
REFLEXÕES SOBRE AS DIFICULDADES COGNITIVAS DOS PROFESSORES DE FÍSICA¹

A. Villani
Instituto de Física – USP
São Paulo – SP

Qualquer melhoria na formação do professor de física passa pela identificação, análise e tratamento das dificuldades conceituais e cognitivas mais importantes que ele encontra durante o exercício de sua profissão. O presente trabalho espera contribuir para o levantamento dessas dificuldades, para que os próprios professores possam reconhecê-las e conseqüentemente nelas focalizar os esforços de sua atualização. Além disso esperamos poder influenciar os planejamentos dos cursos de atualização, pois estamos convencidos de que as probabilidades de sucesso das atividades pro movidas serão maiores se for incentivada a clareza dos objetivos específicos visados.

I. Ciência versus senso comum

Parece-nos que uma das fontes fundamentais das dificuldades cognitivas do professor em relação à Física consiste no seu desconhecimento das diferenças que existem entre a maneira de analisar os fenômenos físicos por parte da ciência que ele pretende ensinar, e a visão de senso comum, que os estudantes trazem como herança do conhecimento adquirido anteriormente.

Tais diferenças são facilmente localizáveis quando dizem respeito às variáveis significativas de um determinado fenômeno. Por exemplo, o senso comum espera que qualquer perturbação provocada por uma pressão adicional sobre o prato de uma balança altere a leitura da mesma. Entretanto a Física ensina que, quando a perturbação tiver origem a partir de forças internas ao sistema corpo balança, tal leitura não se altera. Para o senso comum, calor e frio são variáveis opostas e distintas, para a Física, as variáveis significativas nos fenômenos

¹ Com auxílio parcial do CNPq.

térmicos são temperatura e calor. Para o senso comum, força e movimento são de tal modo vinculados que se espera sempre encontrar uma força na direção do movimento; mas, para a Física, a força está ligada somente à variação de velocidade.

Os exemplos poderiam ser multiplicados, mas nosso interesse é salientar que as diferenças entre a Ciência e o senso comum abrangem também, e talvez principalmente, seus tipos de raciocínio, seus métodos de conhecimento e suas finalidades.

O conhecimento científico parte do pressuposto que a natureza obedece a leis universais e tenta alcançá-las de mil formas diferentes mediante o aprimoramento e a modificação de suas teorias e de seus experimentos. Ao contrário o conhecimento de senso comum é essencialmente prático, no sentido de privilegiar a solução imediata de seus problemas, e restrito a situações locais sem se preocupar demasiadamente com a possibilidade de sua generalização, ou com a coerência entre suas soluções atuais e anteriores, ou com as implicações futuras.

A História da Ciência, e particularmente da Física, está repleta de eventos que têm sentido somente na perspectiva geral delineada acima. Michelson e Morley dedicaram vários anos de suas vidas à tentativa de aumentar a precisão de um décimo para um centésimo de franja nas medidas feitas mediante o interferômetro, pois queriam descobrir o valor da velocidade da Terra em relação ao éter. Tal medida era importante para dar maior consistência ao modelo de ondas eletromagnéticas que exigia o suporte material do éter. Os físicos teóricos atuais testam hipóteses arrojadas, como a existência de uma grande explosão no início do universo, elaboram modelos complicadíssimos, como o da composição das partículas mediante “quarks inseparáveis” e “grude invisível”, e procuram unificar a interpretação de inúmeros resultados. No dia a dia de sua atividade procuram deduzir conseqüências rigorosas de suas teorias, mesmo que elas se apresentem contrárias às expectativas e para testá-las, aperfeiçoam suas análises estatísticas, aumentando assustadoramente o número de eventos a serem produzidos. Enfim, acreditam em suas teorias e em seus experimentos, e por isso vivem resolvendo problemas teóricos e empíricos.

Ao contrário, a sabedoria do senso comum está funda da na crença que a vida é tão complexa e variada que é impossível encontrar uma regra universal para as escolhas quotidianas a serem feitas e para as ações a serem executadas. Sua filosofia é manifestada por ditados populares às vezes contraditórios, mas na realidade adequados a situações complexas diferentes. As pressões do dia a dia tornam as circunstâncias dificilmente analisáveis mediante um único modelo, e a eventual elaboração de um tal modelo é considerada um luxo possível somente

para quem tem o dia inteiro para pensar e estudar. Enfim, o lema do senso comum é: “cada caso é um caso particular”; seu método é confiar na intuição.

