

15 – ENSINO DE FUNDAMENTAÇÃO DE MODELOS FÍSICOS

MARTINS, Roberto de Andrade – Departamento de Física – Universidade Estadual de Londrina – PR

Com o objetivo de desenvolver em alunos universitários um espírito crítico em relação a modelos físicos, foi criado um material didático auto-instrutivo, destinados a 30 horas de estudo. Utilizou-se como assunto de estudo os modelos atômicos clássicos, de átomos indivisíveis, por ser este tipo de modelo o que exige menor número de pré-requisitos. Cada afirmação do modelo era comparada com outras possibilidades, examinava-se fatos experimentais que pudessem indicar qual das alternativas é mais válida; e eram então fornecidos descrições ou dados experimentais a partir dos quais o estudante pudesse tomar uma decisão. Por motivos práticos, o estudo não incluía trabalho de laboratório, diretamente.

O estudo era limitado a características qualitativas e semi-quantitativas dos modelos-isto é, previa-se, por meio dos modelos, se uma certa grandeza teria uma relação crescente ou decrescente com outra grandeza; mas não se previa a equação que relaciona as grandezas.

Aplicou-se este material a 50 alunos de um curso de Licenciatura em Ciências da Universidade Estadual de Londrina, obtendo-se bons resultados em termos de motivação e aproveitamento.

Considera-se inovador o enfoque utilizado ao estudo de modelos, pela introdução de comparações e críticas de alternativas mutuamente exclusivas; em cursos tradicionais nos quais se dá ênfase a modelos, procura-se quase que exclusivamente apresentar provas de validade do modelo comumente aceito.

Nos cursos de Física dá-se grande ênfase ao estudo de modelos, em algumas disciplinas, como Estrutura da Matéria.

É no entanto muito limitado o objetivo desejado, na maior parte das vezes: limita-se ao ensino do modelo atualmente aceito - muitas vezes citando-se os modelos antigos ou alternativos apenas para mostrar que são absurdos; e cita-se algumas experiências comprobatórias do modelo, que muitas vezes não são realmente comprobatórias; dificilmente se cita dificuldades existentes nos modelos comumente aceitos.

O estudante não costuma adquirir um bom conhecimento nem da metodologia de trabalho com modelos físicos, nem da situação real dos modelos referentes a um determinado grupo de fenômenos: não obtém uma compreensão da relação profunda entre experiência e modelos, nem se torna ciente das possíveis modificações que alguns modelos importantes terão que sofrer, futuramente. Assim, o aluno passa a aceitar o modelo que lhe foi ensinado como algo indubitável, e, se lhe for citada uma experiência capaz de desmentir aquele modelo, ele se recusará ou a aceitar a experiência, ou a aceitar que a experiência contraria o modelo. O julgamento ou comparação de modelos deixa de ser uma atividade científica, e passa a ter um grande conteúdo emocional - torna-se quase uma "questão de honra" defender o modelo aprendido, e em que o aluno tem uma convicção inabalável.

O cientista deve ser capaz de descrever detalhadamente os modelos aceitos comumente, e de utilizá-los para fazer previsões ou explicar fenômenos; mas, além disso, deve conhecer sua fundamentação e seus limites. O modelo só tem real valor científico quando se correlaciona suas hipóteses a dados experimentais, de um modo tão rigoroso quanto permitem os modelos. Deve-se conhecer não só as experiências que são capazes de confirmá-lo (ou que o confirmaram) mas também as experiências que poderiam desmentí-lo; saber em que campo ele pode ser legitimamente aplicado, e em que campo sua aplicação é extrapolada. Como, em cursos comuns de Estrutura da Matéria, o professor pode ter muita pressa em chegar às equações, pode passar por cima de todos esses aspectos, e desenvolver apenas o aspecto mais mecânico da aplicação dos modelos estudados.

Antes de prosseguir, é importante esclarecer o tipo de modelos a que nos referimos, pois alguém poderia objetar: "há modelos puramente matemáticos". Isso que muitos chamam de modelos matemáticos são teorias axiomáticas, e não modelos. Modelo, no sentido aqui utilizado, é algo possível de descrição qualitativa (pelo menos em linhas gerais) e passível de ser imaginado. Inclui-se portanto aí algo como o modelo ondulatório da luz, modelo do éter, modelo dos fótons virtuais, etc.

