Disciplina: Metodologia do ensino de Física I
Escola:
Tutor:
data
grupo/dupla:

Iniciamos o nosso estudo discutindo a idéia de modelo no cotidiano e o seu papel na física. Procuramos quebrar a idéia de que a ciência é a realidade e a verdade, mostrando-a como construção humana e, portanto, sujeita a reformulações.

Objetivos Gerais

Apresentar o papel dos modelos na construção do conhecimento físico e estabelecer as diferenças entre os modelos usados no cotidiano e na ciência.

Conteúdo

- Noção de modelo no cotidiano
- Modelo físico

Quadro Sintético

ATIVIDADE	MOMENTOS	TEMPO
1 - Inventando um modelo para o mecanismo da caixa preta	Observação e manuseio da caixa preta pelos alunos	1 aula
	Elaboração de um esquema de funcionamento do mecanismo da caixa pelos alunos	
	Discussão da validade dos esquemas propostos	
2 - Modelo no cotidiano e na ciência	Leitura do texto	1 aula
	Responder às questões do texto	
	Correção das questões e sistematização da discussão.	
	TOTAL DE AULAS	2 aulas

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

Atividade 1 – Inventando um modelo para a caixa preta

Objetivo: Propor um modelo para o mecanismo de funcionamento da caixa preta.
Conteúdo: Noção de modelo.
Recursos de Ensino: *Roteiro para Construção da Caixa Preta*, *Questões Sobre a Caixa Preta* **(Recurso de Ensino 2)**
Dinâmica da Atividade:

- Proposição do problema pelo professor: Mostrar a caixa preta, permitir que os alunos a manuseiem e propor as Questões da Caixa Preta **(Recursos de Ensino 1)**. O professor não pode permitir que os alunos abram a caixa, nem que em momento algum do curso vejam o que tem dentro dela. A caixa deve "sumir", após a aula, apesar de ser lembrada em outros momentos do curso.
- Deixar que os alunos troquem idéias sobre como a caixa funciona, permitir respostas como por exemplo : "tem homenzinhos lá dentro", etc. Pedir que representem na forma de desenho, explicando o mecanismo proposto.
- Depois que todos entregaram os esquemas, organizar por semelhança e discutir com os alunos porque cada um deles é válido ou não.

- Pode se quiser, faze-los desenhar em transparência e projetar para discutir. Aí é importante discutir por que o homenzinho dentro da caixa, por exemplo, não é uma hipótese fisicamente aceita, especialmente se dizem que "eu nunca vi um homenzinho que caiba na caixa", argumentar que não é só porque não viu que não existe.
- Estimular aos alunos que construam uma caixa preta usando o modelo que inventaram. Se o fizerem, discutir se o fato da caixa deles funcionar do mesmo modo que a do professor, isso garante que o mecanismo é igual.

Atividade 2 – Modelos no cotidiano e na ciência

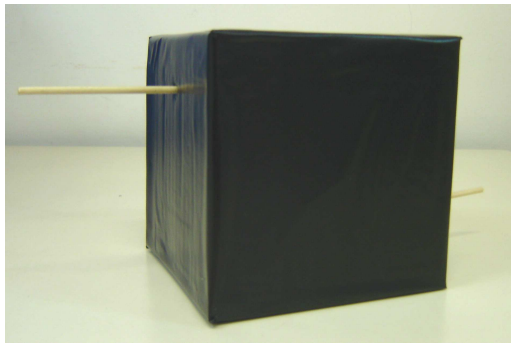
Objetivo: Discutir a concepção de modelo no contexto da física e em outros contextos**.**
Conteúdo: Noção de modelo.
Recursos de Ensino: Texto *O que são modelos?* e *Questões* do texto **(Recursos de Ensino 2),** giz e lousa
Dinâmica da Atividade:

- O professor retoma a atividade da aula anterior e propõe a questão: Será que existe algo em comum entre uma top model, um aviãozinho de brinquedo da segunda guerra mundial e a física? Deixa os alunos responderem oralmente e propõe a leitura do texto *O que são modelos?* (**Recurso de Ensino 2).**
- A leitura pode ser feita em voz alta, parando para acompanhar a compreensão dos alunos, ou pode ser feita em grupos pequenos, ou ainda individualmente, desde que o professor se assegure de que os alunos entenderam as idéias principais propostas.
- Propor as *Questões* **(Recurso de Ensino 3)** para entregar.
- Após a entrega, fazer uma analogia entre a atividade da caixa preta e modelos científicos como o átomo, a corrente elétrica, a teoria do Big Bang.

