Metodologias alternativas no ensino de física

Ricardo Karam & Nelson Studart

Minicurso 2 – Parte 4

UNIVERSITY OF COPENHAGEN

BLUMENAU - SANTA CATARINA
V ESCOLA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA
27 À 31 DE AGOSTO DE 2018

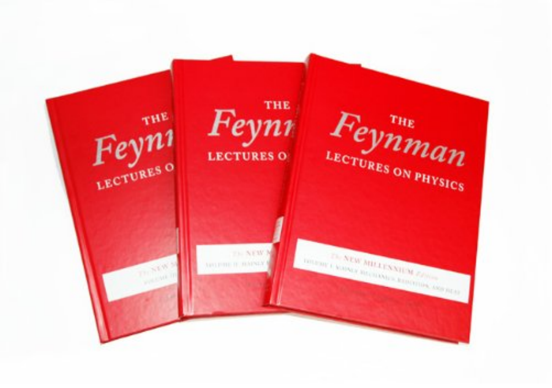
Universidade Federal do ABC
ufscar

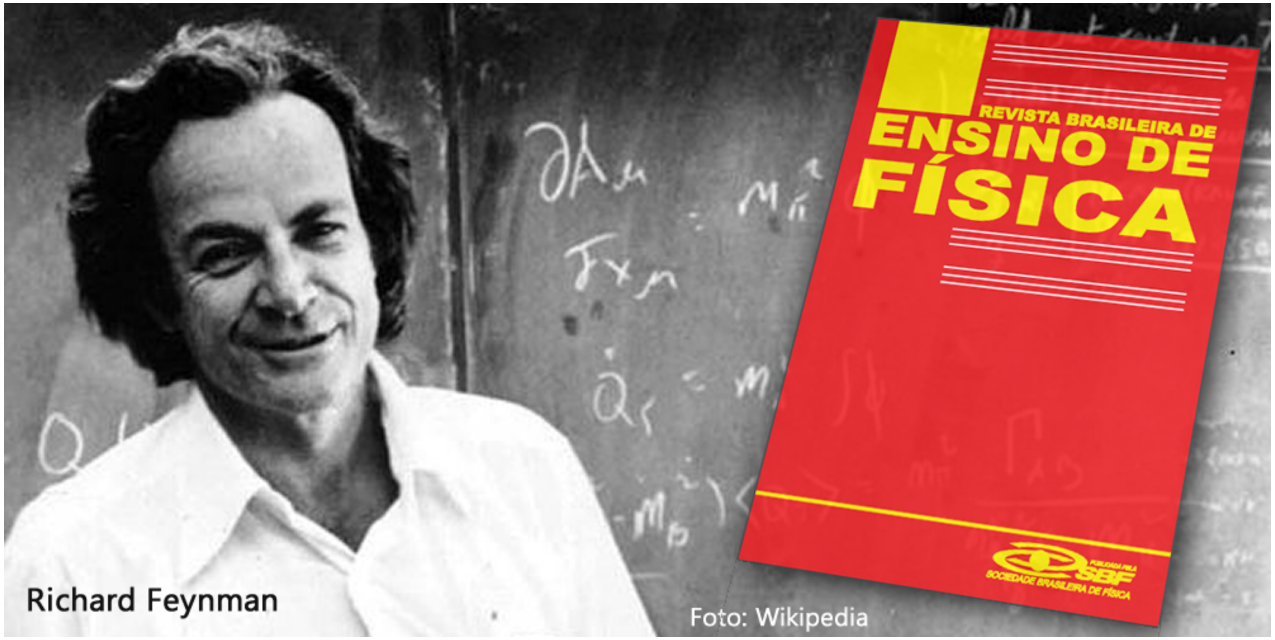
Lições didáticas extraídas das Feynman lectures

Ricardo Karam
Department of Science Education

UNIVERSITY OF COPENHAGEN

Os famosos livros vermelhos de Feynman...





Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 40, nº 4, e4201 (2018)
www.scielo.br/rbef
DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0157

Seção especial - Celebrando os 100 anos de nascimento de Richard P. Feynman

Enquete: Qual a sua relação com as Feynman lectures?

socrative

www.socrative.com
Student Login

HISPHYSKU
Room Name

O que diferencia as Feynman lectures de livros tradicionais?

