

O Dualismo onda-corpúsculo e o valor da Teoria científica em Bohr. A necessária consideração da dialéctica materialista[†]

Ana Henriques Pato*

Resumo

O desenvolvimento da ciência no século XX colocou aos físicos novos desafios. As ondas revelavam um comportamento corpuscular e as partículas comportamento ondulatório. Mas nunca simultaneamente. Essa dificuldade levou Bohr a adoptar o princípio da complementaridade, figura através da qual a contradição entre onda e corpúsculo se vê fixada. A oposição entre onda e corpúsculo é, assim, absolutizada. Penso que foi a não consideração da dialéctica que impediu Bohr de avançar no sentido da resolução daquela contradição objectiva que ameaçava reflectir-se na teoria.

Como consequência, é a realidade objectiva, na sua unidade e enquanto totalidade contraditória, que se vê despedida da teoria. A teoria científica desiste de procurar a conexão interna dos fenómenos e a sua tarefa passa a ser a mera ordenação daqueles fenómenos.

Este recalco da contradição interna da realidade tem uma segunda consequência em Bohr: a objectividade passa a ser interna à linguagem e passa a ser pensada sob a figura da intersubjectividade. De facto, Bohr, ao colocar a correlação entre objecto e instrumento de medida (ao fazer depender o fenómeno da experiência, da prática humana) como a instância em que o conhecimento se funda, está a negar a possibilidade de que haja um conteúdo das representações humanas que não dependa do sujeito, isto é, está a negar a possibilidade da objectividade.

Estas são as linhas gerais do que procurarei argumentar.

PALABRAS CLAVE: Bohr, realidade objectiva, princípio da complementaridade, contradição, dialéctica da natureza.

Abstract

In the XXth century, the development of science has posed new challenges to the physicists. Waves have exhibited a corpuscular behavior while particles have exhibited undulatory behavior, but never simultaneously. This difficulty led Bohr to adopt the principle of complementarity, the figure by which the contradiction between wave and corpuscle is fixed. Thus the opposition between wave and corpuscle is absolutized. I think it was

[†] A partir de comunicação no International Symposium of Epistemology, Logic and Language University of Lisbon, 29-31st October 2012. Recibido: marzo 2014. Aceptado: abril 2014.

* Centro de Filosofia das Ciências da Universidade de Lisboa, anahpato@gmail.com

the non-consideration of dialectics that prevented Bohr from advancing towards the resolution of that objective contradiction, that was about to be reflected on the theory. Consequently, it is the objective reality, in its unity and as a contradictory totality, that is removed from the theory. The scientific theory gives up the search for the internal connection of phenomena and its task becomes the mere ordination of such phenomena. The repression of the internal contradiction of reality has a second consequence in Bohr's thought: objectivity becomes internal to language and it is considered under the figure of intersubjectivity. In fact, Bohr, by putting the correlation between object and measuring instrument (by making the phenomenon dependent of the experience, of the human practice) as the instance in which knowledge is founded, is denying the possibility that there is a content of human representations that does not depend on the subject, i.e. is denying the possibility of objectivity.

These are the general guidelines on which I will argue.

KEY WORDS: Bohr, Objective Reality, Principle of Complementarity, Contradiction, Dialectics of Nature.

O dualismo onda-corpúsculo

No século passado, o desenvolvimento da física mostrou aos cientistas que a matéria apresentava um comportamento ondulatório e corpuscular, quer se tratasse de radiação electromagnética, quer se tratasse de partículas.

Por um lado, da radiação electromagnética, que se sabia serem ondas, descobriu-se que, sob determinadas circunstâncias, se comportava como sendo composta por corpúsculos. Esta descoberta partiu da hipótese inicialmente feita por Planck segundo a qual a energia dos átomos não era emitida de forma contínua, como seria de esperar para as ondas, mas, sim, por fracções, isto é, de forma quantizada. Foi Einstein quem, em 1905, partindo desta hipótese, não só derivou a fórmula de Planck, como explicou fenómenos até então inexplicáveis. O efeito fotoeléctrico podia agora ser explicado com base na ideia dos quanta de luz.

Por outro lado, Louis de Broglie, perante aquilo que parecia ser uma correspondência geral entre ondas e partículas, põe a hipótese de os electrões serem ondas, assim como as ondas luminosas serem partículas. Era sabido que as ondas exibiam padrões interferenciais quando sobrepostas. Para o observar, bastava fazer incidir um feixe de luz num ecrã com duas fendas. Passado pouco tempo, veio efectivamente a comprovar-se experimentalmente o comportamento ondulatório das partículas através da observação difracção de electrões, isto é, através da observação destes padrões interferenciais quando um feixe de electrões passava num alvo com duas fendas.