Além disso, a Física utiliza uma linguagem precisa, abstrata e formal, a matemática, cuja utilização torna possível a dedução de conseqüências e a elaboração de previsões precisas. Ao contrário, o senso comum utiliza geralmente uma linguagem concreta diretamente ligada aos acontecimentos aos quais se refere; por outro lado, seus termos são pouco precisos e ambíguos, porque devem se referir e se adaptar a inúmeras situações concretas.

A falta de distinção entre estes dois modos de conhecimento introduz, para o professor, dificuldades nos conceitos, nos modos de raciocínios e nas estratégias cognitivas utilizadas na elaboração do conhecimento acreditado.

1) As dificuldades a nível conceitual aparecem algumas vezes sob forma de transferência acrítica de relações do senso comum para a ciência. Por exemplo, na vida quotidiana o movimento em relação à Terra é considerado como o único realmente significativo, e normalmente é associado a existência de algum motor. Tal concepção, na maioria dos casos, é transferida para a cinemática e a dinâmica, levando à distinção não-científica de movimentos “reais” e movimentos “aparentes”.

Outras vezes o problema está no tipo de aceitação das leis ou dos princípios científicos. Por exemplo, o princípio de ação e reação é facilmente entendido quando se refere a situações de equilíbrio, mas é extremamente difícil de ser aceito nos casos nos quais existe uma transferência de movimento de um corpo para um outro. Como pensar que um caminhão que bate num fusca parado exerce sobre o fusca a mesma força deste sobre o caminhão? Analogamente, o princípio da continuidade da corrente num circuito simples de geradores e resistores não apresenta problemas, mas a introdução de correntes alternadas e elementos auto-indutivos no circuito torna o princípio citado acima bem mais difícil de ser entendido e aceito por muitos professores.

A dificuldade pode estar também no mapeamento e na articulação do conhecimento científico, no qual é preciso distinguir os pontos essenciais e os secundários. Na aprendizagem da lei de inércia o professor tem normalmente bem clara a relação entre esta e a segunda lei de Newton (alguns até reduzem a primeira a um mero caso especial da segunda), mas sua conexão essencial com os referenciais inerciais, que definem o campo de aplicabilidade de todas as leis gerais, e com a terceira lei de Newton, que define a natureza bilateral das interações físicas, representam domínios pouco explorados. Como conseqüência as fórmulas ou as relações são de domínio do professor, mas as dificuldades estão no seu uso sistemático e dedutivo. Assim como conjuntos fechados de relações não

constituem instrumentos de análise usuais do senso comum, também mapas conceituais com as séries de inter-relações que caracterizam a dinâmica newtoniana não constituem instrumentos de trabalho usuais do professor de Física.

2) Um segundo tipo de dificuldade depende da utilização explícita ou implícita de modos de raciocínio espontâneo, que independem do conteúdo e são simplificadores. Estamos nos referindo principalmente ao raciocínio direto, ao raciocínio monoconceitual e ao raciocínio causal linear.

O raciocínio direto consiste na tendência de avaliar as grandezas significativas diretamente das fórmulas que as definem, evitando outros tipos de considerações indiretas, como olhar para a existência de simetrias ou de efeitos, que possam fornecer informações a respeito delas. Por exemplo, as vezes o professor deve calcular a energia cinética de um corpo sem que lhe seja possível conhecer diretamente qual sua massa e velocidade; ao invés de procurar chegar indiretamente ao resultado através de princípios de conservação ou de teoremas conhecidos, o professor fica bloqueado na tentativa de determinar as variáveis em questão, produzindo conjecturas em circulo vicioso. O apego ao raciocínio direto, que geralmente é o mais simples e o mais econômico, impede-lhe de ter uma visão mais ampla da situação, e de resolver o problema. Economizar raciocínios geralmente significa economizar esforços, mas as vezes pode custar caro a ponto de impedir que se alcance o resultado desejado!