Roteiro para Construção da Caixa Preta (somente para o professor)

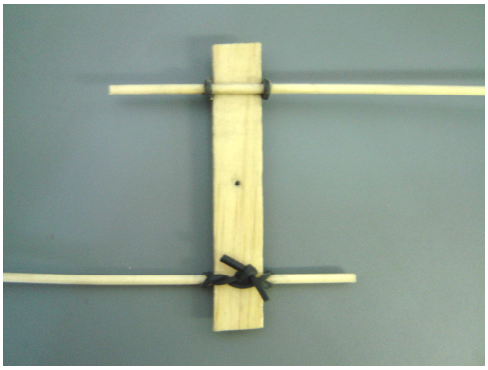
Materiais

- caixa de papelão pequena
- elástico
- palitos de churrasco (sem as pontas) e sorvete
- arame ou fio grosso
- fita adesiva
- papel preto ou tinta preta

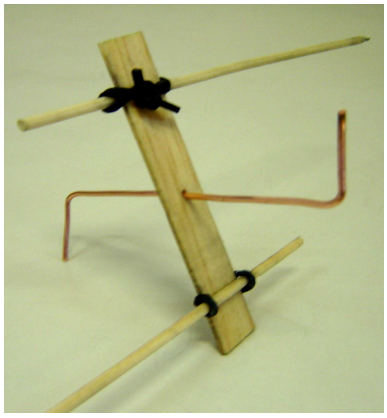


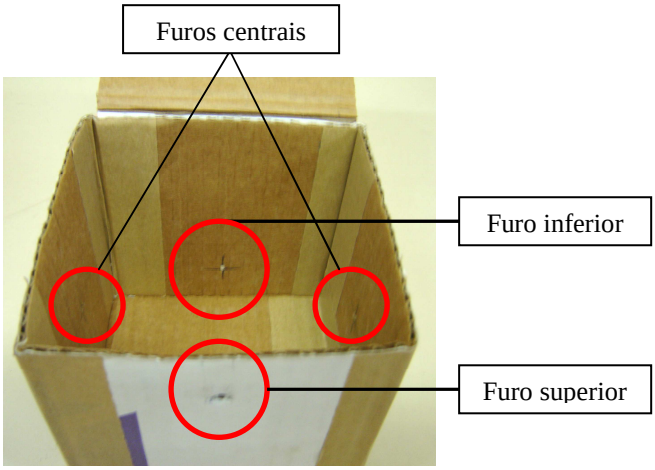
Montagem

1 – Faça um furo no centro do palito de sorvete e corte suas pontas de modo que seu comprimento fique um pouco menor que a altura da caixa.

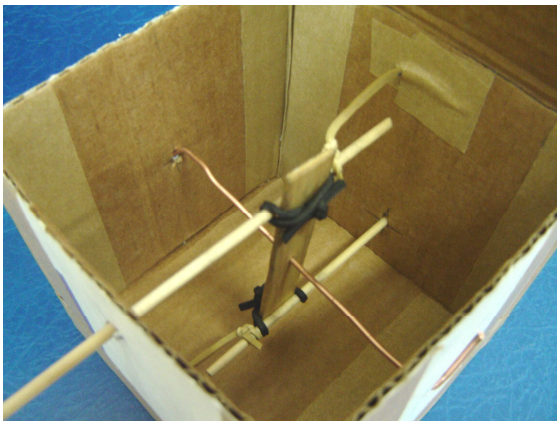


2 – Amarre um palito de churrasco em cada ponta do palito de sorvete utilizando o elástico.
3 – Corte um pedaço de arame, ou fio grosso, maior que a largura da caixa e passe pelo centro do palito de sorvete.