What distinguishes the Feynman lectures from traditional physics textbooks?

Ricardo Karam*[1]

[1]University of Copenhagen, Department of Science Education, Copenhagen, Denmark

Introdução

- Muitos colegas têm uma relação de fascínio com as lectures.
- O que faz as lectures serem tão especiais? O que as diferenciam de livros mais “tradicionais”do tipo Halliday?
- Mesmo não sendo o Feynman, seria possível extrair princípios gerais de suas lectures para melhorar nossas aulas?

Muitas limitações!!!

Diferenças à primeira vista...

- Muito texto

extras também são conhecidas pelo nome mais elegante de "pressões de Poincaré". Se as forças extras forem incluídas nos cálculos, as massas obtidas pelos dois métodos serão modificadas (de uma forma que depende das suposições detalhadas). E os resultados são consistentes com a relatividade; ou seja, a massa que surge do cálculo do momento é a mesma que surge do cálculo da energia. Entretanto, ambas contêm *duas* contribuições: uma massa eletromagnética e a contribuição das pressões de Poincaré. Apenas quando as duas são somadas obtemos uma teoria consistente.

Portanto é impossível fazer com que toda a massa seja eletromagnética da maneira que esperávamos. A teoria não é válida se não tivermos nada além da eletrodinâmica. Alguma coisa deve ser adicionada. Chamem do que quiserem – "elásticos" ou "pressões de Poincaré", ou qualquer outra coisa – devem existir outras forças na natureza para gerar uma teoria consistente deste tipo.

Claramente, assim que colocarmos forças no interior do elétron, toda a beleza da idéia começa a desaparecer. As coisas se tornam muito complicadas. Você poderia perguntar: as pressões são muito fortes? O que acontece quando o elétron é sacudido? Ele oscila? Quais são as suas propriedades internas? E assim por diante. Seria possível que um elétron tivesse algumas propriedades internas complicadas. Se fizermos uma teoria do elétron seguindo estas premissas, ela prediria propriedades estranhas, tais como modos de oscilação, que aparentemente não foram observados. Dizemos "aparentemente" porque observamos muitos fenômenos da natureza que ainda não fazem sentido. Podemos descobrir algum dia que uma das coisas que nós não entendemos hoje (por exemplo, o múon) pode, de fato, ser explicada como uma oscilação das pressões de Poincaré. Não parece muito provável, mas ainda não temos certeza. Existem muitos aspectos das partículas elementares que ainda não entendemos. De qualquer maneira, a estrutura complexa decorrente desta teoria não é desejável, e a tentativa de explicar toda a massa em termos do eletromagnetismo – pelo menos da maneira que descrevemos – levou-nos a um beco sem saída.

Gostaríamos de pensar um pouco mais sobre por que dizemos que temos uma massa quando o momento do campo é proporcional à velocidade. Fácil! A massa é o coeficiente entre o momento e a velocidade. Mas podemos olhar a massa de uma outra forma: uma partícula tem massa se você precisar aplicar uma força para acelerá-la. Portanto, pode ser útil para o nosso entendimento se olharmos mais cuidadosamente para a origem das forças. Como sabemos que deve existir uma força? Porque prova-

mos a lei de conservação do momento para os campos. Se tomarmos uma partícula carregada e a empurrarmos durante um intervalo de tempo, haverá algum momento no campo eletromagnético. O momento deve ter sido colocado no campo de alguma maneira. Portanto, deve haver uma força atuando no elétron para mantê-lo em movimento – uma força além daquela exigida pela sua inércia mecânica, uma força devido à sua interação eletromagnética. E deve existir uma força correspondente no "autor do empurrão". Mas de onde vem esta força?

