

A Física e as Leis da Dialética

(Physics and the laws of dialectics)

José Lourenço Cindra

Depto. de Física e Química

UNESP - Universidade Estadual Paulista

Campus de Guaratinguetá

Caixa Postal 205

12500-000 Guaratinguetá - SP

Trabalho recebido em 10 de fevereiro de 1997

Neste artigo, o objetivo principal foi apresentar uma visão geral da questão concernente à relação entre Física e dialética, e mostrar que os processos e fenômenos físicos parecem confirmar a presença da dialética e suas leis, tanto em seus aspectos ontológicos como epistemológicos, em toda a natureza e na ciência em geral, particularmente na Física. Pontos de vista semelhantes foram expressos por alguns autores, incluindo Bitsakis (1991) e Marquit (1990, 1996).

In this paper the main purpose was to give a general survey of the question concerning the relation between physics and dialectics, and to show that the physical processes and phenomena seem to corroborate the presence of dialectics and its laws both in ontological and epistemological aspects in whole nature and science, particularly in physics. Points of view of this kind were expressed by some authors, including Bitsakis (1991) and Marquit (1990, 1996).

Introdução

As leis físicas entendidas como reflexo de aspectos importantes da realidade têm um poder explicativo, mas as explicações obtidas, em geral, não são definitivas, e como tal, têm também um caráter aproximativo. Este caráter aproximativo das leis físicas é uma manifestação da dialética do relativo e do absoluto.

Não podemos negar, no entanto, que a dialética, suas categorias e leis mais gerais, por razões diversas, ainda não são bem aceitas pela comunidade científica. Parece haver uma certa resistência em aceitar a importância de uma abordagem dialética das coisas. Isso se deve em grande parte a uma tradição de pesquisa que reluta em flexibilizar os conceitos e alargar a linguagem da ciência. No entanto, como não se pode fazer uso da faculdade de pensar sem usar, pelo menos alguns aspectos de uma dialética intuitiva, os cientistas continuam praticando um raciocínio mais ou menos dialético, sem saber que assim estão procedendo.

“ Infelizmente, a palavra “dialética” assumiu sentidos muito ambíguos e, por isso, hoje é olhada com grande desconfiança. Pense-se, por exemplo, nos termos como “força”, “massa”, etc., que podem utilizar-se com acepções profundamente diferentes. [...] Penso que as reservas viscerais que existem contra o uso da dialética por parte das pessoas da comunidade científica se deve precisamente a um receio de alargar a nossa linguagem” (GEYMONAT, 1989, p. 152).

Apesar de tudo, há alguns cientistas competentes que levam a dialética sério. Neste trabalho, vamos nos ocupar com apenas dois deles: o físico e filósofo norte-americano Erwin Marquit e o físico e filósofo grego Eftichios Bitsakis. Além disso, para maior familiarização com a tradição dialética no pensamento filosófico, não podemos deixar de citar, ainda que de modo bastante sucinto, algumas idéias de Hegel, o famoso filósofo alemão, que nos tempos modernos foi o primeiro a empregar o método dialético de forma sistemática.

Hegel, apesar de seu sistema idealista, concebeu

toda a realidade, incluindo a natureza, a sociedade, a história e o mundo espiritual como sujeitos à lei do devir. Na sua abordagem dialética, Hegel indicou as relações entre quantidade e qualidade, entre fenômeno e essência, forma e conteúdo, o todo e as partes, etc. No parágrafo 90 da Ciência da Lógica, Hegel disse: *“Algo é o que é graças à sua qualidade, e perdendo sua qualidade, ele deixa de ser o que é”*. A unidade da qualidade e da quantidade Hegel chamou de medida. Hegel também concebeu as contradições como inerentes ao ser. Em lugar das categorias fixas da filosofia anterior, Hegel percebeu que o estudo do real exigia categorias flexíveis. Os conceitos em seu movimento dialético iriam sendo superados em um processo incessante de transformações do ser em não ser. No parágrafo 92, ele disse: *“A negação do ser é ainda diretamente idêntica ao ser, e esta negação é o que chamamos de fronteira. Somente em sua fronteira, e graças a ela, algo é o que é. Não se pode considerar a fronteira como algo externo ao ser; pelo contrário, ela penetra todo o ser. A compreensão da fronteira como apenas uma definição externa do ser se baseia numa confusão da fronteira qualitativa com a fronteira quantitativa”*. Em seguida, Hegel acrescenta que *“aproximando-se da fronteira, nota-se que ela contém contradição e conseqüentemente torna-se dialética, ou seja, a fronteira, por um lado, constitui a realidade do ser existente, por outro, ela representa sua negação”*.