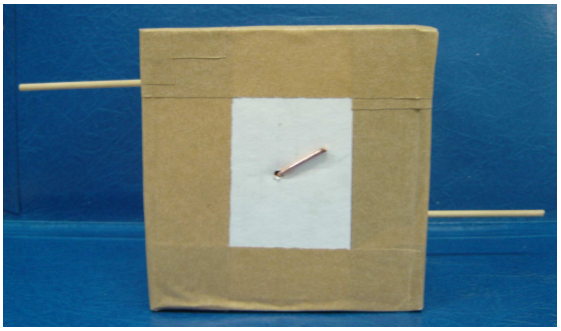


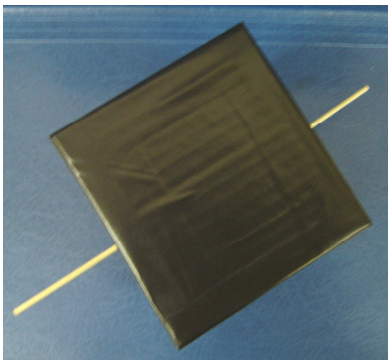
4 – Faça dois furos na mesma altura em duas laterais opostas da caixa para encaixar o arame.
5 – Em outra lateral faça um furo para o palito de churrasco superior e na lateral oposta faça um furo para o palito de churrasco inferior.



6 – Encaixe o mecanismo cuidadosamente dentro da caixa.
7 – Utilizando elástico e fita adesiva prenda a parte menor dos palitos de churrasco nas laterais da caixa, como na figura.

6 – Agora é só fechar a tampa da caixa e cobri-la com papel ou tinta preta. Mexa um dos palitos e veja como o outro se comporta.





Recurso de Ensino 1

QUESTÕES SOBRE A CAIXA PRETA

1 - Faça uma representação (um desenho) do que você acredita ser encontrado dentro desta caixa preta e que seja capaz de explicar coerentemente o que ocorre com os pedaços de madeira.

2 - É possível "ver" dentro da caixa-preta? Se não pode vê-la por dentro, como consegue descrever o que havia lá?

Recursos de Ensino 2

O QUE SÃO MODELOS?

Será que existe algo em comum entre uma "top model", um aviãozinho de brinquedo da 2ª Guerra Mundial e a Física?

A intenção deste texto é mostrar que sim. O que une três coisas tão diferentes é a idéia de **modelo**.

Certamente você já ouviu diversas vezes esta palavra, porém vamos analisá-la um pouco mais. Antes, pare um pouco e responda: O que você imagina ao ouvir a palavra modelo?

Ah, e você sempre imagina a mesma coisa, independentemente de onde esta palavra está sendo usada?

Como você já deve ter notado, ela parece ter mais de um sentido. Então, vamos ver alguns dos significados que essa palavra tem e, assim, responder à pergunta inicial.

A palavra "modelo" sempre aparece com vários significados, indo desde um objeto que se copia em escultura ou pintura, ou a representação, em um tamanho pequeno, daquilo que se quer executar em tamanho maior, passando pela idéia de um comportamento ideal (sempre querem que todos sejam alunos-modelo...) chegando até mesmo à moda, com "suas" modelos desfilando nas passarelas. Assim, esta palavra sempre traz aspectos diferentes da realidade, todos criados pelo homem.

Comecemos pelo mais legal; as modelos (ou os modelos), óbvio. Quase sempre é a primeira coisa que "vemos" em nossa mente ao ouvir a palavra "modelo", independente do ambiente em que estejamos. Ao vermos um desfile de modas, seja na TV ou ao vivo, podemos sentir duas coisas completamente opostas. Inicialmente fica-se babando pelas moças (ou moços) lindas que desfilam. Depois de um tempo, esta "admiração" passa. Isso acontece justamente porque quando prestamos um pouco mais de atenção percebemos que as modelos nem se parecem muito com as mulheres (ou homens) normais que vemos diariamente. Os rostos são maravilhosos, mas os corpos... Além de extremamente magras, fica claro que uma "mulher comum" nunca teria tantas costelas à mostra.

Com isso, podemos dizer, então, que se trata da construção de um padrão de beleza, de uma idealização da mulher (ou homem) perfeita. Ou seja, as modelos são objetos construídos pelo homem.