Temos, assim, as ondas electromagnéticas a apresentar comportamento de partículas, como temos as partículas a exibirem comportamento ondulatório. Porém, nunca simultaneamente. Um arranjo experimental revelaria as características ondulatórias e outro arranjo experimental diferente revelaria as características corpusculares. Aqui reside a essência do problema do chamado dualismo onda-corpúsculo. De acordo com Bohr, este “óbvio contraste” coloca um dilema de um “carácter até então desconhecido em física” (Bohr, 1933: 5).

A introdução da complementaridade

Para lidar com este problema, Bohr introduziu, em 1927, o princípio complementaridade. De acordo com Bohr, a complementaridade ofereceria “meios lógicos” para a compreensão de novos campos da experiência (Bohr, 1967: 78) que já não eram passíveis de uma explicação em termos clássicos. Usando as palavras de Bohr: “a continuidade espacial da nossa imagem da propagação da luz e a atomicidade dos efeitos luminosos são aspectos complementares no sentido em que eles dão conta de características igualmente importantes do fenómeno da luz que não podem nunca ser postos em contradição directa um com o outro, uma vez que a sua análise em termos mecânicos exige arranjos experimentais mutuamente exclusivos” (Bohr, 1933: 5).

Assim, onda e corpúsculo seriam complementares no sentido em que ambos traduzem propriedades da matéria, propriedades essas que não se podem revelar simultaneamente e não podem ser colocados em contradição directa. O mesmo sucederia com a descrição espaço-temporal de um acontecimento e sua descrição dinâmica. Isto é, a posição e o momento de uma partícula estão numa relação de complementaridade, assim como o tempo e a energia. Por exemplo, não é possível prever simultaneamente, *por princípio*, a posição e o momento de uma partícula para além de determinado limite.

A introdução da ideia da complementaridade está ligada ao problema observacional que surgira com o dualismo onda-corpúsculo. Ela assenta sobre uma determinada perspectiva da relação entre objecto e instrumento de medida segundo a qual a sua inevitável interacção estabeleceria um “limite absoluto” à possibilidade de conhecer o comportamento dos objectos atómicos de forma independente dos meios de observação (cf. Bohr, 1939: 25). É precisamente isto que a noção de complementaridade procura traduzir, isto é, segundo Bohr, “a limitação fundamental, que encontramos na física atómica, da existência objectiva do fenómeno independentemente dos meios da sua observação” (Bohr, 1933: 7). Esta situação, posta em evidência pela física atómica, apenas estaria a revelar, segundo Bohr, algo fundamental comum a todas as áreas do conhecimento. Bohr atribui, assim, ao princípio da complementaridade um nível de generalidade elevado, procura elevá-lo a princípio epistemológico.

Para Bohr, não é possível conhecer o fenómeno fora de uma relação com os instrumentos de medida, isto é, não é possível conhecer o objecto fora da sua relação com uma experiência de medição. Pondo agora o problema de forma mais geral, vemos que para Bohr não é possível conhecer a realidade objectiva fora da sua relação com uma específica prática humana: a medição.

É interessante notar como tais conclusões marcadamente cépticas no plano epistemológico convivem com concepções ontológicas marcadas por uma orientação idealista. A palavra fenómeno, diz Bohr, passa então a designar “exclusivamente [...] as observações obtidas sob circunstâncias específicas, incluindo uma descrição de todo o arranjo experimental” (Bohr, 1949: 64). Isto é, para Bohr, o fenómeno só o é quando é interacção com o instrumento de medida, isto é, carece, para que o seja, de intervenção humana. Generalizando ainda mais, poder-se-ia dizer que, para Bohr, os fenómenos só são quando são fenómenos para os sujeitos.

Concluindo, o princípio da complementaridade introduzido por Bohr emerge de uma dificuldade encontrada pelos cientistas em resolver um “dilema” com que se depararam. O avanço da ciência pôs a descoberto a contradição entre o carácter ondulatório e corpuscular da matéria. A matéria era, ao mesmo tempo, onda e corpúsculo. A complementaridade foi a solução encontrada por Bohr para lidar com esta contradição posta a descoberto pelo avanço da ciência. Esta contradição objectivamente existente manifestava-se agora na teoria. Isto é, aquela que é uma contradição material reflectia-se agora idealmente. Ora, a história do conhecimento científico fornece-nos inúmeros exemplos de contradições deste tipo e mostra-nos como elas não só são inerentes à própria natureza do conhecimento, como, mais do que isso, constituem uma peça do motor para a sua progressão. Daí que a minha crítica incida na forma não dialéctica e idealista com que Bohr abordou esta contradição e nas suas consequências.

