



.....

### Andre Rafael Cunha

Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
E-mail: cunha@lmpt.ufsc.br

### Gerson Gregório Gomes

Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Araranguá, SC, Brasil  
E-mail: gerson.gomes@ifsc.edu.br

.....

**P**oderíamos questionar se o termo *moderna* é o mais adequado para designar os avanços da física durante as primeiras décadas do séc. XX, tendo em vista que quase um século se passou e já estamos bastante familiarizados com vários de seus produtos em nosso cotidiano, a exemplo de CD's, ponteiros laser e fotocélulas, entre outros. Apesar dessa inegável familiaridade, temos o receio que jamais poderemos nos vangloriar do completo entendimento sobre tais avanços, já que eles proporcionaram à nossa civilização ideias tão novas quanto a interpretação do universo, que nossos sentidos ainda insistem em rejeitar, mesmo depois de avisados. Durante a jornada acadêmica, esforços são devotados - tanto por parte dos educadores quanto por parte dos estudantes - para que possamos romper a barreira de nossa ignorância com relação à natureza. Infelizmente, esses obstáculos não são ultrapassados pela simples exigência de uma burocrática grade curricular. Isso acarreta que, mesmo após obterem seus respectivos graus, os futuros professores carregarão lacunas que somente seriam sanadas caso optassem por respectiva especialização.

Esse é o caso do conceito, por exemplo, de massa relativística (ou simplesmente massa) ensinado nos corriqueiros textos que servem de guia nos cursos de física básica das universidades brasileiras. Dessa forma, tal entendimento é naturalmente perpassado aos alunos do Ensino Médio, os quais, por vezes, são incitados a comprovarem seu entendimento, nas mais diversas formas de avaliação, sobre esse e outros assuntos da física que denominamos por *moderna*.

Para exemplificar a situação acima, transcrevemos abaixo a Questão 10 da prova do Vestibular 2007 da Universidade Federal de Santa Catarina.<sup>1</sup>

A física moderna é o estudo da física desenvolvida no final do século XIX e início

do século XX. Em particular, é o estudo da mecânica quântica e da teoria da relatividade restrita.

Assinale a(s) proposição(ões) CORRETA(S) em relação às contribuições da física moderna.

- 01. Demonstra limitações da física newtoniana na escala microscópica.
- 02. Nega totalmente as aplicações das leis de Newton.
- 04. Explica o efeito fotoelétrico e o laser.
- 08. Afirma que as leis da física são as mesmas em todos os referenciais inerciais.
- 16. Comprova que a velocidade da luz é diferente para quaisquer observadores em referenciais inerciais.
- 32. Demonstra que a massa de um corpo independe de sua velocidade.

A resposta certa de acordo com o gabarito oficial é: 01 + 04 + 08 = 13. Alertamos para o fato de que o enunciado do problema requer que marquemos a(s) resposta(s) correta(s). Analisemos algumas proposições apresentadas.

### Sentença 08

Para dar início a nossa crítica, poderíamos indagar se o texto da sentença 08 está devidamente redigido. O fato de expressarmos que as "leis da física são as mesmas para todos os referenciais inerciais", não é um avanço proporcionado pela física moderna (atentemos para a expressão "são as mesmas"). O princípio de relatividade de Galileo, que já aparece no *Principia* de Newton, nos diz o mesmo, com a diferença que incluía apenas a mecânica.

O princípio constante na sentença 08 é a premissa básica e uma ambição de qualquer ciência: que seus resultados sejam válidos em qualquer parte do universo. Faria sentido estudar física caso não "fosse a mesma" para os variados referenciais? Poderíamos esboçar que o aquilo que a física moderna nos responde é que as leis devem "ter a mesma forma (matemática)" para os citados referenciais. Essa

Nesta breve nota argumentamos sobre a necessidade de sincronização entre os desenvolvimentos propiciados pela parte da física moderna e aquilo que é veiculado no Ensino Médio, principalmente sobre o conceito da grandeza massa. Fazendo uso de uma questão de um exame vestibular recente buscamos exemplificar, do ponto de vista técnico, os equívocos cometidos na interpretação de alguns conceitos físicos, bem como a pertinência e emergência deste assunto.

sentença ainda não satisfaz a noção técnica correta, pois carecemos de um jargão apropriado. Nussenzveig [1, p. 295] nos dá um exemplo de como a sentença poderia ser reescrita para a segunda lei de Newton: “a 2ª lei de Newton é covariante por transformação de Galileu”. Naturalmente, isso se tornaria impraticável em nível do Ensino Médio. Além disso, poderia suscitar questões epistemológicas quanto ao significado do conceito de “lei”. Entretanto, é inegável as interpretações que essa sentença é capaz de despertar.

Em física, é pulsante a convicção que, devido à complexidade de determinados temas, temos que rompê-los gradativamente, e que os degressos superiores irão desvendar e refinar os problemas e soluções naqueles que o precedem. Como poucos estudantes optarão por profissões que possam continuar essa jornada, gostaríamos de argumentar – para aqueles que discordam destas palavras – que deveríamos ao menos ponderar sobre a perigosa lógica binária presente no ensino de ciências: “isso é verdadeiro e aquilo é falso!”<sup>2</sup>.

### Sentença 32

Prossigamos agora para outro importante ponto: a sentença 32. Ela afirma que a física moderna “Demonstra que a massa de um corpo independe de sua velocidade”. Essa sentença é admitida como errada no gabarito oficial da referida prova. Entretanto, apesar de contradizer os textos usuais, a sentença está correta!