Assim, as modelos têm a pretensão de representar um pedaço da realidade, as mulheres. Logo, construir qualquer tipo de modelo é tentar se aproximar do mundo real. Alguns têm mais sucesso que outros, uns se aproximam mais ou menos do que se deseja representar e, assim, seguimos construindo padrões.

Você já viu ou brincou com algum Kit Revell? São pequenos kits para montar, feitos de plástico, de aviões, navios, automóveis ou motocicletas. Existem pequenos aviões da 2ª Guerra Mundial que são fantásticos. Qualquer um fica fascinado com a riqueza de detalhes de que são feitos. O mais legal é que você mesmo monta o avião e depois tem que pintá-lo. Assim, é importante saber a cor original, as insígnias dos esquadrões, suas numerações e por aí vai. Com isso, entra-se em uma realidade que não é mais a nossa. Tomamos contato com algo distante, de outra cultura e de outro tempo.

O aeromodelo é a representação de algo real, ou seja, não é um avião, mas o representa bem, chega perto do que vem a ser um, pelo menos na aparência. Existem aeromodelos (e modelos) mais sofisticados que outros. Você mesmo pode melhorar o seu fazendo, por exemplo, as marcas que os pilotos colocavam ao lado das janelas representando o número de aviões inimigos abatidos. Alguns são mais modernos, feitos com um material diferente, e alguns, os inacessíveis de tão caros, voam de verdade, por controle remoto.

Assim, tanto as modelos das passarelas, bem como estes aviões, são uma tentativa humana de fazer uma tradução de algo que vive escondido em nossas idéias, em outras culturas, outros tempos e na própria natureza.

Construir modelos seria então dar realidade a algo que só existe, supostamente, em nossa mente. Um modelo, então, pode ser a representação de uma série de coisas. Desde uma idéia (a mulher perfeita), de um objeto (avião) ou de um processo (fases da Lua, estações do ano, etc.).

Bem, e onde a física entra nessa história toda? Isso é o que veremos agora.

Os Modelos na Ciência

Vimos que os modelos podem representar desde uma idéia individual até objetos, como brinquedos ou peças de museus. Você já viu um planetário? Pois é, são modelos do sistema solar, criados a partir de teorias feitas por físicos.

Assim, a ciência também faz uso da modelagem. Um cientista cria modelos para representar uma parte da realidade que ele investiga. Por exemplo, todos sabem que o homem já foi à Lua, na década de 60. Mas, foi somente há alguns anos que uma sonda, não tripulada, foi enviada a Marte. Porém, os cientistas "conhecem" o Planeta Vermelho há séculos!! Ninguém nunca foi lá, boas fotos de satélites existem apenas há uns 10 anos, como então os cientistas podem saber sobre o clima, tipo de solo, período da órbita, atmosfera, e outras coisas desse tipo? Simples, através dos modelos que criam.

Agora, preste muita atenção no que talvez seja a parte mais importante deste texto. Um cientista para construir seus modelos não precisa utilizar somente materiais sólidos como plásticos, isopor ou madeira. Ele faz uso principalmente de conceitos e relações. São a matéria-prima da ciência. São "materiais" intelectuais, construídos pela imaginação e pela razão. Muitas vezes, estes conceitos são parecidos com coisas visíveis como,

por exemplo, o conceito de partícula. É quase imediato "vermos" uma bolinha ao lermos a palavra partícula, não é mesmo?

Porém, na maioria dos casos não se pode mais fazer uso da visão para construir modelos. Um átomo, por exemplo. Você deve ter aprendido que ele tem um núcleo constituído de prótons e nêutrons e fica rodeado de elétrons. Algum cientista "viu" isso? Com os olhos não, pois isso é impossível. Nem mesmo utilizando o mais potente dos microscópios! Eles o "vêem" através dos modelos que constroem. Comparando-os com as experiências que realizam eles são capazes de criar uma "imagem" do átomo, indo muito além do que os nossos sentidos nos revelam. Imagem não apenas no sentido de forma, como um retrato do átomo. Mas, principalmente, os modelos permitem identificar propriedades, características e comportamento destes átomos. Os modelos atômicos são, então, construídos sem a ajuda da visão.

Para isso, o cientista utiliza uma ferramenta intelectual ainda mais poderosa: a matemática. Ela passa a ser, então, o constituinte destes modelos. Logo ela, que parece que não serve para nada... engana-se, e muito, quem pensa assim.