Crítica à complementaridade

Tomemos, então, o chamado dualismo onda-corpúsculo. Bohr – e isto é um passo muito importante – reconhece e identifica a contradição como tal. No entanto, não a resolve. Fixa-a. Absolutiza a contradição existente entre onda e corpúsculo, lidando com ela de forma não dialéctica, e, portanto, impedindo a sua negação, a sua superação.

Ao apreender a realidade, o homem traça antagonismos e distinções. O traçar dessas linhas faz parte do próprio processo do conhecimento. No entanto, esses antagonismos e distinções têm apenas validade relativa. A natureza demonstra não possuir linhas rígidas e fixas. Como dizia Engels ao tratar este problema, a rigidez imaginada e a validade absoluta foram introduzidas na natureza pelas nossas mentes – e este reconhecimento é o cerne da concepção dialéctica da natureza (cf. Engels, 1894: 14). A distinção entre onda e corpúsculo é o exemplo disso mesmo: uma distinção válida, mas que deve ser reconhecida como relativa. Ora, perante o desmoronar dessa linha rígida na natureza, Bohr manteve-a fixa na teoria. Ou melhor, perante o avanço da ciência que demonstrava que a validade da distinção entre onda e corpúsculo era apenas relativa, Bohr, que não teve em devida conta a dialéctica, estabeleceu uma linha rígida entre onda e corpúsculo: ou onda ou corpúsculo.

O dualismo onda-corpúsculo na forma como Bohr o apresenta, bem como todos os outros pares complementares que mutuamente se excluem, é característico do pensamento não dialéctico. Ficamos então perante uma dessas “antíteses absolutamente irreconciliáveis” de que falava Engels. Por outras palavras, porque o pensamento de Bohr não foi guiado por uma abordagem dialéctica, Bohr caiu numa análise restrita, limitada, caiu em contradições insolúveis e, além do mais, na medida em que Bohr as apresenta como uma questão de “princípio”, fixadas para todo o sempre. Por esta razão, Bohr, para quem a matéria era ou onda ou corpúsculo, não pôde pôr a hipótese de a matéria ser simultaneamente onda e corpúsculo.

A complementaridade de Bohr acaba assim por efeito da recusa da possibilidade de compreensão da contradição. De acordo com este tipo de pensamento, ela deve ser removida como exigência de racionalidade. Ora, como Bohr não pode despedir a contradição com que se deparou (uma vez que se trata de uma contradição material objectivamente existente), ele vai introduzir, com o objectivo de lidar com ela no quadro das suas exigências de “racionalidade”, o tal novo meio lógico, a complementaridade. O

objectivo é alcançar no plano da teoria uma descrição onde os pólos contraditórios não sejam colocados em conflito, onde não se interpenetrem.

Sucedem que essa contradição é ela própria reflexo da relação objectiva entre onda e corpúsculo. A realidade é ela própria contraditória e as suas contradições deveriam transportar-se para a teoria que pretenda ser um reflexo adequado da realidade objectiva. Portanto, Bohr, ao não perguntar pelo fundamento objectivo a que corresponde a contradição onda-corpúsculo, não está a ter em conta a própria realidade objectiva de que a teoria quântica deveria ser reflexo. É a própria realidade objectiva que deixa de se ver reflectida pela teoria científica e, assim, a mais fundamental exigência de cientificidade que não é atendida.

Mas não é só o fundamento objectivo da contradição onda-corpúsculo que não é tido em conta. Como consequência, é também esse mínimo ontológico que é o ente quântico que não se vê tomado na sua unidade e como pertencente a uma totalidade.