As próprias leis Físicas e suas respectivas equações fornecem exemplos marcantes da importância das fronteiras. Podemos considerar os famosos problemas de contorno da Física matemática, ou as condições de fronteiras tão importantes para a solução dos problemas físicos. A tensão superficial e os fenômenos de reflexão e refração das ondas eletromagnéticas seriam outras manifestações da natureza dialética peculiar às fronteiras. Estamos, portanto, no domínio de uma dialética interminável, onde todo começo absoluto e todo fim absoluto carecem de sentido. Como corolário desta tese, temos uma rica dialética do relativo e do absoluto.

Tomemos por exemplo a equação dos gases ideais. Esta lei é válida dentro de determinadas condições. E mesmo assim ela é aproximativa. Ela é válida no limite, quando a pressão não é muito elevada e a temperatura não é muito baixa. No caso de pressões mais altas e temperaturas mais baixas, esta equação deverá ser substituída pela equação de van der Waals, que embora não

sendo absolutamente exata, já refletem aspectos da realidade Física que a equação dos gases ideais não pode levar em consideração.

O mesmo se aplica a outras leis da Física, algumas delas sendo bastante fundamentais. Exemplos clássicos são as leis de Newton para a atração gravitacional e a lei de Coulomb para a interação entre cargas pontuais. Neste caso, é o conceito de massas e cargas pontuais que tem um caráter aproximativo.

As leis da dialética e seu reflexo nos processos e fenômenos físicos

Mudanças quantitativas suscitam mudanças qualitativas e vice-versa. Qualquer alteração quantitativa provém de uma mudança qualitativa. Ao mesmo tempo, as mudanças quantitativas resultam em mudanças qualitativas. Esta é uma das importantes leis da dialética.

“Na natureza, todas as diferenças qualitativas se baseiam seja em uma composição química diferente ou em diferentes quantidades ou formas de movimento (energia) ou, coisa que acontece quase sempre, em ambas. Torna-se, portanto, impossível modificar a qualidade de um corpo, sem fornecer-lhe matéria ou movimento, isto é, sem provocar uma mudança quantitativa no corpo em questão” (ENGELS, 1976).

Tomemos novamente o exemplo da equação do estado de um gás ideal. Aumentemos a pressão deste gás ou baixemos sua temperatura dentro de determinados limites. A lei permanece válida. Mas, eis que é chegado um momento que nem mesmo o gás permanecerá mais sendo gás. Ele pode passar ao estado líquido. Mudanças quantitativas provocam uma mudança qualitativa. Transições de fases de primeira e de segunda espécie são exemplos de manifestações dialéticas da lei da mudança de quantidade em qualidade e vice-versa. Um exemplo típico de transição de fase de segunda espécie é a passagem de uma substância do estado paramagnético para o estado ferromagnético e vice-versa. O ferro à temperatura inferior a 770 C comporta-se como substância ferromagnética e acima deste ponto ele passa a ser uma substância paramagnética.

Na realidade, quando a temperatura é inferior a 770 C, o efeito ferromagnético coexiste com a energia térmica tendendo alterar a orientação espontânea dos momentos magnéticos atômicos do ferro. Acontece porém que, nesta unidade e luta dos opostos, o

efeito ferromagnético é predominante. O ponto crítico, também chamado *ponto de Curie*, representa um ponto nodal em que a quantidade se transforma em qualidade.

Erwin Marquit comenta que esta lei poderia ser vista como um caso particular da *lei da unidade e a luta dos opostos*. Esta lei mostra que a unidade é relativa. Há um equilíbrio relativo, um equilíbrio dinâmico, mas não um equilíbrio estático. Mesmo em se tratando de substâncias paramagnéticas, em que a magnetização é resultante da orientação dos dipolos magnéticos da substância, em presença de um campo externo; as propriedades paramagnéticas coexistem com os efeitos térmicos tendendo dificultar a orientação dos dipolos magnéticos. Há portanto uma espécie de unidade e luta dos contrários. Exemplo de unidade dialética de dois opostos é o par de categorias conhecidas como forma e conteúdo. Um núcleo recebe um nêutron adicional. O resultado dessa mudança quantitativa será um isótopo estável, um isótopo radioativo, ou será a quebra do núcleo via fissão nuclear. O que ocorre vai depender do modo como a forma vai se ajustar ao conteúdo quantitativamente modificado. Segundo Marquit, a lei da unidade e a luta dos opostos representa o papel principal na dialética materialista. Ela indica a importância da contradição como fonte do movimento. Consideremos o caso da fissão espontânea de um núcleo. Há uma analogia entre o núcleo e uma gota líquida carregada. Se a gota não for muito grande, a tensão superficial pode preponderar sobre as forças repulsivas entre as cargas e manter a gota inteira; porém há um certo tamanho máximo além do qual a gota será instável e fragmentar-se-à espontaneamente. A fissão espontânea estabelece um limte superior do tamanho de um núcleo e, portanto, do número de elementos que são possíveis (MARQUIT, 1996).