Desta forma, a única maneira que o físico tem de acessar a realidade é justamente através dos modelos que ele cria. Para cada teoria tem-se um modelo mais competente, mais de acordo com o que se pretende explicar. Da mesma forma, na moda, as modelos magrelas, quase pele e osso, parecem representar melhor o universo feminino da alta-costura hoje em dia. Mas nem sempre foi assim. As gordinhas já foram também consideradas padrão de beleza de outra época, que por sinal deveria ser bem mais feliz para as mulheres. Vemos então, que há uma dinâmica na construção e manutenção destes modelos. Assim, alguns são modificados, outros são abandonados e surgem alguns mais novos, mais sofisticados, seja na física, no mundo da moda ou no aeromodelismo, mas cada dinâmica com suas regras.

No mundo da moda estas regras são arbitrárias, ditadas pelo gosto de alguns. A saia curta que no ano passado foi um sucesso, e todas a mulheres usavam, este ano será dita "fora de moda" e, assim, ficará esquecida no canto do guarda-roupas até que volte a fazer sucesso um outro ano qualquer. Porém, as regras são bem rígidas no mundo da ciência. Não é questão de gosto um modelo científico "fazer mais sucesso" que outro.

Hoje, qualquer estudante sabe que a Terra gira ao redor do Sol. Porém, durante mais de dois mil anos era considerado o oposto. A Terra não deixou de ser o centro do sistema solar porque saiu de moda para dar lugar ao Sol. Acontece que o modelo Geocêntrico, nome difícil para dizer que a Terra (Geo) era o centro (cêntrico), não era capaz de explicar uma série de fenômenos, como a órbita de alguns planetas. Assim, ele acabou sendo superado por outro modelo: o Heliocêntrico. O Sol (Hélio) era agora o centro. Esse novo modelo dava conta de explicar de uma maneira bem melhor estes fenômenos, bem como prever uma série de outros que, mais tarde, foram verificados.

Isso mostra que todo modelo científico proposto é testado incansavelmente, inúmeras vezes. Todas as informações que ele fornece são confrontadas com dados obtidos experimentalmente. E basta apenas um destes dados não bater para que o modelo seja colocado em xeque. É um mundo bem mais agressivo que o mundo das passarelas, pode ter certeza disso.

Para terminar, vamos falar um pouco sobre a Gisele Bündchen. Todo seu sucesso é por que ela é, atualmente, o modelo de mulher perfeita. Ela não é extremamente magra como a maioria das outras modelos (basta ver suas curvas), ficando mais próxima da mulher real. Porém, ela se aproxima tanto que se torna quase irreal.

Como veremos mais tarde em nossas aulas, ela seria como um modelo qualquer da Física Moderna. Descreve corretamente o que se quer representar na natureza, mas foge aos nossos sentidos, parecendo ser um absurdo, algo difícil de acreditar que existe. Mas existe!!

Agora, podemos responder a pergunta inicial, ligando a Gisele e um aviãozinho com o conhecimento físico. Como a única maneira que um cientista tem de entrar na essência da natureza é através dos conceitos e teorias que ele cria, na verdade, o trabalho de um físico se baseia muito em construir modelos. Ele os testa e depois faz um ajuste fino, adequando-os a uma teoria proposta. Um modelo é uma ferramenta criada pelo cientista para tentar conhecer a realidade (natureza?). Na verdade, nós não a conhecemos cara a cara. A conhecemos somente através dos modelos que criamos.

O pior disso tudo é saber que eu só posso acessar a realidade através de modelos da física ou do aeromodelismo, e nunca através do manuseio da Gisele Bündchen....

QUESTÕES

1 - Como você define o que é um modelo?

2 - De acordo com o texto, o que você entendeu por modelo?

3 - Qual seria, então, o papel dos modelos na Física?

4 - Você vê alguma conexão entre este texto e a atividade com a caixa preta? Quais?

Banco de Questões

1 - Com que os físicos constroem os modelos científicos?

2 - Por que os modelos mudam na ciência?

3 - O que faz um modelo ser mais aceito que outro na ciência?