Bohr reduz o ente quântico à sua manifestação fenoménica e apresenta-o como uma soma de determinações postas lado a lado. A formulação do princípio da complementaridade é disso expressão directa. Quando Bohr afirma, por exemplo, que os fenómenos são complementares no sentido em que “apenas a totalidade dos fenómenos esgota a informação possível acerca dos objectos” (Bohr, 1949: 40), está precisamente a apresentar o ser como uma mera soma de determinações, como uma soma de elementos isolados retirados da totalidade em que se inserem, isto é, do sistema de relações e de condicionamentos mútuos com leis de estruturas próprias. Este isolamento é abstracto porque é absolutizado, parcelar, unilateral. Bohr reforça esse isolamento ao exigir expressamente a mútua exclusividade dos fenómenos e, consequentemente, das leis e teorias que procuram dar conta deles. Daí a complementaridade entre a descrição espaço-temporal e descrição dinâmica, entre a teoria electromagnética e mecânica e entre corpúsculo e onda.

Bohr, por tomar o ente quântico por aquilo que é imediatamente dado ou por achar que não pode tomar do ser mais do que a sua manifestação fenoménica (aqui a identificação tipicamente positivista e a cisão idealista de fenómeno e essência estão postas lado a lado, o que para o caso acaba por ser indiferente pois ambas desaguam na mesma consequência) acaba por estabelecer limites definitivos para o conhecimento no domínio quântico. É a imediatez da aparição dos fenómenos que não pode ser transposta. É a sua conexão interna que não pode ser descoberta. No fundo, é esta a posição que Bohr adopta quando diz que os fenómenos quânticos são indivisíveis. Tudo o que deles podemos conhecer é a impressão que deixam numa placa fotográfica.

Ficamos, assim, com um ente quântico que é tomado pela soma das suas determinações cuja eventual unidade não é possível apreender. “Por maiores que sejam os contrastes exibidos por fenómenos atómicos sob diferentes condições experimentais”, diz Bohr, “tais fenómenos devem ser designados complementares no sentido de que cada um é bem definido e que juntos esgotam todo o conhecimento definível acerca dos objectos em questão” (Bohr, 1955: 90). Bohr exclui, assim, a possibilidade de a teoria, a consciência, ser capaz de reflectir a realidade objectiva tal como ela é: una.

É certo que Bohr não deixa de apresentar os dados da experiência numa relação conflitual, como opostos. É o que faz ao reconhecer a dualidade onda-corpúsculo como contradição. Mas fá-lo fora da sua unidade. E por isso não a pôde resolver.. Em vez disso, fixou-a, tornou-a intransponível.

Porém, quando Bohr afirma que “apenas a totalidade dos fenómenos esgota a informação possível acerca dos objectos” está, ao mesmo tempo, a pretender negar que essa perspectiva ponha limites à ciência. Não, diria Bohr, há sempre um novo arranjo experimental que pode pôr em evidência uma nova determinação ainda não descoberta a qual podemos somar ao conjunto de todas as outras determinações. Mas isso tem precisamente que ver com aquele que, na decorrência das suas posições, acaba por ser o seu entendimento sobre o que é o conhecimento científico, sobre qual é o valor da teoria.

O valor da teoria

Bohr vai, assim, colocar como a tarefa da ciência a coordenação de regularidades, a descoberta de uniformidades. A preocupação de Bohr é estabelecer “regularidades”, é “recuperar a ordem lógica” (Bohr, 1954: 74), “estabelecer relações entre as observações” (Bohr, 1954: 74).

A mecânica quântica é “como um meio de ordenar uma imensa quantidade de evidências” (Bohr, 1958: 390). Para Bohr, o interesse principal é “restaurar a ordem lógica neste campo da experiência” (Bohr, 1949: 61), evitar as “inconsistências lógicas” (Bohr, 1949: 56). De facto, o próprio põe claramente a questão: “quando falamos de quadro conceptual, referimo-nos meramente à representação lógica não ambígua de relações entre experiências”(Bohr, 1967: 68). Porém, exigir, como condição suficiente, que a teoria não contenha possibilidades de interpretações ambíguas dos resultados das medições não é mais do que uma exigência de coerência interna. A complementaridade seria, assim, o expediente que permitiria uma “descrição completamente racional dos fenómenos físicos”(Bohr, 1935: 696). Põe-se, no entanto, a questão do que significa para Bohr esta “racionalidade”.

Bohr manifesta várias vezes a preocupação de garantir “objectividade”, de garantir “não ambiguidade na comunicação”. Ora, Bohr, identifica objectividade com comunicação não ambígua. Passo a citar: “Qualquer cientista, [...], está constantemente confrontado com o problema da descrição objectiva da experiência com a qual queremos significar comunicação não ambígua” (Bohr, 1967: 67). Não há dúvida de que a objectividade, para Bohr, se funda ao nível da linguagem. Dado que Bohr entende a ciência como uma forma de coordenar regularidades é de facto natural que isso tenha implicações necessárias ao nível do que Bohr entende como objectividade. O próprio estabelece essa relação consequente. Diz Bohr: “Uma vez que o objectivo da ciência é aumentar e ordenar a nossa experiência, toda a análise das condições do conhecimento humano deve assentar em considerações do carácter e âmbito dos nossos meios de comunicação” (Bohr, 1955: 88).