Em relatividade e mecânica quântica, a massa de uma partícula fundamental é uma grandeza escalar ou, utilizando termos técnicos, *invariante*. Ou seja, é uma das grandezas físicas que rotulam uma partícula fundamental. Esta abordagem é encontrada mesmo em livros didáticos de Ensino Médio, p. ex., Ref. [3, p. 385–386].

Constatemos a inconsistência de considerar a massa como sendo dependente da velocidade. Em um átomo, é sabido que o núcleo, com massa muito maior, é rodeado por elétrons em movimento, cuja massa é significativamente menor. Imaginemos que tais elétrons se movimentem com uma velocidade que consideraremos como relativística – como por vezes o fazem. Suas massas iriam adquirir tamanha magnitude de tal modo que a estrutura do átomo se desconfiguraria, alterando a densidade de determinado elemento químico. Poderíamos ainda nos deparar com

o surpreendente cenário: um elétron tão rápido que possuiria a massa da Terra!

É bem verdade que o conceito de massa relativística não é impensadamente proposto. Suas raízes remetem à ideia de massa inercial introduzida pela 2ª lei de Newton que busca traduzir o quanto um corpo físico resiste ao movimento quando lhe é aplicada uma força. Em virtude disso, para compatibilizar as expressões matemáticas relativísticas com as clássicas, faz-se uso do conceito de massa relativística. Acreditamos que esta questão está suficientemente bem discutida (e esclarecida) no artigo de Lemos [4].

Apesar de alguns livros-textos fornecerem os conceitos de massa de repouso para designar a quantidade de matéria invariante que caracteriza cada partícula (ver Ref. [5, p. 318]), e fazer a devida distinção com a chamada massa relativística, do ponto de vista observacional trata-se de um conceito pernicioso e ludibriador capaz de prejudicar nossa interpretação acerca dos fenômenos físicos.

Aliás, é exatamente isso que a despojada sentença supracitada é capaz de despertar.

Como assuntos peculiares despertam opiniões divergentes, há muitos que advogam que a presente contenda é uma mera questão de terminologia e definição, ao capricho da satisfação ou estética pessoal [5, p. 319]. Acreditamos que a parcialidade sobre o conceito de massa relativística está além do escopo da convenção.

Toda ciência busca uma linguagem própria e precisa que visa comunicar seus resultados de maneira inequívoca e consistente. Como exemplo, invocamos os avanços da ciência newtoniana que percebeu a necessidade de caracterizar o momento linear como uma grandeza dotada de magnitude, direção e sentido, o qual posteriormente denominou-se de vetor para distingui-lo de grandezas onde apenas a magnitude é importante (*escalar*). Assim, quando afirmamos, por exemplo, que uma força que age sobre um corpo é um vetor, nós o fazemos com o intuito de tornar precisa a descrição da mesma, e que tal terminologia é dotada de significado, ou seja, temos uma linguagem própria para comunicar nossos resultados. Reafirma-

**Em física, é pulsante a convicção que, devido à complexidade de determinados temas, temos que rompê-los gradativamente, e que os degressos superiores irão desvendar e refinar os problemas e soluções naqueles que o precedem**

mos, então, a posição com relação ao conceito de massa em relatividade: um (escalar) invariante, *i.e.*, a massa independe da velocidade [4, 6].

Compartilhamos com alguns colegas a impressão que quanto mais avançamos em nossa formação acadêmica, menos somos capazes de resolver problemas e exercícios pelos quais passamos há tempos. Talvez isso floresça de uma suposta evolução no entendimento, capaz de nos despertar uma postura crítica mais aguçada; somado com uma possível negligência não intencional, a qual impele ao avaliador o descuido na redação de enunciados no ato de transportar uma questão totalmente localizada no âmbito de uma disciplina, para sua completa descontextualização no decurso de uma prova, sendo assim, capaz de gerar confusões e dúvidas naqueles com um mínimo de discernimento.

Aproveitemos esse exemplo como um alerta, tendo em vista que tal equívoco tem influência direta no futuro de estudantes

que se apresentam para serem testados diante das nossas tão discutidas formas de avaliação, como o vestibular e processos de seleção em pós-graduações. Essa experiência pode também ser útil para reafirmarmos nossos votos para com as tão discutíveis e fugazes “verdades científicas” válidas nos dias atuais.

### Agradecimentos

ARC agradece à CAPES e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina.

### Notas

<sup>1</sup>Disponível em [http://www.coperve.ufsc.br/provas\\_ant/2007-3-amarela.pdf](http://www.coperve.ufsc.br/provas_ant/2007-3-amarela.pdf) com sua respectiva resposta em [http://www.coperve.ufsc.br/provas\\_ant/2007-gab-3-amarela.html](http://www.coperve.ufsc.br/provas_ant/2007-gab-3-amarela.html). Acessado em 10 de outubro de 2011.

<sup>2</sup>A imprecisa expressão usada na sentença 08 ocorre *ipsis litteris* na respeitada série de física básica de Nussenzveig [2, p. 182], como enunciado do princípio de relatividade restrita. Poderíamos, talvez, abrandar a crítica neste caso pela frase ali ocorrer devidamente contextualizada.

### Referências

[1] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica: Mecânica* (Edgard Blücher, São Paulo, 1996).

[2] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica: Ótica, Relatividade e Física Quântica* (Edgard Blücher, São Paulo, 1998).

[3] A. Máximo e B.A. Alvarenga, *Curso de Física* (Scipione, São Paulo, 2006), v. 3.

[4] N.A. Lemos, *Revista Brasileira de Ensino de Física* v. **23**, 3, (2001).

[5] A. Gaspar, *Física* (Ática, São Paulo, 2005), v. 3.

[6] L.B. Okun, *Phys. Today* v. **42**, 31, (1989).