Subsídios (Textos Complementares)

IMAGINAÇÃO CIENTÍFICA

Eu lhes peço que imaginem os campos magnéticos e elétricos. Como fazer? Sabem como eu imagino o campo elétrico e magnético? O que eu vejo realmente? Quais são as exigências da imaginação científica? É algo diferente de imaginar que uma sala está cheia de anjos invisíveis? Sim, pois não é como imaginar anjos invisíveis. É necessário um grau maior de imaginação para compreender o campo eletromagnético que para compreender anjos invisíveis. Por que? Por que para se compreender os anjos invisíveis, tudo que tenho que fazer é alterar suas propriedades *um pouquinho* – imagino-os ligeiramente visíveis e então posso ver as formas de suas asas e seus corpos – . Uma vez que consigo imaginar um anjo visível, a abstração necessária – que torne os anjos quase invisíveis é imaginá-los completamente invisíveis – é relativamente fácil. Então vocês dirão: "professor, me de uma descrição completa de ondas eletromagnéticas, embora seja ligeiramente inexata, de modo que eu possa vê-las como posso ver os anjos invisíveis. Logo modificarei a imagem para chegar a abstração necessária".

Eu sinto que não posso fazer isso. Não sei como fazê-lo. Não tenho nenhuma imagem do campo eletromagnético que de algum modo seja precisa. Deve fazer algum tempo que sei o que é um campo eletromagnético – faz 25 anos que estive na mesma posição que vocês, agora eu tenho 25 anos a mais de experiência pensando nesta ondas serpenteantes. Quando penso em descrever o campo eletromagnético no espaço, falo dos campos **E** e **B,** e agito meus braços se imagino que os posso ver. Lhes direi o que vejo. Vejo algo assim como linhas **borradas serpenteantes** – aqui e ali há um **B** e um **E** escritos sobre elas, e de alguma forma algumas linhas tem flechas – uma flecha aqui e ali que desaparece quando olho atentamente. Quando falo de campos cortando o espaço, tenho uma confusão terrível entre os símbolos que uso para descrever os objetos e os objetos mesmo. Realmente não posso fazer uma imagem sequer parecida com uma onda verdadeira. Assim que se tem uma dificuldade de se formar uma imagem, não creio que seja uma dificuldade pouco comum.

Nossa ciência apresenta terríveis dificuldades de imaginação. O grau de imaginação necessário é muito mais extremo que o necessário para algumas idéias antigas. As idéias modernas são muito difíceis de imaginar. E usamos muitas ferramentas. Usamos equações e regras matemáticas e construímos um montão de imagens. O que é pior e quando falo de campo eletromagnético no espaço, vejo uma espécie de superposição de todos os diagramas que sempre é visto a esse respeito. Não vejo se fazer pequenas linhas de campo correndo por que me preocupa que se correrem a uma velocidade diferente das que fazem desaparecer. E nem sempre vejo os campos elétricos e magnéticos porque as vezes penso que deveria ter formado uma imagem com potencial vetorial e o potencial escalar posto que talvez sejam as coisas que "serpenteiam", sejam as que possuem maior significado físico.

Talvez, você dirá: "a única esperança é tomar um ponto de vista matemático". E o que é um ponto de vista matemático? Do ponto de vista matemático há um vetor campo elétrico e um vetor campo magnético em cada ponto do espaço: é dizer, há seis números associados com cada ponto. Podem imaginar seis números associados com cada ponto? Eu não posso! Poso imaginar coisas como a temperatura a cada ponto do espaço. Isso se parece compreensível. Há um frio e um calor que variam de um lugar a outro. Mas honestamente não entendo a idéia de um *número* em cada ponto.