O raciocínio monoconceitual consiste na economia de variáveis significativas; supõe-se a priori que somente uma delas influa nos resultados ou que somente uma varie durante o fenômeno, mesmo que isso esteja em contradição com outras informações disponíveis. Por exemplo, ao analisar o choque frontal elástico de um puck contra um alvo parado numa mesa de ar muitos professores tentam explicar o resultado aplicando unicamente o princípio da conservação da quantidade de movimento, sem perceber que qualquer choque, mesmo inelástico, obedece a tal princípio e que, portanto, ele deve ser complementado com outro vínculo. Analogamente, ao confrontar dois choques elásticos entre dois corpos de massas diferentes nos quais o corpo de massa maior uma vez é o projétil e outra vez é o alvo, a grande maioria dos professores entrevistados, numa pesquisa por nós realizada, pensava que o impulso maior era dado quando o projétil era constituído pelo corpo maior. Implicitamente considerava-se que a massa do alvo não tivesse influência na transferência de quantidade de movimento, ou que ela ficasse invariante. Parece que trabalhar com variações múltiplas e com possíveis compensações se choca com tendências simplificadoras do senso comum.

O raciocínio causal linear consiste na linearização temporal dos efeitos de perturbações num sistema físico, com total desconhecimento do feedback, do equilíbrio e dos vínculos existentes. Por exemplo, para representar a interação entre um projétil e um alvo imagina-se, para simplificar, que primeiro o projétil é freado e depois o alvo é acelerado, desprezando a reciprocidade das ações; isso tem tornado difícil, para vários professores, aceitar que a máxima interação entre os corpos se realiza no instante em que as velocidades são idênticas. Analogamente, para entender o que acontece quando se modifica um capacitor num circuito imagina-se que primeiro a corrente se modifique na parte posterior do circuito e depois naquela anterior; isso também tem dificultado a aceitação do princípio da continuidade da corrente durante a fase transitória.

A característica destes tipos de raciocínio (principalmente os dois últimos) é o seu poder simplificador e a possibilidade que eles oferecem de proporcionar soluções qualitativas à problemas complexos. Professores de segundo e terceiro grau e até livros textos os utilizam, chegando às vezes a resultados corretos. O ponto mais delicado é que as simplificações não são explicitadas, nem é discutido porque elas levam a resultados corretos apesar de serem formalmente inadequadas. O resultado final é uma assimilação acrítica destes tipos de raciocínio.

3) Finalmente um terceiro tipo de dificuldade do professor, ainda mais freqüente na análise científica dos fenômenos, refere-se às estratégias cognitivas e consiste no uso variável dos princípios dependendo das conseqüências; quando estas últimas parecem contradizer as expectativas do professor a utilização dos princípios é suspensa, da mesma forma como no senso comum cada caso pode sempre representar uma exceção. O caso da continuidade da corrente citado anteriormente é um exemplo de substituição de um princípio quando conflita com um modo de raciocínio. O abandono das regras de transformação galileana das trajetórias nas mudanças de sistema de referencia e um outro exemplo freqüentemente encontrado: quando o efeito das transformações é inverter o sentido inicial do movimento, muitos professores preferem apelar para outras regras, em geral inventadas na hora, em lugar de questionar suas expectativas. O princípio de conservação da quantidade de movimento é bem conhecido, mas quando ele leva a conclusões inesperadas, prefere-se trocá-lo por outro vínculo, como a conservação da “velocidade” ou confundi-lo com a conservação da energia cinética.

II. Resolução de problemas

Uma outra fonte de dificuldades localiza-se na resolução de problemas. Os obstáculos que o professor encontra podem ser no começo, no meio ou no fim desta atividade.