O quadro geral é mais ou menos assim. Podemos pensar o elétron como uma esfera carregada. Quando ele está em repouso, cada elemento de carga repele eletricamente todos os outros, mas as forças se cancelam aos pares, de modo que não há nenhuma força *resultante* [ver Figura 28–3(a)]. Entretanto, quando o elétron é acelerado, as forças não se cancelam mais aos pares devido ao fato de que as influências eletromagnéticas levam um tempo para ir de um elemento para o outro. Por exemplo, a força no elemento α na Figura 28–3(b) devido a um elemento β no lado oposto depende da posição de β em um tempo anterior, como mostrado. Tanto a magnitude quanto a direção da força dependem do movimento da carga. Se a carga estiver acelerada, as forças nas diversas partes do elétron poderão ser como está mostrado na Figura 28–3(c). Quando todas estas forças são somadas, elas não se cancelam. Elas se cancelariam se a velocidade fosse uniforme, mesmo que à primeira vista pareça que o retardamento daria uma força resultante até para uma velocidade uniforme. Mas acontece que não existe uma força resultante a não ser que o elétron esteja sendo acelerado. Com a aceleração, se olharmos as forças entre as diversas partes do elétron, veremos que a ação e a reação não são exatamente iguais, e o elétron exerce uma força *nele mesmo* que tenta deter a aceleração. Ele se segura, agarrando-se a si mesmo.

28-5 Vol. 2

Diferenças à primeira vista…

- Ausência de “problemas resolvidos”

We can write Eq. 4-16 in unit-vector form by substituting Eq. 4-11 for $\vec{v}$ to obtain

$$\vec{a} = \frac{d}{dt}(v_x\hat{\mathrm{i}} + v_y\hat{\mathrm{j}} + v_z\hat{\mathrm{k}}) = \frac{dv_x}{dt}\hat{\mathrm{i}} + \frac{dv_y}{dt}\hat{\mathrm{j}} + \frac{dv_z}{dt}\hat{\mathrm{k}}.$$

We can rewrite this as

$$\vec{a} = a_x\hat{\mathrm{i}} + a_y\hat{\mathrm{j}} + a_z\hat{\mathrm{k}}, \tag{4-17}$$

where the scalar components of $\vec{a}$ are

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt}, \quad \text{and} \quad a_z = \frac{dv_z}{dt}. \tag{4-18}$$

To find the scalar components of $\vec{a}$, we differentiate the scalar components of $\vec{v}$.

Figure 4-6 shows an acceleration vector $\vec{a}$ and its scalar components for a particle moving in two dimensions. *Caution:* When an acceleration vector is drawn, as in Fig. 4-6, it does *not* extend from one position to another. Rather, it shows the direction of acceleration for a particle located at its tail, and its length (representing the acceleration magnitude) can be drawn to any scale.

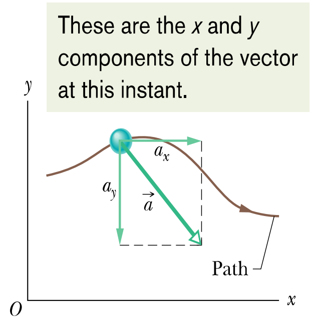


Fig. 4-6 The acceleration $\vec{a}$ of a particle and the scalar components of $\vec{a}$.

CHECKPOINT 2

Here are four descriptions of the position (in meters) of a puck as it moves in an xy plane:

(1) $x = -3t^2 + 4t - 2$ and $y = 6t^2 - 4t$ (3) $\vec{r} = 2t^2\hat{\mathrm{i}} - (4t + 3)\hat{\mathrm{j}}$

(2) $x = -3t^3 - 4t$ and $y = -5t^2 + 6$ (4) $\vec{r} = (4t^3 - 2t)\hat{\mathrm{i}} + 3\hat{\mathrm{j}}$

Are the x and y acceleration components constant? Is acceleration $\vec{a}$ constant?

Sample Problem

Two-dimensional acceleration, rabbit run

For the rabbit in the preceding two Sample Problems, find the acceleration $\vec{a}$ at time $t = 15$ s.

KEY IDEA

We can find $\vec{a}$ by taking derivatives of the rabbit's velocity components.

Calculations: Applying the a_x part of Eq. 4-18 to Eq. 4-13, we find the x component of $\vec{a}$ to be

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d}{dt}(-0.62t + 7.2) = -0.62 \text{ m/s}^2.$$

Similarly, applying the a_y part of Eq. 4-18 to Eq. 4-14 yields the y component as

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d}{dt}(0.44t - 9.1) = 0.44 \text{ m/s}^2.$$

We see that the acceleration does not vary with time (it is a constant) because the time variable t does not appear in the expression for either acceleration component. Equation 4-17 then yields

$$\vec{a} = (-0.62 \text{ m/s}^2)\hat{\mathrm{i}} + (0.44 \text{ m/s}^2)\hat{\mathrm{j}}, \quad \text{(Answer)}$$

which is superimposed on the rabbit's path in Fig. 4-7.

