visão subjetivista não encontra correspondência na realidade de deve ser refutada veementemente. Prigogine tinha clara noção da relação dialética entre acaso e devir, ou em outras palavras, entre casualidade e causalidade [14]:

“As leis não governam o mundo, mas este tampouco é regido pelo acaso. As leis físicas correspondem a uma nova forma de inteligibilidade que as representações probabilistas irreduzíveis exprimem. Elas estão associadas à instabilidade e, quer no nível microscópico, quer no nível macroscópico, descrevem os eventos enquanto possíveis, sem reduzi-los a consequências dedutíveis ou previsíveis de leis deterministas.”

Dessa forma, ele incorpora na sua Física os elementos da essência causal, aquilo que se mantém no movimento, com a mediação da aleatoriedade na qual o fenômeno se apresenta, com toda a sua complexidade e com isso ele mostra que é possível a descrição desses fenômenos.

Por fim apresentaremos rapidamente uma ideia apresentada por Prigogine que complementa os pontos apresentados em relação as vantagens do ponto de vista materialista dialético. Segundo ele, a mecânica quântica baseada na interpretação de Copenhague não era capaz de explicar os fenômenos irreversíveis, pois, ao ser definida em um espaço de Hilbert, tem seus autovalores reais e, portanto, preserva a simetria de reversão temporal. Para tentar resolver esse problema ele, juntamente com Petrovsky, formularam uma extensão da mecânica quântica onde eles expandem o espaço de Hilbert para o espaço de Liouville [16]. Podemos destacar aqui o principal argumento, no contexto da medida na mecânica quântica [16]:

“It seems that we would need our measurements to go from “potentialities” to “actualities”. But, as emphasized by Bohr and Rosenfeld, measurements are irreversible processes, be it at the level of the apparatus or of our sensory mechanisms. This difficulty is common to classical and quantum mechanics and the solution we found is common to both.”

Note aqui o paralelo com as ideias de V. Fock. Ou seja, como a medida é um processo irreversível, a contradição entre o observável e a medida na mecânica quântica se encontra no fato de que utilizamos uma ferramenta que só explica processos reversíveis, ou seja, a mecânica quântica definida em um espaço de Hilbert [15, 16]. Apesar do fenômeno da decoerência [17] nos iluminar parte do problema da medida na mecânica quântica, ainda não sabemos se há de fato um colapso da função de onda, ou em outras palavras, se a função de onda é um ente físico ou uma ferramenta matemática.

Considerações finais:

Apesar de seus imensos e inegáveis avanços no entendimento da matéria, ao perder o objeto como critério da verdade, a perspectiva idealista gerará contradições para a física do fim do século XX, gerando o que alguns chamam de uma nova crise na Física [18, 19]. Além desse problema, temos as tentativas mistificadoras de relacionar a consciência do observador com o colapso da função de onda, ou a pretensão de jogar a nossa incompreensão sobre esse colapso para mundos irrealis, ou na melhor das hipóteses, inacessíveis. Essa crise nos mostra que a perspectiva idealista na Física encontrou os seus limites para o avanço do conhecimento da natureza e uma superação (aufhebung) dessa perspectiva se mostra urgente.

Mostramos alguns elementos que apontam para a necessidade de uma recuperação da perspectiva materialista dialética como forma de superar a contradição historicamente colocada e, a partir da crítica, avançar no entendimento do microcosmos. O panorama histórico aponta para a necessidade de estudar os fundamentos da mecânica quântica e em especial esse complexo processo chamado medida da mecânica quântica, onde reversibilidade e irreversibilidade, mundos clássico e quântico, legalidade e causalidade, se encontram. É nesses momentos aparentemente paradoxais que a dialética se mostra imprescindível para fazer a síntese da unidade dos contrários. Os fatos serão sempre vistos de maneira parcial, portanto, para fugir de contaminações sub-

jetivas, devemos buscar a lógica própria do processo real, que o organiza e dá sentido ao mesmo. Repetindo, devemos capturar a lógica existente no objeto. Como V. Fock afirmou [13]:

“The achievement of quantum mechanics should become a strong stimulus to the development of dialectic materialism. Inclusion of new ideas to its treasury is the primary task of materialistic philosophy.”

Mãos à obra!