Talvez devamos perguntar: podemos representar o campo elétrico com algo parecido com a temperatura? Por exemplo como o descongelamento de um pedaço de gelatina? Suponhamos que imaginássemos o mundo coberto por uma camada fina de gelatina e que os campos representam uma distorção – estiramento, uma torção digamos – da gelatina. Então poderíamos visualizar o campo. Depois de "ver" qual o seu aspecto, tiraríamos a gelatina por abstração. Durante muitos anos isso foi o que a gente tratou de fazer. Maxwell, Ampére, Faraday e

outros trataram de compreender o eletromagnetismo desta forma. (As vezes eles chamaram de "éter" a gelatina abstrata.) Mas resultou que a tentativa de imaginar o campo eletromagnético desta forma era realmente estacionar na via do progresso. Desafortunadamente estamos limitados a abstração, a usar instrumentos para detectar o campo, a usar símbolos matemáticos para descrever o campo, etc. Mas, sem embargo, em certo sentido os campos são reais, porque depois de ter perdido o tempo com as equações matemáticas – fazendo e não imaginando, tratando e não imaginando os objetos – todavia podemos fazer com que os instrumentos detectem os sinais procedentes do Mariner II e fazer descobrimentos sobre galáxias a milhões de quilômetros de distância, e assim sucessivamente.

Toda esta questão de imaginar a ciência é pequena e mal entendida pelas pessoas que se dedicam a outras disciplinas. Tratam de por a prova a nossa imaginação da seguinte forma. Dizem: "aqui tem o quadro de certa pessoa em uma situação.

O que se imagina que logo acontecerá?" E quando contestamos: "não posso imaginar", pode ser que pensem que temos pouca imaginação.

Parece que tudo o que nos é permitido imaginar na ciência deve ser *compatível com tudo que conhecemos:* os campos e as ondas que temos falado não são simplesmente pensamentos felizes que somos livres para conceber como queremos, sim idéias que devem ser compatíveis com todas as leis conhecidas da física. Não nos podemos permitir imaginar seriamente coisas que estão em evidente contradição com as leis conhecidas da natureza. E assim, nossa classe de imaginação é um jogo difícil. Se deve ter suficiente imaginação para se conceber algo que nunca tenha sido visto ou ouvido. Ao mesmo tempo os pensamentos estão confinados em uma camisa de força, por assim dizer, limitado pelas condições que provem de nosso conhecimento do que realmente é a natureza. O problema de crer em algo que é novo, mas compatível com todas as coisas que foram vistas antes é uma dificuldade extrema.

Já que entramos neste tema quero falar que será possível imaginar a beleza de algo que não podemos ver. É uma questão interessante. Quando olhamos para um arco-íris, nos parece belo. Todo mundo diz: "Ah, um arco-íris". (Podem notar o cientista que sou. Tenho medo de dizer que algo é belo a menos que tenha uma forma experimental para o definir.) Mas como descreveríamos um arco-íris se estivéssemos cegos? *Estamos* cegos quando medimos o coeficiente de reflexão infravermelho do cloreto de sódio, ou quando falamos das freqüências das ondas que vem de alguma galáxia que não podemos ver – fazemos um diagrama, um gráfico – . Por exemplo, para o arco-íris, tal gráfico seria a intensidade da radiação em função da comprimento de onda medida com um espectrofotômetro para cada direção do firmamento. Geralmente essas medições dariam uma curva que seria bastante chata. Logo, certo dia, alguém descobriria que para certas condições de tempo e para certo ângulo do firmamento, o espectro da intensidade em função da longitude da onda se comportaria estranhamente, teria a uma curva. Quando o ângulo do instrumento varia só um pouquinho , o máximo da concavidade se moveria de uma longitude de onda a outra. Depois um dia uma revista de Física para cegos publicaria uma artigo técnico com o título "A intensidade da radiação em função do ângulo para certas condições de tempo". Neste artigo apareceria um gráfico tal como o da figura 1. Talvez o autor diria que em alguns ângulos grandes havia mais radiação a comprimentos de ondas grandes, mas que para ângulos pequenos o máximo de radiação caía em longitudes de ondas ais curtas. (Deste nosso ponto de vista, diríamos que a 40° a luz é predominante verde e a 42° a luz predominante é violeta).



A intensidade das ondas eletromagnéticas em função do comprimento de onda para três ângulos (medidos na direção oposta ao sol), observada somente com certas condições meteorológicas.

