

# A Divisibilidade da Matéria e a Necessidade da Mecânica Quântica

Erasmus A. de Andrada e Silva

*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE*  
12227-010, C.P.515 São José dos Campos, São Paulo

Trabalho recebido em 10 de agosto de 1996

Esta nota pretende chamar a atenção de alunos e professores para o fato de que, entre os limites da física clássica e as necessidades de uma física nova, vale incluir o problema filosófico da divisibilidade da matéria. A solução deste problema confere à mecânica quântica uma base útil para a sua própria compreensão. Ela mostra uma outra face do conteúdo físico do princípio de incerteza, que permite definir de maneira absoluta o conceito de tamanho.

Boa parte dos livros texto de mecânica quântica começa com uma seção ou capítulo de introdução onde é apresentada a necessidade de uma nova teoria diante das dificuldades encontradas pela mecânica clássica (ver por exemplo as referências 1 a 5). A mecânica quântica teve origem na incapacidade da física clássica de explicar uma série de dados experimentais sobre o mundo atômico. A maneira natural de introduzir a nova teoria era mostrar com exatidão os limites de aplicação da física Newtoniana; que até então dirigia com muita firmeza a busca do conhecimento e o progresso científico.

Hoje, numa visão talvez menos pragmática, o termo “a necessidade da mecânica quântica” carrega principalmente a conotação de o senso ou a importância da mecânica quântica. As implicações filosóficas da teoria, que alimentam calorosas discussões acadêmicas já a quase um século, e a revolução que esta causou na física e na nossa visão de mundo são bem conhecidas. Para muitos porém a mecânica quântica representa ainda um mistério. Não é muito conhecido, por exemplo, o fato de a mecânica quântica ter dado uma resposta ao antigo problema filosófico da divisibilidade da matéria. O conhecimento de tal problema e de sua solução pode facilitar a compreensão da teoria e a assimilação de seus conceitos fundamentais como o do princípio de incerteza. A intenção desta nota chamar a atenção para este fato. Para isso procuraremos nos próximos parágrafos recordar o que é o problema da divisibilidade da matéria, ou

também conhecido como atomismo, e falar sobre como a mecânica quântica o resolve.

A física clássica, com base nas leis de Newton, descrevia (e descreve) com perfeição o movimento da matéria tanto de dimensões astronômicas quanto de dimensões humanas. Alguns bons resultados tinham também sido obtidos no mundo microscópico, aplicando as mesmas leis ao movimento das moléculas na teoria cinética dos gases. A mecânica clássica parecia ser independente da dimensão, ser invariante em relação à escala de tamanhos. Ela tinha um caráter de validade universal. Esta situação de fortes paradigmas estimulou o trabalho científico do século passado, que foi sem dúvida um período muito produtivo da ciência.

Para apreciar melhor todo este sucesso da física clássica vale lembrar que sempre existiu uma sutil interdependência entre a física ou ciência natural e a visão de mundo ou filosofia do mesmo período histórico. As idéias e os conceitos que nascem no processo de conhecimento da natureza formam a nossa visão de mundo, que por sua vez determina a nossa postura na busca de mais conhecimentos. A física clássica parecia ter atingido com muita coerência esta que poderíamos chamar de auto-consistência entre a física e a sua filosofia. Portanto as falhas da mecânica clássica em explicar o resultado de certas experiências na virada do século apontavam também para os limites da visão de mundo clássica.

Continuidade, determinismo e método analítico são

três dos conceitos chaves da filosofia clássica. Eles são interdependentes e fazem parte dos fundamentos da visão clássica. O método analítico no estudo da estrutura da matéria é o que chamamos de atomismo. Ele consiste na tese de que um objeto (ou corpo material) qualquer possa, ao menos em princípio, ser dividido em partes menores, independentes e interagentes, cuja análise permite a compreensão da natureza do objeto. Seria quase como confundir a natureza de um objeto com a sua composição. O atomismo implica também a crença na independência entre o objeto e o observador. Isto porque o método analítico assume a existência de processos contínuos que permitiriam em princípio reduzir continuamente os efeitos da observação até que, para todos os efeitos, objeto e observador se tornem independentes.

O processo de investigação da estrutura da matéria seria então sem fim. Técnicas experimentais sempre mais refinadas permitiriam o estudo das partes cada vez menores que revelaria partes ainda menores e assim por diante. Esta idéia de divisibilidade infinita da matéria era (e pode ainda ser) aceita com naturalidade apesar de representar um óbvio problema filosófico: se assim fosse, seria impossível atingir a meta proposta de conhecer a estrutura da matéria. Platão, por exemplo, havia tentado resolver o problema reduzindo os “átomos” a formas triangulares. A simplicidade matemática extrema do triângulo representaria o fim da divisibilidade.

Foi preciso esperar a mecânica quântica, considerada o evento filosoficamente mais importante desde o Renascimento, para resolver este problema. A solução deste problema representa um raro exemplo de negação empírica de uma grande tese filosófica sobre a estrutura da natureza. Vale lembrar que a mecânica quântica é uma (talvez a primeira) teoria física com base em dados experimentais sobre eventos fora do alcance direto da percepção humana (e isto explica um pouco do porque tamanha revolução no pensamento). A mecânica quântica resolve o problema da divisibilidade da matéria estabelecendo um sentido absoluto para o conceito, antes relativo, de tamanho e quebrando assim a cadeia infinita em que o pequeno explica o grande.