Agradecimentos

À FAPERJ pelo suporte financeiro. Um agradecimento especial ao Prof. Dr. José Abdalla Helayël-Neto por incentivar a publicação deste trabalho e pelas enriquecedoras sugestões.

-
- [1] ENGELS, F. Ludwig Feuerbach e o fim da filosofia clássica alemã. [S.l.]: Germinal: Marxismo e Educação em Debate, v. 4, 2012.
- [2] LENIN, V. Materialismo e empiriocriticismo: notas críticas sobre uma filosofia reaccionária. Lisboa: Edições Avante, 1982.
- [3] ENGELS, F. Anti-dühring. [S.l.]: Boitempo Editorial, 2017.
- [4] TONET, I. Método Científico: uma abordagem ontológica. São Paulo: Instituto Lukács, 2013.
- [5] WARD, J. Naturalism and agnosticism. [S.l.]: [s.n.], 1904.
- [6] PESSOA, O. et al. Complementing the principle of complementarity. *Physics Essays*, v. 13, n. 1, p. 50-67, 2000.
- [7] BOHM, David; STAPP, Henry P. The undivided universe: An ontological interpretation of quantum theory. 1994.
- [8] DOS SANTOS, F. Na fronteira entre a Ciência e a Filosofia: Reflexões Filosóficas de Eugene P. Wigner. Dissertação de mestrado, 2010.
- [9] SIEGFRIED T. Sean Carroll’s new book argues quantum physics leads to many worlds. *Science News*. Disponível em: <https://www.sciencenews.org/article/sean-carroll-something-deeply-hidden-quantum-physics-many-worlds>. Acesso em: 15 de jul. de 2020.
- [10] ’T HOOFT, G. The cellular automaton interpretation of quantum mechanics. Springer Nature, 2016.
- [11] FREIRE JR, O. Dialectical Materialism and the Quantum Controversy: The Viewpoints of Fock, Langevin, and Take-tani. *Nature, Society, and Thought*, v. 8.3, 1995.
- [12] JACOBSEN, A. S. L. On Rosenfeld’s Marxist defense of complementarity. *Hist Stud Phys Biol Sci*, v. 37, n. n. suppl, p. 3?34, 2007.
- [13] FADDEEV, Ludwig D.; KHALFIN, Leonid A.; KOMAROV, Igor V. (Ed.). VA Fock-selected works: Quantum mechanics and quantum field theory. CRC Press, 2004.
- [14] CARVALHO, Rodrigo França et al. Além das nuvens e dos relógios: a ideia de ciência de David Bohm e de Ilya Prigogine. 2015.
- [15] MASSONI, N. Ilya Prigogine: uma contribuição à filosofia da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 2, p. 2308.1-2308.8, 2008.
- [16] PETROSKY, T.; PRIGOGINE, I. The Liouville space extension of quantum mechanics. *Advances in Chemical Physics*, v. 99, p. 1-120, 1997.
- [17] SCHLOSSHAUER, Maximilian. Decoherence, the measurement problem, and interpretations of quantum mechanics. *Reviews of Modern physics*, v. 76, n. 4, p. 1267, 2005.
- [18] JARLETT H. Is Theoretical Physics in crisis? Home.cern. Disponível em: <https://home.cern/news/series/in-theory/theory-theoretical-physics-crisis>. Acesso em: 06 de jul. de 2020.
- [19] WOLCHOVER N. What No New Particles Means for Physics. *Quanta magazine*. Disponível em <https://www.quantamagazine.org/what-no-new-particles-means-for-physics-20160809/?fbclid=IwAR28c6HKRgeXxbLQBS-sLm8HIA125g96tyNfjdazRyR31dHjPOk51F0cRQ>. Acesso em: 06 de Jul. de 2020.

Pedidos de cópias desta publicação devem ser enviados aos autores ou ao:

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
Área de Publicações
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150 – 4^o andar
22290-180 – Rio de Janeiro, RJ
Brasil
E-mail: alinecd@cbpf.br/valeria@cbpf.br
<http://revistas.cbpf.br/index.php/CS>

Requests for copies of these reports should be addressed to:

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
Área de Publicações
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150 – 4^o andar
22290-180 – Rio de Janeiro, RJ
Brazil
E-mail: alinecd@cbpf.br/valeria@cbpf.br
<http://revistas.cbpf.br/index.php/CS>