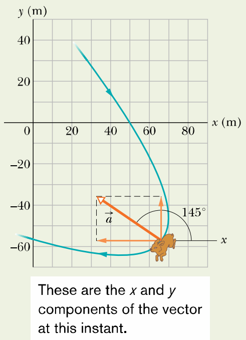
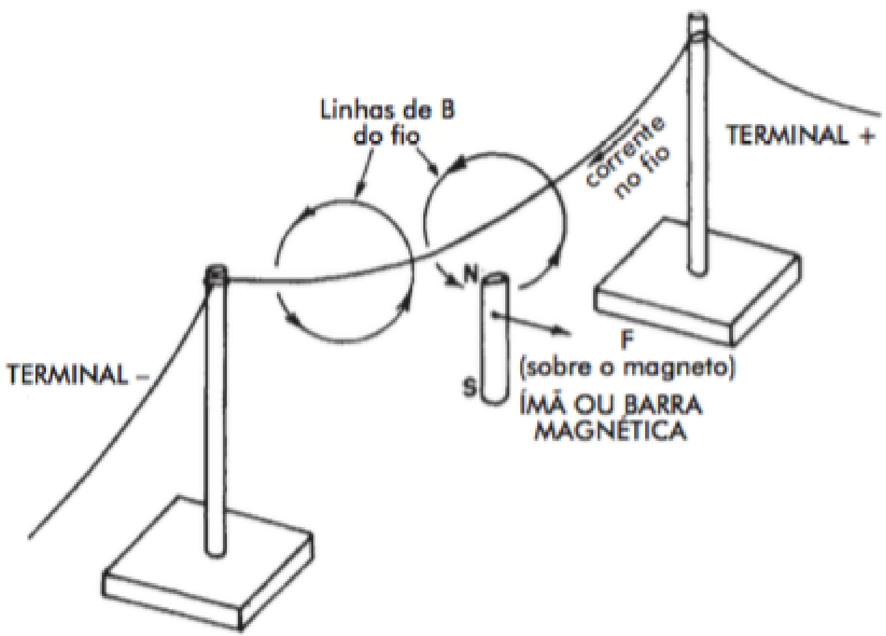
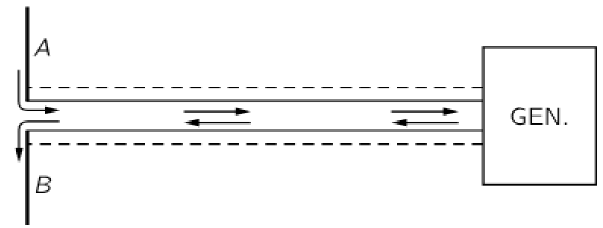


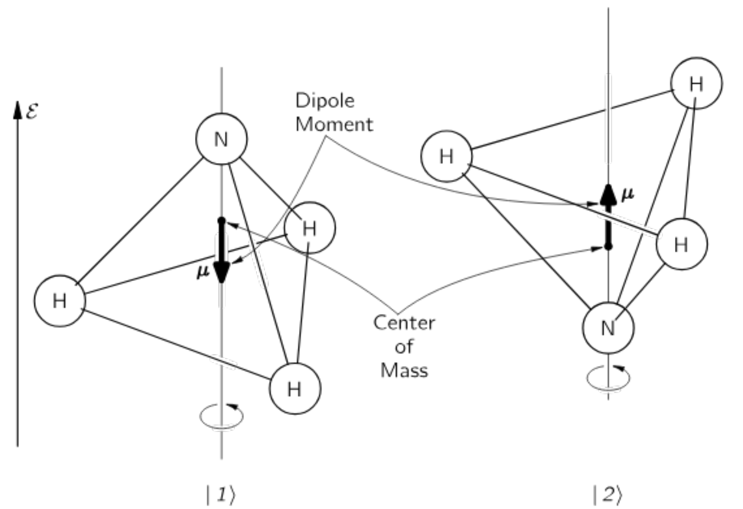
Fig. 4-7 The acceleration $\vec{a}$ of the rabbit at $t = 15$ s. The rabbit happens to have this same acceleration at all points on its path.

