

F₂ - ELABORAÇÃO DE UM TEXTO - MOMENTO ANGULAR

VILANI, A., CUPERTINO, A. L. M., RADDI, A. M. G., PIMENTEL, F. J. F., SUYAMA, J. A., DUARTE, J. L. M., VIANA, S. S., SALÉM, S., SOARES, V. L. L. e HOSOUME, Y. Grupo do Curso Personalizado do IFUSP.

O Curso Personalizado do primeiro ano de Física Básica, no IFUSP, em 1975, incluiu na sua programação a preparação de textos. Estes textos surgiram da necessidade de sermos coerentes com os objetivos propostos para o curso e porque não encontramos texto algum pronto que estivesse de acordo com os nossos objetivos.

Vamos apresentar um exemplo desta faceta do nosso trabalho com o objetivo de ilustrar a própria elaboração do texto a partir da necessidade constatada. Os textos tentam seguir a estrutura: previsão, análise qualitativa, análise quantitativa e verificação da consistência dos resultados. Esta estrutura é a expressão de uma cadeia de comportamentos que acreditamos ser um bom caminho para que o aluno aprenda a resolver problemas em Física. Queremos não só possibilitar ao aluno a compreensão dos conceitos físicos mas também desenvolver o comportamento da análise. Escolhemos os textos de momento angular e sistema de partículas pois eles foram apresentados aos alunos e já foram reformulados com base nas sugestões dos alunos, professores e monitores.

Temos consciência de que estes textos podem responder às necessidades de um curso que adota objetivos comportamentais semelhantes aos que citamos. Mas acrescentamos uma pergunta: Será válido como uma proposta de ensino do conceito de momento angular e conceito relacionados, em qualquer curso? Seja qual for a linha adotada?

Durante o ano de 1975, foi proposto, para duas turmas de Física básica da USP, um curso piloto de Física 1 e 2. Este curso tinha como objetivo fundamental desenvolver no aluno o comportamento de resolver problemas em Física. Parece-nos que, tradicionalmente, nos cursos básicos, é dado muito enfoque à parte de conhecimento informativo, e pouco à parte de formação de hábitos de pesquisa que caracterizam a atividade de um físico.

O comportamento de resolver problemas em Física implica, evidentemente, em toda uma cadeia de comportamentos tais como previsão, análise qualitativa, resolução quantitativa e verificação da consistência dos resultados. Implícito nesse programa, estava a idéia geral de que o processo que um físico desenvolve, ao resolver um problema de Física, é um contínuo esforço para simplificar e aproximar as situações, a fim de conseguir resultados cada vez melhores.

O curso foi ministrado através do método Programado Individualizado (C.P.I.), com o qual achamos ser mais fácil obter controle do desempenho de cada aluno e, em particular, dos comportamentos por nós visados.

Um dos problemas mais importantes que enfrentamos durante o curso foi o da elaboração de textos que contivessem aquela idéia geral e que, simultaneamente, desenvolvessem no aluno a seqüência de comportamentos proposta. Infelizmente, nenhum dos textos de Física básica conhecidos (Halliday, Alonso, Berkeley, Feynman, Ingard) foi escrito com essa finalidade.

Apesar da forte relutância inicial, fomos obrigados, a partir do segundo semestre, a escrever praticamente todos os textos, a fim de que o aluno, aos poucos, tomasse consciência do que é enfrentar um problema de Física e resolvê-lo através de simplificações e aproximações sucessivas.

Pretendemos, com este trabalho, ilustrar um processo de elaboração de um texto, quando se tem em mente certos objetivos.

O texto que apresentamos - momento angular de uma partícula e sistema de partículas - foi escolhido por vários motivos. Em primeiro lugar, por ser o único que até agora sofreu um processo de revisões sucessivas, ou seja, após ter sido apresentado aos alunos foi re-discutido e reformulado várias vezes com base nas críticas por eles formuladas. Em segundo lugar, pelo seu conteúdo que é o que apresenta maiores dificuldades conceituais e o que menos se presta para ser incorporado à intuição física do aluno. Em terceiro lugar, porque é um texto de introdução e desenvolvimento de um conteúdo teórico novo, a partir do qual vão se desenvolvendo novos conceitos e idéias.