No tocante à questão da forma e do conteúdo, a Física nos fornece inúmeros exemplos da aplicação desta lei. Talvez um dos casos mais impressionantes e de consequências práticas importantes seja o chamado defeito de massa: a massa total de um núcleo atômico é menor que a massa da soma de seus constituintes. Outro exemplo poderia ser visto na questão do momento dipolar $\vec{p} = \alpha \vec{E}$, onde \vec{p} é o momento dipolar, \vec{E} o campo elétrico externo e α é a constante de polarização (polarizabilidade atômica), característica de cada substância. Esta relação linear entre \vec{p} e \vec{E} é válida para um grande número de substâncias,

que em ausência de campo externo seus átomos não são polarizados (ver PURCELL, op. cit. Cap. 9, 1980). Do ponto de vista macroscópico, a grandeza correspondente ao momento dipolar é o vetor de polarização $\vec{P} = \chi_e \vec{E}$. No sistema gaussiano, a relação entre χ_e e α é $\chi_e = N\alpha$, onde N é o número de átomos por unidade de volume. Para o átomo de hidrogênio, $\alpha_H = 0,66 \times 10^{-24} \text{cm}^3$, para o carbono, $\alpha_C = 1,5 \times 10^{-24} \text{cm}^3$, mas para a molécula de metano CH_4 , $\alpha = 2,6 \times 10^{-24} \text{cm}^3$. Portanto, menor que a soma dos momentos de cada átomo que entram na composição do metano. Esta não linearidade e ausência de aditividade em alguns processos físicos é um sinal das limitações das concepções mecânicas, representando assim uma manifestação de aspectos dialéticos das coisas.

É uma tendência marcante em toda Física, a passagem de uma abordagem mecanicista para uma visão mais ampla das questões. Deste modo, quando lidamos com um conjunto muito grande de elementos, com um número muito grande de partículas que compõem um corpo, entra em cena as leis estatísticas, que já não se reduzem às regularidades mecânicas. Neste caso, embora o movimento dos sistemas compostos de um número muito grande de partículas concorda com as leis da mecânica, análogo ao caso dos sistemas constituídos por um pequeno número de componentes, a presença de um número muito grande de componentes faz surgir novas regularidades, o que podemos interpretar como um salto dialético, de acordo com a lei da transformação da quantidade em qualidade.

Em outro artigo, Marquit argumenta sobre uma questão relacionada com a lei da unidade e a luta dos opostos, ao analisar aspectos da abordagem utilizada por Newton, em seu famoso livro, os *Principia*. Na opinião de Marquit, quando Newton, ao lado da força de inércia (vis insita), introduz também a chamada força imprimida, ele, fazendo uso da dialética dos fenômenos e da essência, estabeleceu a relação quantitativa entre a força de inércia e a massa, ao considerá-la como manifestação fenomenológica do atributo mais essencial de um corpo, que é a sua massa. Ele ressalta que a maioria dos comentadores falharam em perceber o aspecto dialético da questão (MARQUIT, 1990).

Por outro lado, Bitsakis (BITSAKIS, 1991), comentando sobre o significado da relação relativista entre massa e energia: $E = mc^2$, insiste que não se trata de uma relação de equivalência. No formalismo tridimen-

sional, ela representa uma relação de proporcionalidade entre dois atributos da matéria. A massa não é matéria. Ela é a medida de um atributo da matéria. A energia não é uma substância. Ela é a medida de outro atributo da matéria.

Tomemos a transformação $h\nu \rightarrow e^- + e^+$. Ela corresponde a uma transformação de uma partícula de massa de repouso nula, em duas partículas massivas, e não é, como às vezes se dizem, uma materialização da energia. A transformação inversa $e^- + e^+ \rightarrow h\nu$ não corresponde a uma desmaterialização da matéria, mas sim a uma transformação de duas partículas massivas em uma partícula de massa de repouso nula.