Diferenças à primeira vista...

- Fenomenologia







Diferenças à primeira vista...

- Títulos e ordem dos capítulos

Relação da física com a matemática

- Matemática como pré-requisito?

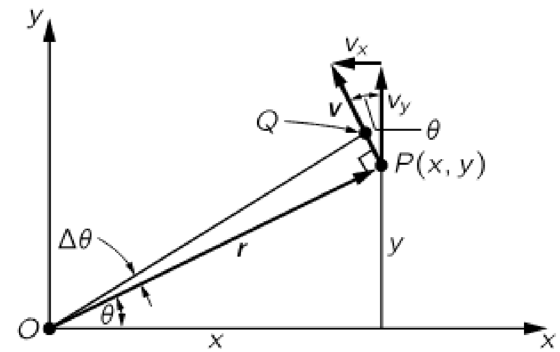
Velocidade e derivada

$$16(5.1)^2 = 416.16 \text{ ft}$$

$$s = 16(5.001)^2 = 16(25.010001) = 400.160016 \text{ ft.}$$

$$v = \lim_{\epsilon \to 0} \frac{x}{\epsilon}$$

Torque e produto vetorial



$$\Delta x = -y\Delta\theta \quad \text{e} \quad \Delta y = x\Delta\theta$$

$$\Delta W = (xF_y - yF_x)\Delta\theta$$

$$\tau_{xy} = xF_y - yF_x,$$
$$\tau_{yz} = yF_z - zF_y,$$
$$\tau_{zx} = zF_x - xF_z.$$

Matemática a partir e a serviço da física

Relação da física com a matemática

- Matematização

Matemática da interferência: como somar duas ondas de mesma frequência e fases diferentes?

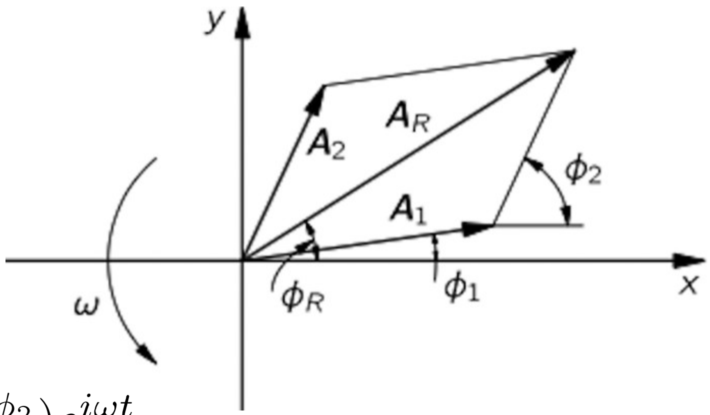
$$R = A_1 \cos(\omega t + \phi_1) + A_2 \cos(\omega t + \phi_2)$$

1) Trigonométrica

$$\cos A + \cos B = 2 \cos \tfrac{1}{2}(A + B) \cos \tfrac{1}{2}(A - B)$$

$$R = 2A \cos \tfrac{1}{2}(\phi_1 - \phi_2) \cos(\omega t + \tfrac{1}{2}\phi_1 + \tfrac{1}{2}\phi_2)$$

2) Geométrica



3) Complexa

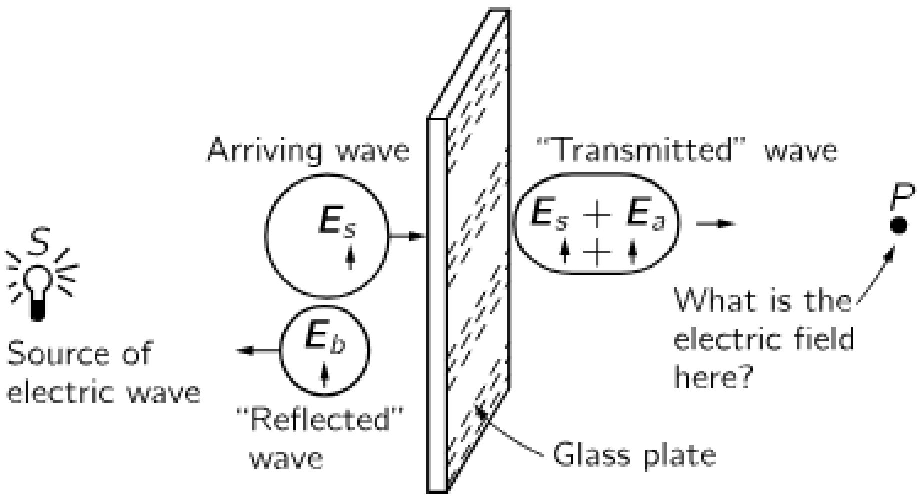
$$R = A_1 e^{i(\omega t + \phi_1)} + A_2 e^{i(\omega t + \phi_2)} = (A_1 e^{i\phi_1} + A_2 e^{i\phi_2}) e^{i\omega t}$$