Embora a falta de compreensão dos modelos físicos já nos tivesse chamado a atenção desde nossa época de estudante, ela só se tornou realmente um problema prático quatro anos atrás, ao lecionar Química no curso secundário. Os alunos não conheciam a natureza real do modelo atômico: acreditavam que os átomos eram observáveis, e sua existência tinha sido estabelecida de modo direto e irrefutável; os desenhos mais elaborados de orbitais e núcleos atômicos, existentes nos livros-texto, eram considerados como fotografias realmente tiradas do interior do átomo alguns alunos ainda afirmavam categoricamente: fotografado com um microscópio eletrônico - pois isso lhes havia sido contado pelo professor anterior). Foi um choque para esses alunos saber que nada disso era verdade. Alguns perderam toda a confiança no novo professor, e só a recuperaram depois de várias semanas.

Mas não bastava destruir ilusões: para que os estudantes não passassem ao polo oposto, de incredulidade total, era preciso explicar-lhes como se pode falar tanto sobre algo que não pode ser observado diretamente. Empreendemos então nossa primeira tentativa de justificar, de modo simples e qualitativo, as suposições do modelo atômico clássico. Compreendemos por esse nome o modelo em que o átomo é concebido como indivisível - incluindo o estudo das leis ponderais das reações químicas, idéias sobre mudanças de estado, teoria cinética da matéria, conceito de molécula, etc. Foi desenvolvido um material para estudo dirigido, em nível qualitativo (sem equações e cálculos).

Mas tarde, na Universidade Estadual de Londrina, a

mesma idéia foi desenvolvida sob a forma de um material auto-instrutivo mais extenso e detalhado, e que pode ser estudado por um calouro médio do curso universitário em cerca de 30 horas de trabalho - preferivelmente, utilizando-se estudo em grupos.

Desejávamos que os alunos sentissem a precariedade dos modelos: compreendessem que estes, ao contrário das teorias axiomáticas de origem empírica, não são acumulativos. Um modelo pode sofrer transformações profundas, em suas próprias bases, pelo acúmulo de dados experimentais que já não se consegue explicar e prever adequadamente com seu auxílio.

Ao mesmo tempo, precisam compreender que os modelos não são construções mentais arbitrárias, mas que procuram representar simbolicamente as relações observadas na natureza. A importância dos modelos não se baseia em uma convenção aceita por todos os físicos, nem na beleza ou simplicidade do modelo (embora esses sejam critérios secundários), mas em sua capacidade explicativa e previsiva. Os entes utilizados nos modelos (átomos, elétrons, fótons, etc) são construções mentais, e nunca se poderá responder de modo universalmente satisfatório a uma pergunta do tipo: "existem elétrons?" ou "existem fótons?"; mas pode-se especificar uma série de fenômenos que se enquadram no modelo eletrônico da condução de correntes elétricas nos metais, etc. Dizer, por exemplo, que o estudo do movimento browniano "provou" a existência de átomos, é uma proposição incorreta.

Cada modelo tem um grande número de detalhes, pois pode ser dividido em muitas proposições independentes: os elétrons são entes dotados de carga elétrica negativa; a carga elétrica de todos eles é igual, invariável; todos eles possuem a mesma massa de repouso; são os constituintes da radiação beta emitida por materiais radioativos; são os responsáveis pela condução elétrica nos metais; fazem parte da constituição de todos os átomos; etc. Para se compreender bem o modelo eletrônico é necessário conhecer os fatos experimentais relacionados a cada uma desses proposições. Ao estudar-se a evolução de um modelo, seria preciso

que cada nova hipótese fosse justificada experimentalmente, e que, além disso, se fizesse previsões com o uso dos modelos, e que essas previsões fossem comparadas com a experiência. Isso não costuma ser feito nem no ensino nem na pesquisa científica. Depois que as pessoas estão convencidas de uma parte de um modelo, extrapolam sua confiança a todos os outros detalhes do mesmo modelo.

Mas, além de conhecer as justificativas experimentais das proposições de um modelo, os estudantes devem ser capazes de verificar se um novo fenômeno está de acordo com o modelo ou não; e ser capazes de negar um modelo lenta e trabalhosamente construído, sempre que necessário; não se prender ao passado.

Deveriam verificar que cada fenômeno, isoladamente, é passível de inúmeros modelos diferentes; e ser capaz de escolher cientificamente o modelo mais conveniente.