Passaremos agora a descrever os aspectos relevantes do texto.

CARACTERIZAÇÃO DO TEXTO

Objetivos

O texto foi escrito com a finalidade de concluir o estudo da dinâmica de uma partícula, introduzindo o conceito de momento angular com a respectiva lei de conservação e desenvolver um estudo sobre um sistema de partículas.

Pretendíamos que o texto levasse o aluno a desenvolver o espírito crítico e a sentir a necessidade de novas grandezas físicas e de simplificações.

Pré-requisitos

O nosso texto, por ter sido introduzido no início do segundo semestre, supõe que o aluno tenha vários conhecimentos de Física e Matemática, os mais importantes dos quais são:

De Física - conceito de grandeza escalar e vetorial, quantidade de movimento (Q.M), força conservativa e energia potencial, leis de Newton, conservação da energia e da Q.M., mudança de referencial.

De Matemática - conceito de derivada e integral e alguns conceitos de Geometria Analítica tais como a caracterização de um plano no espaço, equação de uma circunferência e **descrição vetorial** do espaço.

O texto supõe também que o aluno tenha parcialmente desenvolvido o espírito crítico, ou seja, que pelo menos o aluno não aceite totalmente os conhecimentos novos sem se perguntar o porquê deles.

Considerações sobre a elaboração

Para estimular o aluno a um espírito crítico evitou-se, ao máximo, partir das definições dos novos conceitos. Tentou-se, ao invés disso, criar a necessidade desses conceitos a partir da análise de situações físicas. Assim, por exemplo, o momento angular **não** foi introduzido através da sua definição, mas foi "encontrado" quando se procurava um invariante que simplificasse as equações de movimento de uma partícula sujeita a uma força central.

Além disso, ainda com a preocupação de estimular o espírito crítico, o texto apresenta perguntas que o aluno deve responder sozinho ou discutir com colegas ou docentes: **para** estas perguntas não existem respostas no texto.

A fim de ajudar a participação do aluno, o estilo e a linguagem usados foram variando, dependendo das situações. Quando se supunha que o aluno já tivesse algum conhecimento do assunto, o texto incorpora uma série de perguntas, algumas das quais servem para relembrar conhecimentos, outras para analisar e desenvolver conhecimentos. A resposta, em geral é explícita ou implicitamente fornecida após a pergunta.

Ao contrário, quando o assunto **é** novo o estilo torna-se mais descritivo, e tenta-se utilizar ao máximo analogias com conceitos **já** conhecidos.

A atitude crítica do aluno **é** incentivada através de exemplos que focalizam toda a parte de discussão de um pro -

blema. Assim para evitar que resolver um problema de Física seja sinônimo de escrever fórmulas, são dados exemplos nos quais a parte analítica está completamente resolvida e o aluno é forçado a justificar as várias passagens matemáticas e a explicitar as leis físicas envolvidas.

Estrutura e conteúdo do texto

O texto consta de dois capítulos, cada um deles dividido em três partes. Ele é encadeado de tal maneira que cada passo, além de ser **pré-requisito**, desperte a necessidade do sucessivo. É possível considerá-lo como uma série de respostas a uma série de perguntas.

Perguntas

Capítulo I

Parte 1

- a) Como simplificar a descrição do movimento de uma partícula sujeita a forças centrais?
- b) Como obter informações sobre a trajetória do movimento a partir das grandezas angulares?
- c) Que tipo de informações $\vec{\omega}$ fornece?

Respostas

- a) **Introdução** das grandezas angulares.
- b) Introdução do vetor velocidade angular $\vec{\omega}$.
- c) **Análise** das características e limitações de $\vec{\omega}$.

Parte II

Pergunta

- d) Como resolver as equações de movimento de uma **partícula** sujeita a forças centrais?

Resposta

- d) Procura de um invariante que simplifique o **problema: movimento angular**.

Parte III

Perguntas

- e) Que tipo de grandeza quebra a simetria introduzida pelas forças centrais?
- f) Qual o sentido físico do momento angular?
- g) Como garantir que a conservação do momento angular seja característica apenas de força central?

Respostas

- e) Introdução do torque.
- f) Introdução da velocidade areolar.
- g) Necessidade do carácter vetorial do torque e do momento angular.