Justificar o uso de estruturas matemáticas para descrever propriedades físicas / Diversidade de representações

Relação da física com a matemática

- Interpretação

A origem do índice de refração



M1: Força linear restauradora

$$n = 1 + \frac{N q_e^2}{2\epsilon_0 m(\omega_0^2 - \omega^2)}$$

M2: Amortecimento e freq. de ressonância dieferentes

$$n = 1 + \frac{q_e^2}{2\epsilon_0 m} \sum_k \frac{N_k}{\omega_k^2 - \omega^2 + i\gamma_k \omega}$$

Talvez você tenha notado algo um pouco estranho sobre a última fórmula [Eq. 9] que obtivemos para a nossa equação de dispersão. Por termos introduzido o termo $i\gamma$ para considerar o amortecimento, o índice da refração é agora um *número complexo*! O que significa *isso*? (31-4, Vol. 1, itálicos no original)

Extrair a física do formalismo matemático

Relação da física com a matemática

- Analogias (formais)

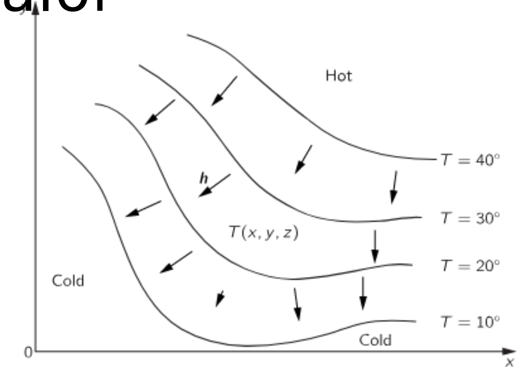
12–1 As mesmas equações têm as mesmas soluções

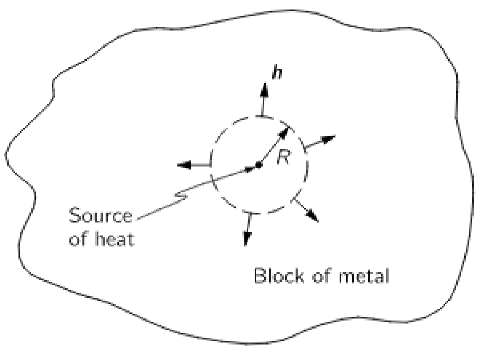
A quantidade total de informação sobre o mundo físico adquirida desde o início do progresso da ciência é descomunal e parece impossível que qualquer pessoa, individualmente, possa saber uma fração razoável deste conhecimento. Mas, na verdade, é bem possível para um físico manter um amplo conhecimento do mundo físico, ao invés de se tornar um especialista em alguma área restrita. Há três razões para isto: primeiro, existem grandes princípios que se aplicam a todos os diferentes tipos de fenômenos – tais como o princípio da conservação da energia e do momento angular. Uma compreensão minuciosa de tais princípios fornece, de uma só vez, o entendimento de várias coisas. Além disso, existe o fato de que vários fenômenos complicados, tais como o comportamento dos sólidos comprimidos, na verdade dependem basicamente de forças elétricas e quânticas, de modo que, ao se compreender as leis fundamentais da eletricidade e da mecânica quântica, haverá pelo menos a possibilidade de se compreender muitos dos fenômenos que ocorrem em situações complicadas. E, finalmente, existe uma coincidência notável: *as equações de muitas situações físicas diferentes têm exatamente a mesma aparência*. Obviamente, os símbolos podem ser diferentes – uma letra é substituída por outra – mas a forma matemática das equações é a mesma. Isto significa que, tendo-se estudado um assunto, adquirimos imediatamente um conhecimento direto e preciso sobre as soluções do outro problema.