Além de admitir a modificação dos modelos, é desejável, em estudantes que se dirijam a uma carreira científica, que eles até mesmo se habituem a duvidar dos modelos (não gratuitamente; mas justificadamente). Isso é difícil; e cria grande insegurança entre alunos. Não se deseja aqui desenvolver o ceticismo - a idéia de que nada se sabe, e que os modelos não possuem valor algum - mas um espírito científico crítico. Deseja-se simplesmente aplicar a idéia de que, embora nunca se possa provar que um modelo está correto, pode-se muitas vezes provar que ele está incorreto - e que isso é um tipo de importante contribuição científica.

Tudo isso, é claro, são idéias interessantes; mas não é muito fácil transformar essas idéias em um curso que não seja apenas um estudo filosófico, mas algo bem próximo à atividade do cientista. O material que foi desenvolvido é extremamente limitado - tanto em conteúdo científico informativo, quanto pelas capacidades desenvolvidas - e era apenas a parte inicial de um projeto muito mais ambicioso - tão ambicioso, que nem vale a pena descrevê-lo. Apesar dessas limitações, parece-nos um bom começo.

O material auto-instrutivo era constituído por ele-

mentos de duas grandes classes: blocos de informações e séries de questões. Os blocos de informações eram pequenos textos (dez linhas, em média) ou tabelas. Ao todo, havia cerca de 50 desses blocos. Após cada um deles, era fornecida uma série de questões. As primeiras eram simplesmente proposições que o aluno deveria julgar (dizer se são corretas ou não) com base nos textos anteriores. Após cada questão era fornecida uma explicação detalhada de sua resposta, a fim de que o aluno não só verificasse se acertou ou errou, mas também verificasse se o raciocínio que utilizara estava correto ou não. Embora a forma dessas questões se mantivesse na maior parte do material, a complexidade das operações mentais exigidas crescia rapidamente, passando de simples interpretação de textos a atividades de julgamento de modelos. Na parte final do material, utilizava-se gráficos e cálculos simples. Ia-se portanto modificando o enfoque dado ao estudo de modelos: desde modelos totalmente qualitativos, a raciocínios semi-quantitativos (em que se procurava estudar se duas grandezas deveriam estar relacionadas, e se a relação deveria ser crescente ou decrescente) até um princípio de uso de modelos quantitativos. Na fase semi-quantitativa procurava-se também comparar características de átomos de diferentes elementos (indicar, por exemplo, se a massa de um certo elemento deve ser maior ou menor do que a de um outro) e na quantitativa, avaliar aproximadamente as relações entre essas características.

As 261 questões do material auto-instrutivo dividiam-se em 14 partes, que podem ser descritas aproximadamente da seguinte forma:

- I- Conceito de átomo e de modelo
- II- Existência de um limite na divisibilidade da matéria
- III- Os átomos não possuem cores
- IV- O tamanho dos átomos é invariável
- V- Espaços vazios entre os átomos; gases
- VI- Movimentos atômicos e expansibilidade dos gases
- VII- Difusão e movimento browniano
- VIII- Existem átomos de diferentes tipos

- IX- Os átomos se atraem; fusão, ruptura, dureza
- X- Tensão superficial e dilatação dos corpos
- XI- Massa e volume dos átomos, e densidade
- XII- Tamanhos dos átomos dos metais - ligas
- XIII- Velocidades moleculares nos gases
- XIV- Princípio de Avogadro; massas moleculares

É inútil tentar descrever mais detalhadamente o material desenvolvido; é muito mais fácil compreendê-lo examinando o próprio material didático do que através de uma descrição de suas próprias características. Todos os interessados poderão obter uma cópia do "Modelo atômico-clássico" para exame. Mas é preciso advertir sobre o modo como esse material deve ser examinado.

Como já foi citado, um aluno médio necessita de 30 horas de trabalho para estudar as 14 partes, corretamente. Durante uma boa parte desse tempo, ele se torna confuso, tenso, intrigado e espantado. Não se pode avaliar o material corretamente sem observar alunos utilizando-o. A simples leitura dos textos, questões e respostas não dá uma boa idéia sobre o efeito que o material produz nos alunos.

O material didático utilizado não incluía laboratório nem audio-visuais. Essa foi uma importante falha, em um aspecto: nem sempre os alunos compreendiam corretamente as experiências descritas nem tinham um conceito concreto sobre as grandezas citadas. Não havia no entanto possibilidade de desenvolvimento de material experimental. Pelo objetivo do estudo, a melhor solução seria o desenvolvimento de uma série de "loops" ilustrativos; pois o objetivo não era que os alunos obtivessem generalizações experimentais, ou leis empíricas; mas que as usassem no estudo de modelos. Embora um contato direto com aparelhos seja sempre desejável, não era absolutamente necessário, neste caso.