Aquilo que pode ser considerado *grande* ou *pequeno* vem intrinsecamente definido na mecânica quântica de acordo com o princípio de incerteza. Vários tex-

tos clássicos de introdução à mecânica quântica, que dão preferência a uma apresentação independente da evolução histórica, iniciam com uma discussão dos conceitos fundamentais começando pelo princípio de incerteza (ver por exemplo as referências 6 a 8). O princípio de incerteza foi enunciado ou descoberto por Heisenberg em 1927, depois de já ter desenvolvido a sua versão matricial da teoria. Ele mostrou que numa medida experimental de um par de grandezas físicas de um sistema atômico, representadas por operadores (ou matrizes) que não comutam, maior a precisão do resultado de uma, menor a do resultado da outra. Uma vez que, por exemplo, a posição e a velocidade não comutam, significa dizer que é impossível conhecer simultaneamente a posição e a velocidade de uma partícula microscópica. Este limite natural da nossa capacidade de observar o universo, que significa também a consciência da interdependência entre objeto e observador, tem inúmeras conseqüências como por exemplo a rejeição do caráter fundamental da idéia de trajetória no espaço-tempo, em que a física clássica se baseia, e a revisão de conceitos importantes como os de causalidade, indistinguibilidade e continuidade.

O interessante para nós aqui é no entanto entender como o princípio de incerteza representa também a chave para a solução do problema filosófico da divisibilidade da matéria. Podemos agora definir grande aquilo que podemos observar sem perturbar e pequeno aquilo que não pode ser observado sem ser sensivelmente perturbado (só a mecânica quântica consegue descrever o mundo pequeno). Esta definição concorda com o significado comum das palavras grande e pequeno, e deriva de um limite inferior para o tamanho das inevitáveis perturbações do ato de medida ou observação, imposto pelo aspecto quântico da natureza.

A necessidade de uma definição para o conceito de tamanho pode ser vista como o reconhecimento de que o homem observa o universo de um ponto de vista particular, que é o seu ponto de vista. É como se ele tivesse se situado dentro do universo; um pouco como durante o Renascimento, quando ele foi desviado em direção ao centro do universo. Este é sem dúvida um aspecto simples e importante da mecânica quântica mas pouco difuso.

Um dos poucos textos de mecânica quântica que fa-

lam sobre o assunto é o clássico livro de Dirac (ref. 9); que como outros clássicos é muito citado mas pouco lido e onde na página 3, nas suas próprias palavras, encontramos:

*“The necessity to depart from classical ideas when one wishes to account for the ultimate structure of matter may be seen, not only from experimentally established facts, but also from general philosophical grounds. In a classical explanation of the constitution of matter, one would assume it to be made up of a large number of small constituent parts and one would postulate laws for the behaviour of these parts, from which the laws of the matter in bulk could be deduced. This would not complete the explanation, however, since the question of the structure and stability of the constituent parts is left untouched. To go into this question, it becomes necessary to postulate that each constituent part is itself made up of smaller parts, in terms of which its behaviour is to be explained. There is clearly no end to this procedure, so that one can never arrive at the ultimate structure of matter on these lines. So long as big and small are merely relative concepts, it is no help to explain the big in terms of the small. It is therefore necessary to modify classical ideas in such a way as to give an absolute meaning to size.”*

Para concluir pode-se dizer que apesar do problema da divisibilidade da matéria não ser sempre desprezado ou esquecido nos livros de introdução à mecânica quântica (ref. 10, por exemplo) e certamente ter sido exaustivamente discutido na literatura filosófica, acreditamos que ele possa ser explorado ainda mais. Em particular na introdução dos conceitos fundamentais da física quântica. Ele, por exemplo, contribui para o valor ou conteúdo físico do princípio de incerteza de Heisen-

berg, que para alguns alunos no início do curso introdutório de mecânica quântica, pode parecer ter uma importância exagerada.

### Agradecimentos

Agradecemos a Professora G. Perigozzo por inúmeras discussões proveitosas, e o Dr. P. Nubile por uma leitura crítica do manuscrito.

### Referências

1. S-I. Tomonaga, *Quantum Mechanics* (North Holland, 1962).
2. A. Messiah, *Quantum Mechanics*, (North Holland, 1966).
3. L.I. Schiff, *Quantum Mechanics* (McGraw-Hill, 1965).
4. R.H. Dicke and J.P. Wittke, *Introduction to Quantum Mechanics* (Addison-Wesley, 1963).
5. S. Gasiorowicz, *Física Quântica* (Guanabara dois, 1979).
6. W. Pauli, *General Principles of Quantum Mechanics* (Spring-Verlag, 1980).
7. L.D. Landau and E.M. Lifshitz, *Quantum Mechanics* (Pergamon Press, 1958).
8. R.P. Feynman and A.R. Hibbs, *Quantum mechanics and path integrals*, (McGraw-Hill, 1965).
9. P.A.M. Dirac, *The Principles of Quantum Mechanics*, fourth edition (Oxford University Press, 1958).
10. L.V. Tarasov, *Basic Concepts of Quantum Mechanics* (MIR, 1980).