Capítulo II

Parte I

Pergunta

- a) Um sistema de partículas pode ser analisado de maneira análoga a uma partícula?

Resposta

- a) Introdução do centro de massa (C.M.) como primeira informação sobre o sistema.

Parte II

Pergunta

- b) Como simplificar a análise das propriedades de um sistema de partículas?

Resposta

- b) Introdução da simetria ligada ao referencial do C.M.

Parte III

Perguntas

- c) Como resolver o problema do movimento de duas partículas que **são** interagem entre si?
- d) Como resolver as equações de movimento de mais partículas?

Respostas

- c) Introdução da massa reduzida.
- d) O C.M. como referencial privilegiado e necessidade da introdução de novos modelos.

Considerações sobre a estrutura

- 1) A introdução e análise das grandezas angulares não foi relegada a apêndice (como foi feito para as coordenadas polares) por duas razões. Em primeiro lugar, elas são uma alternativa às grandezas lineares e oferecem ao aluno uma possibilidade de visualizar o mesmo fenômeno de maneiras diferentes e complementares. O aluno começa a ter possibilidade de escolher a maneira mais adequada e simples de abordar um problema, que é um dos objetivos do curso. Em segundo lugar, a introdução da velocidade angular como vetor oferece uma boa analogia e preparação para a introdução do momento angular como vetor.
- 2) O enfoque dado às propriedades de simetria do C.M. tem a finalidade de simplificar a análise do movimento do sistema. Procurou-se relacionar simetria com invariância para reforçar a idéia-base da busca de invariantes. Parece-nos que estas atitudes são fundamentais no trabalho de um físico, no sentido de orientá-lo na sua pesquisa sobre a Natureza.
- 3) Alguns dos textos tradicionais, apesar de não terem os mesmos objetivos a que nos propusemos, de fato foram de grande ajuda na elaboração do nosso texto. No primeiro capítulo, uma das idéias principais, a invariância do momento angular de uma partícula num campo central, segue bem de perto a análise do Ingard. No segundo capítulo, a introdução do C.M. acompanha o desenvolvimento proposto pelo Feynman e a análise das propriedades de um sistema de partículas apresenta em boa parte a estrutura do Alonso e Finn.

CONCLUSÃO

A finalidade principal do texto foi acostumar o aluno à idéia de que as leis e os modelos na Física não caem do céu, mas são as respostas às perguntas que os físicos fazem à Natureza, e que as perguntas não são feitas ao acaso, mas são construídas uma após a outra, condicionadas pelo horizonte de compreensão dos físicos e preocupação com as simplificações.

Evidentemente, um texto não desperta e sustenta no aluno uma atitude de pesquisa se não for acompanhado por uma série de atividades e reforços de outra natureza, tais como discussões, avaliações, experiências de laboratório e, principalmente, a atitude do docente. Dai, a nossa insistência sobre objetivos comportamentais: eles só podem ser atingidos na medida em que a atitude dos docentes os focaliza e os sustenta.

Estamos também conscientes de que o tipo de análise que tentamos desenvolver é mais facilmente familiar aos físicos teóricos. Portanto, uma abordagem diferente que dê mais peso aos fatos experimentais, se for conduzida no estilo de pesquisa, não só poderia ser igualmente válida, mas seria também uma complementação extremamente importante e necessária ao tipo de problemática por nós levantada.

Se o texto serviu para levantar o problema dos objetivos comportamentais, podemos considerar que o nosso trabalho não foi perdido: por isso gostaríamos de obter críticas e sugestões para melhorarmos o texto e re-elaborarmos os sucessivos.

Ao concluirmos o nosso trabalho, nós nos fazemos uma pergunta: será que o nosso texto pode ser utilizado por professores e alunos em cursos que não tenham a mesma estrutura daquele por nós dado? Ou seja, será que fora do contexto e da finalidade para o qual foi escrito, o texto contém em si alguma utilidade? Gostaríamos de obter res -

postas nesse sentido a fim de podermos perceber mais completamente a função do nosso trabalho no contexto dos esforços para melhorar o ensino universitário.*

Nota:

O texto "Momento Angular" está disponível para os interessados no IFUSP.