Portanto, para Bohr, a ciência funda-se e é interna à linguagem. Em suma, a objectividade de Bohr é, na verdade, intersubjectividade, é o subjectivo colectivamente aceite.

Como vimos, para Bohr, o que está principalmente em causa é a teoria ser uma descrição objectiva da experiência de medição entendida esta como comunicação não ambígua. Mas isto nada garante quanto à objectividade da teoria, entendida como o reflexo da realidade objectiva (realidade essa que é mais do que o fenómeno e muito mais ainda do que um fenómeno que só o é quando é interacção com instrumentos de medida). Para Bohr, a objectividade é essencialmente um problema de comunicação. Racionalidade é não contradição lógica, é não ambiguidade. À teoria nada mais é exigido. Temos, assim, uma dita “objectividade” que, para Bohr, é interna à própria teoria e uma racionalidade esvaziada de conteúdo objectivo. Essa objectividade, em vez de se fundar numa correspondência entre as ideias descritas e as relações objectivas que a descrição (a teoria científica) procura reflectir, funda-se no interior do próprio plano ideal pois diz respeito a uma avaliação da “boa definição” de ideias. Em rigor, é a realidade objectiva, aquela que existe independentemente do sujeito, que não encontra aqui lugar. As teses de Bohr estão assim marcadas por um idealismo profundo. E é-o a três níveis fundamentais.

Em primeiro lugar porque, de um ponto de vista materialista, não se trata de negar o papel e a importância do correcto e rigoroso apuramento e desenvolvimento dos conceitos e da linguagem para o próprio desenvolvimento da ciência. Trata-se, sim, de negar que a ciência se estabelece unicamente na linguagem e é interior à linguagem. A ciência não se reduz a um esquema formal internamente coerente.

Em segundo lugar porque, de um ponto de vista materialista, não se trata de negar a necessidade de abstrações cada vez mais complexas no processo do conhecimento – pelo contrário, este é um momento necessário desse processo. Trata-se, sim, de rejeitar uma posição que nega a realidade objectiva como o ponto de partida e referente último do conhecimento científico.

A ciência carece de fundamento objectivo. É o ser que é o seu objecto e é ele que a ciência deve procurar reflectir com um grau cada vez maior de aproximação (sem que com isso queiramos dizer que a ciência possa esgotar o seu objecto ou que o processo do conhecimento não se faça com avanços e recuos). Como diz Marx, toda a ciência seria supérflua se a forma de aparecimento e a essência das coisas imediatamente coincidissem¹.

Em terceiro lugar porque, de um ponto de vista materialista, o ser que a ciência visa e quer reflectir não se reduz à sua manifestação fenoménica. Por isso, a ciência deve procurar, como sua condição de cientificidade, a conexão interna (cf. Barata-Moura, 1997: 91)² dos fenómenos e não apenas uma sua descrição ou coordenação como pretende Bohr. Não se trata de uma conexão imposta ou criada por uma consciência ordenadora e enformadora, mas sim de um movimento real e objectivo. É por esta razão que, sendo a própria realidade objectiva contraditória, deve a ciência incluir, conter em si mesma, dar conta dessa contradição. Ora, Bohr deparou-se com a contradição

1 “Toda a ciência seria supérflua [überflüssig] se a forma de aparecimento [Erscheinungsform, forma fenoménica ou fenomenal] e a essência [Wesen] das coisas imediatamente coincidissem”. K. Marx cit. por Barata-Moura (1997: 74). A partir de Marx, K.: *Das Kapital*, III, 7, 48; MEW, vol. 25: 825.

2 A partir de Marx, K.: *Das Kapital*, III, 7, 48, II; MEW, vol.25: 825.

entre onda e corpúsculo, uma contradição objectiva que o avanço da ciência pôs a nu. Mas precisamente por não ter a dialéctica materialista em devida conta, tomou aquela que era uma contradição dialéctica por uma contradição lógica a qual deveria a todo o custo ser eliminada por não caber no quadro das suas exigências de racionalidade. Como não pôde eliminá-la, pois a própria realidade não o permitia, necessitou estabelecer o princípio da complementaridade criando assim uma espécie de figura lógica que permitisse lidar com aquela contradição de forma a que os pólos contrários não fossem, ao nível do pensamento, colocados em confronto.