Durante a fase de esquematização do problema o professor pode ter dificuldades em delinear as características relevantes do fenômeno analisado, que podem ser traduzidas em fases relevantes ou em variáveis relevantes; mas pode acontecer também de não conseguir encontrar quais são os princípios ou as relações significativas no caso. Um exemplo interessante pode ser encontrado no estudo das colisões. Sua esquematização consiste na definição de três fases significativas referentes ao estado do sistema: antes, durante e depois da interação. Em particular, a primeira e a terceira fases podem ser vinculadas pelas relações de conservação da energia cinética e da quantidade de movimento total. Mas a tendência espontânea é esquematizar a colisão em duas fases lógicas ou, como já vimos, até temporais: a ação do projétil ou dos projéteis e os efeitos desta ação. De fato esta última esquematização parece minar a capacidade do professor em resolver problemas, pois ele não consegue esboçar um modelo aproximado da interação e utilizar a invariância das forças em jogo (princípio de ação e reação). É nesta situação de conflito entre tendência espontânea e uso dos princípios da disciplina, que aparece a fraqueza destes últimos e a pouca confiança que alguns professores depositam neles.

Durante a fase de resolução o professor pode ser incapaz de introduzir as simplificações que tornam o problema efetivamente manipulável. Raciocínios por simetria, conclusões por absurdo, alterações do ponto de vista ou do sistema de referência são recursos gerais pouco familiares para o professor, mas muitas vezes indispensáveis para um tratamento eficaz dos problemas. Por exemplo, no caso do confronto entre as colisões de dois corpos de massas diferentes, muitas informações podem ser deduzidas mudando-se de sistema de referência e explorando, como já acenamos, a simetria da interação. Do mesmo modo a análise do movimento de um objeto lançado por um outro já em movimento uniforme em relação ao laboratório pode ser enormemente simplificada usando o mesmo artifício.

Finalmente, a dificuldade pode advir da própria incapacidade de articular os instrumentos de resolução. O professor conhece os princípios e as relações que devem ser utilizados, mas desconhece a complementaridade dos vínculos que os princípios impõem, conseqüentemente ele perde a capacidade de explorar suas conseqüências. Por exemplo, o professor conhece os princípios de

conservação da energia e da quantidade de movimento, mas parece tentado a resolver os problemas aplicando somente um deles. Inclusive nos casos nos quais ele chega a conclusões utilizando de forma explícita um único princípio, ele não percebe que, de fato, as condições de contorno impuseram implicitamente também a concordância com o outro princípio. Assim sendo, ao resolver situações experimentais mediante a segunda lei de Newton alguns professores não percebem que de fato eles já usaram a lei de inércia para identificar o sistema de referência inercial, e conseqüentemente não podem considerar em geral a primeira lei simplesmente como um caso particular da segunda.

III. Conclusões

Provavelmente muitas outras dificuldades perturbam a capacidade do professor em lidar com o conteúdo que ele pretende ensinar; nossa tarefa em relação a elas parece ser dúplice.

Em primeiro lugar, é urgente detectar o maior número possível dessas dificuldades e circunstanciar as ocasiões preferenciais nas quais se manifestam. E para tanto um instrumento importante é a exploração atenta das discussões nas quais os professores se expressam com maior liberdade e a utilização freqüente de entrevistas individuais, que têm a vantagem de atender às exigências pessoais dos candidatos e de manifestar seqüências longas de raciocínios.

Em segundo lugar, é preciso considerar essas dificuldades como minas vagantes: se elas não forem pelo menos localizadas pelo professor e possivelmente detonadas, irão perturbar qualquer trabalho de atualização. Conseqüentemente devem ser objeto direto de análise e de reflexão situações que propiciem seu aparecimento e possivelmente sua sistematização. A prova mais contundente do poder de resistência destas dificuldades é a presença sistemática de idéias, modos de raciocínio e tendências de resolução de problemas não somente em discussões com professores de primeiro e segundo grau, mas também com estudantes de pós-graduação e pesquisadores cuja familiaridade com o conhecimento disciplinar está fora de qualquer dúvida.

O objetivo principal que esperamos ter atingido com este trabalho é mostrar que, para o professor, a tarefa de atualizar seu conhecimento é complexa e cheia de articulações, não sendo então possível fornecer as receitas, talvez nem mesmo as dicas principais, para enfrentar tal desafio. Estamos convencidos que as dificuldades que os professores enfrentam ao exercer sua profissão e ao tentar se manterem atualizados, merecem ser pesquisa das dentro e fora das universidades e

dos centros de pesquisa, pois de seus resultados dependem contribuições significativas para a solução do impasse do atual ensino de Ciências no Brasil.