Relação da física com a matemática

- Analogias (formais)

EM e condução de calor





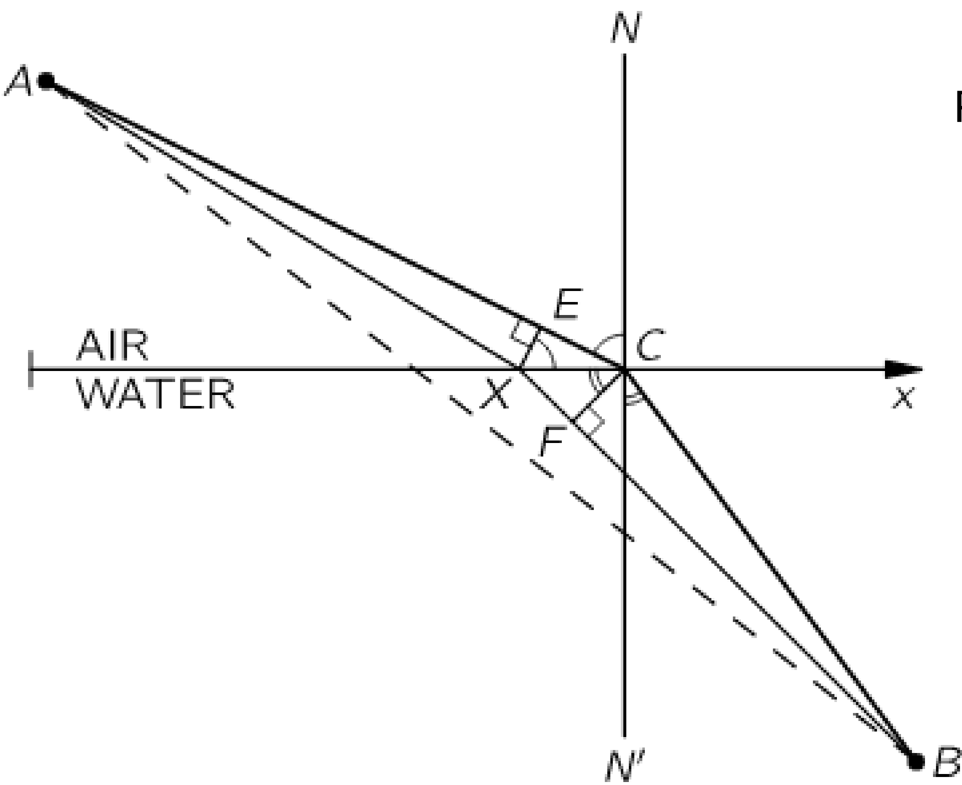
Nabla como um vetor

$$\boldsymbol{A} \times (\boldsymbol{A}T) = (\boldsymbol{A} \times \boldsymbol{A})T = 0,$$
$$\boldsymbol{A} \cdot (\boldsymbol{A} \times \boldsymbol{B}) = 0,$$
$$\boldsymbol{A} \times (\boldsymbol{B} \times \boldsymbol{C}) = \boldsymbol{B}(\boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{C}) - \boldsymbol{C}(\boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{B}).$$

$$\boldsymbol{\nabla} \times (\boldsymbol{\nabla} T) = 0,$$
$$\boldsymbol{\nabla} \cdot (\boldsymbol{\nabla} \times \boldsymbol{h}) = 0,$$
$$\boldsymbol{\nabla} \times (\boldsymbol{\nabla} \times \boldsymbol{h}) = \boldsymbol{\nabla}(\boldsymbol{\nabla} \cdot \boldsymbol{h}) - (\boldsymbol{\nabla} \cdot \boldsymbol{\nabla})\boldsymbol{h}.$$

Relação da física com a matemática

- Demonstrações originais



Princípio do tempo mínimo (Fermat)

$$t_{EC} = \frac{EC}{v_{\text{ar}}} = \frac{XC \cdot \sin\theta_i}{v_{\text{ar}}},$$

$$t_{XF} = \frac{XF}{v_{\text{água}}} = \frac{XC \cdot \sin\theta_r}{v_{\text{água}}},$$

$$t_{EC} = t_{XF} \rightarrow \frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r} = \frac{v_{\text{água}}}{v_{\text{ar}}}.$$