Neste contexto, Bitsakis propõe uma reformulação dos dois princípios clássicos de conservação: conservação da massa-matéria e conservação da energia. De acordo com a interpretação pré-relativista, estes dois princípios foram reduzidos pela relatividade a um único princípio. Bitsakis alega que esta interpretação tem a desvantagem de pressupor que tanto a massa quanto a energia são substâncias. Ele afirma que é possível reformular os dois princípios clássicos, sem fazer uso de quaisquer substâncias, mas fazendo uso das relações genéticas entre o potencial e o atual. De modo que durante a transformação de partículas massivas em não massivas, a massa atual torna-se potencial, enquanto a energia potencial torna-se atual. O inverso é verdadeiro para o caso da transformação de partículas não massivas em partículas massivas.

A massa total M_T deveria ser representada como uma soma de massa atual M_A e uma massa potencial $M_p = E/c^2$, ou seja,

$$M_T = M_A + E/c^2.$$

De modo análogo, a energia total deverá constituir de energia atual E_A e a energia potencial $E_p = m_0c^2$.

Consequentemente, os princípios de conservação da massa e da energia serão representados do seguinte modo:

1. Princípio de conservação da massa:

$$M_T = M_A + M_p.$$

2. Princípio de conservação da energia:

$$E_T = E_A + E_p.$$

Todos estes aspectos dialéticos puderam ser abordados no âmbito das duas leis já mencionadas. Entretanto, para uma melhor compreensão dos processos naturais (físicos, físico químicos, biológicos) ou de

caráter social e do desenvolvimento em geral, uma terceira lei se faz necessária. A terceira lei da dialética, a chamada *lei da negação da negação*, garante a universalidade do desenvolvimento e mostra como este desenvolvimento ocorre. Marquit chama atenção pelo fato de que, se (como resultado das mudanças qualitativas), a dominância de um oposto polar é transferida para um outro, a mudança é claramente caracterizada como negação. Neste caso, ele cita o exemplo da evolução de algumas estrelas. “*Em determinados tipos de estrelas, por exemplo, o depauperamento do combustível termonuclear ao longo de alguns bilhões de anos dá origem à dominância de forças gravitacionais, como resultado das estrelas passarem por um rápido colapso gravitacional, no qual os processos ou estruturas que poderiam ocorrer no estado anterior podem agora se desenvolver e levar à formação de uma estrela de um tipo inteiramente novo*” (MARQUIT, 1996, p. 62).

Conclusão

Tendo em vista o caráter informativo e introdutório deste artigo, pareceu ser conveniente não alargar muito o assunto da relação entre a Física e a dialética. Discutiu-se principalmente sobre a importância da lei da transformação da quantidade em qualidade e vice-versa e da lei da unidade e luta dos contrários, além de ter sido feita uma breve referência à lei da negação da negação. Trata-se portanto de alguns aspectos ontológicos da Física, se assim podemos expressar, sem medo de alargar a linguagem comumente utilizada nesta ciência. Sabemos, contudo, que uma corrente de pensamento, que já teve bastante influência na interpretação da Física e suas leis, não quer nem falar em ontologia, com receio de cair no campo da metafísica. Estamos nos referindo às várias escolas de tendências positivistas. Para elas, as leis Físicas nada mais são que instruções mais ou menos adequadas para o estudo dos fenômenos. Em resumo, segundo o ponto de vista positivista, a ciência se preocupa em descrever os fenômenos. Para os positivistas, a ciência não tem nada a ver com a essência das coisas. O caráter explicativo das leis Físicas é praticamente renegado a um segundo plano.

Por outro lado, um estudo mais aprofundado do papel da ontologia na abordagem das leis Físicas deveria levar em conta aspectos epistemológicos propriamente ditos. Neste contexto, importantes categorias da dialética materialista deveriam entrar em cena. Em

primeiro lugar, seria conveniente uma abordagem do papel da relação entre a indução e a dedução, entre a análise e a síntese e entre o absoluto e o relativo, para a gênese e desenvolvimento do conhecimento científico. No entanto, estas questões não foram abordadas no presente artigo.

Referências

1. E. Bitsakis, Mass, and Energy. A Relativistic Approach, *Found. Phys.*, v.21, n.1, p. 63-81, (1991).
2. F. Engels, *A dialética da natureza*, 2. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1976.
3. L. Geymonat, G. Giorello, *As Razões da Ciência: Coleção o Saber da Filosofia*, Lisboa: Edições 70, 1989.
4. E. Marquit, *Contradições na dialética e na lógica formal*, *Rev. Princípios*, n.43, p. 58-68, (1996). Trata-se de uma tradução do original publicado na revista *Science & Society*, 45.
5. E. Marquit, A plea for a correct translation of Newton's law of inertia, *Am. J. Phys.*, 58, 867 (1990).
6. E.M. Purcell, *Eletricidade e Magnetismo*, 3a. ed., São Paulo, Editora Edgard Blücher, 1980.