A negação da possibilidade da verdade objectiva

A consequência destas posições epistemológicas de Bohr acaba por ser, em última instância, a negação da possibilidade da verdade objectiva. É nessa negação que inevitavelmente se cai quando se entende a ciência como mera forma de ordenar a experiência humana, como Bohr o faz (cf. Bohr, 1967: 80), mesmo que esse caminho não seja percorrido consequentemente até ao fim. Se se entende a ciência desta forma, se se lhe retira o seu fundamento objectivo, se se nega a possibilidade de ela visar ou ser reflexo da realidade objectiva que não depende do sujeito, então a ciência não se distingue de outras formas de conhecimento não científico.

Vimos como Bohr faz depender os fenómenos da sua posição por um sujeito, como reduz a objectividade àquilo à intersubjectividade, como reduz a ciência à ordenação de fenómenos declarando impossível ir-se para além da sua imediatez e vimos como Bohr pôde tomar o ente quântico como uma mera soma de determinações, fora da unidade e totalidade contraditória em que necessariamente se insere.

O ponto nevrálgico é o facto de Bohr antepor, como a instância inaugural em que o conhecimento ao nível da mecânica quântica se funda, uma correlação entre objecto e instrumento de medida, para além da qual não se pode ir. Recordando as suas palavras: “a interacção inevitável entre os objectos e os instrumentos de medida coloca um limite absoluto à possibilidade de falar de um comportamento dos objectos atómicos que seja independente dos meios de observação” (Bohr, 1939: 25). Bohr afirma que isto levantaria um problema novo em filosofia natural. Mas, na sua essência, este problema não é novo em filosofia. É precisamente o problema da verdade objectiva.

Para Bohr, não é possível conhecer o objecto quântico fora da relação deste com o sujeito (na medida em que é este quem o experimenta com os seus instrumentos). Não se trata aqui directamente de fazer depender o objecto da consciência ou de outra instância ideal, como no caso mais tradicional das filosofias idealistas. No entanto, Bohr não deixa de fazer depender as determinações do ente quântico (e isto é particularmente evidente no caso do chamado colapso ou redução instantânea do trem de ondas) e o conhecimento a respeito desse ente de uma instância que depende do sujeito, neste caso de uma instância material, a prática humana, o experimento. A orientação idealista subjacente mantém-se: é o ser que aparece como função da sua posição pelo sujeito. A sua independência é esbatida e deixa de constituir a instância inaugural do conhecimento. No seu lugar, Bohr coloca uma correlação sujeito-objecto. Em suma, julgo estarmos perante aquilo a que José Barata-Moura chama um “idealismo da práxis” (1986).

Referências

Barata-Moura, José (1997): *Materialismo e Subjectividade*, Estudos em Torno de Marx. Lisboa: Edições Avante!

Barata-Moura, José (1986): *Ontologias da «Práxis» e Idealismo*. Lisboa: Editorial Caminho.

Bohr, Niels (1933): «Light and Life». In Bohr, Niels (2010): *Atomic Physics and Human Knowledge*. New York: Dover Publications Inc.

Bohr, Niels (1935): «Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete? » in *Physical Review*, Vol. 48 (Oct.1935): 696-702.

Bohr, Niels (1939): «Natural Philosophy and Human Cultures». In Bohr, Niels (2010): *Atomic Physics and Human Knowledge*. New York: Dover Publications Inc.

Bohr, Niels (1949): «Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics». In Bohr, Niels (2010): *Atomic Physics and Human Knowledge*. New York: Dover Publications Inc.

Bohr, Niels (1954): «Unity of Knowledge». In Bohr, Niels (2010): *Atomic Physics and Human Knowledge*. New York: Dover Publications Inc.

Bohr, Niels (1955): «Atoms and Human Knowledge». In Bohr, Niels (2010): *Atomic Physics and Human Knowledge*. New York: Dover Publications Inc.

Bohr, Niels (1958): «Quantum Physics and Philosophy». In J. Kalckar, ed. (1996), *Niels Bohr Collected Works, Vol. 7, Foundations of quantum physics II (1933-1958)*. Amsterdam: North-Holland.

Engels, Friedrich (1894): «Anti-Dühring». In *Karl Marx-Frederick Engels Collected Works*. New York: International Publishers, v.25, 1987.