Epistemologia

- Ensinar também sobre o que é fazer Física

> [...] para o desenvolvimento adicional da ciência, queremos mais do que apenas uma fórmula. Primeiramente, temos uma observação, então temos os números que medimos, e depois temos uma lei que resume todos os números. Mas a real glória (beleza) da ciência é que *podemos descobrir uma maneira de pensar* tal que a lei é *evidente*. (26-3, Vol. 1)

Metacognição

- Monitoramento de processos cognitivos

Esta discussão sobre vetores pode não estar completa. Entretanto, em vez de tentar aprofundar o tema agora, vamos primeiro aprender a usar, em situações físicas, algumas das idéias discutidas até então. Então, quando tivermos dominado apropriadamente este material básico, vamos achar mais fácil penetrar mais profundamente no assunto sem ficarmos muito confusos. (11-11, Vol. 1)

Provavelmente, isso é a coisa mais complicada que iremos fazer neste ano, mas é complicado porque há muitas partes que têm que ser unidas; cada parte, contudo, é muito simples. (31-1, Vol. 1)

Então, a força é independente da distância a! Por quê? Fizemos um erro? Alguém pode pensar que quanto mais distante formos, mais fraca a força deveria ser. Mas não! (13-8, Vol. 1)

Mas, para um pedaço de vidro, você poderia pensar: "Oh, não, você deve modificar tudo isso. Você deveria dizer que o atraso da velocidade é c/n". Isso porém não é correto, e temos que entender o porquê. (31-1, Vol. 1)

Metacognição

- Honestidade intelectual

Ao aprender qualquer assunto de uma natureza técnica onde a matemática tem o seu papel, uma pessoa é confrontada com a tarefa de entender e guardar na memória um grande número de fatos e ideias, mantidos juntos por certas relações existentes entre elas que podem ser "demonstradas" ou "mostradas". É fácil confundir a demonstração em si com a relação que ela estabelece. Claramente, a coisa importante a aprender e a lembrar é a relação, não a demonstração. Em qualquer circunstância em particular podemos dizer "pode ser mostrado que" tal e tal são verdadeiros ou podemos mostrá-los. Em quase todos os casos, a particular demonstração que é usada, é planejada, primeiro de tudo, de tal forma que pode ser escrita rapidamente e facilmente em um quadro negro ou em um papel para ter a aparência mais agradável possível. Consequentemente, a demonstração pode parecer enganosamente simples, quando de fato, o autor pode ter trabalhado por horas tentando diferentes maneiras de calcular a mesma coisa até que ele achou a maneira mais concisa, assim fica possível mostrar que a demonstração pode ser feita em pouco tempo! A coisa a se lembrar, quando vemos uma demonstração, não é a demonstração propriamente dita, mas que pode-se mostrar que tal e tal coisa são verdadeiras. Obviamente, se a demonstração envolve alguns procedimentos matemáticos ou "truques" que as pessoas não viram antes, a atenção deve ser dada não ao truque exatamente, mas a ideia matemática envolvida (14-1, Vol. 1).

Princípios gerais: 10 “mandamentos”

1) Melhor resolver 1 problema de 4 maneiras diferentes do que 4 problemas da mesma maneira;

2) Parta do simples ao complexo; do concreto ao abstrato;

3) Quando possível, faça a matemática emergir de situações físicas;

4) Evite ao máximo argumentos autoritários como “esse é um teorema matemático”; Seja criativo, reinvente teoremas, faça suas próprias demonstrações;

5) Seja honesto com o estudante, reflita sobre as dificuldades para se entender o conteúdo e explicite-as quando for ensinar;

Princípios gerais: 10 "mandamentos"

6) Procure evidenciar conexões e analogias profundas entre assuntos aparentemente distintos;

7) O conhecimento físico não é dividido em caixas, mostre relações entre as áreas da física;

8) Preencha de fenomenologia todo e qualquer assunto que for ensinar;

9) Não ensine somente física, mas também o que significa fazer física;

10) Seja metacognitivo em seu discurso; Explicite onde você está, onde quer chegar, como pretende chegar lá, quais são as possíveis armadilhas, etc.

Leiam Feynman, leiam Feynman! Ele é o mestre de todos nós!!