Agora bem, encontramos beleza no gráfico da figura. Contém muito mais detalhes que não era percebido quando olhávamos um arco-íris, porque nossos olhos não podem ver detalhes exatos da forma de um espectro. Sem dúvidas, eu olho e vejo o quanto um arco-íris é belo. Temos imaginação suficiente para ver nas curvas espectrais a mesma beleza que vemos ao olhar diretamente um arco-íris? Não sei. Mas suponha que tenha um gráfico do coeficiente de reflexão de um cristal de cloreto de sódio em função do comprimento de onda no infravermelho e também em função do ângulo. Teria uma representação de como apareceria a meus olhos se vissem no infravermelho – talvez algum "verde" brilhante, mesclado com as reflexões da superfície em um "violeta metálico" –. Seria belo, mas não sei se alguma vez pude olhar um gráfico do coeficiente de reflexão do NaCl medido por algum instrumento e dizer que tem a mesma beleza.

Por outro lado, ainda que não podemos ver a beleza no resultado particular de uma medição *possamos* ver uma certa beleza nas equações que descrevem as leis físicas gerais. Por exemplo, na equação de onda, existe algo

belo na regularidade da aparição do *x*, do *y*, do *z* e do *t*. e esta bela simetria de aparição de *x, y, z,* e *t* sugere a mente uma grande beleza que tem a ver com as quatro dimensões, a possibilidade de analisar isto e desenvolver a teoria especial da relatividade. Existe, pois, beleza abundante associada com as equações.

Texto extraido de:
Fisica – Feynman
Vol II : Electromagnetismo y materia
Feynman/Leighton/Sands
Pag. 20-13 à 20-16
Ed. ADDISON – WESLEY IBEROAMERICANA

ELE CONSERTA RÁDIOS PENSANDO!

Quando eu tinha treze ou quatorze anos, montei um laboratório na minha casa. Ele consistia numa velha caixa de madeira na qual eu coloquei algumas prateleiras. Eu tinha um aquecedor, e eu colocava óleo nele e fritava batatas todo o tempo. Eu também tinha um acumulador e um banco de lâmpadas.

Para construir o banco de lâmpadas, desci a uma loja que vendia tudo a dez ou cinco centavos, comprei alguns bocais que você pode atarraxar a uma base de madeira e conectei-os a pedaços de fio de campainha. Ao fazer diferentes combinações de interruptores — em série ou em paralelo —, eu sabia que podia conseguir diferentes voltagens. Mas o que eu não havia percebido era que a resistência de uma lâmpada depende de sua temperatura; então os resultados dos meus cálculos não foram os mesmos que aquela coisa que saía do circuito. Mas estava tudo bem, e quando as lâmpadas estavam em série, todas meio acesas, elas brilhaaaaaaaaavam, muito lindo — era o máximo!

Eu tinha um fusível no sistema, de modo que, se eu causasse um curto-circuito em qualquer coisa, o fusível explodiria. Agora eu tinha de ter um fusível que fosse mais fraco que o fusível da casa; então eu fiz meus próprios fusíveis pegando folhas de estanho e enrolando-as em um velho fusível queimado. No outro lado do meu fusível, eu tinha uma lâmpada de cinco watts; então, quando o meu fusível estourasse a carga do carregador que estava sempre alimentando, o acumulador acenderia a lâmpada. A lâmpada estava no painel de controle, atrás de um pedaço de papel de bala marrom (ele parece vermelho quando tem uma lâmpada atrás dele). Então, se alguma coisa desligasse, eu olharia no painel e haveria uma grande luz vermelha onde o fusível tivesse estourado. Era *divertido*!

Eu gostava de rádios. Eu comecei com um aparelho de cristal que eu comprara na loja, e costumava ouvi-lo à noite na cama quando eu ia dormir, com um par de fones de ouvido. Quando meu pai e minha mãe saíam até tarde da noite, eles vinham ao meu quarto e tiravam o fone de ouvido — e preocupavam-se com o que se passava na minha cabeça enquanto eu dormia.

Por essa época, inventei um alarme contra ladrões, que era uma coisa muito simplória: continha apenas uma grande bateria e uma campainha conectadas a algum fio. Quando a porta de meu quarto se abria, ela empurrava o fio contra a bateria e fechava o circuito, disparando a campainha.

Uma noite, minha mãe e meu pai voltaram para casa depois de uma noitada, e muito, muito quietamente, para não perturbar a criança, abriram a porta para entrar no meu quarto e tirar meus fones de ouvido. De repente, essa terrível campainha disparou fazendo uma algazarra dos diabos — bong bong bong bong!!! Eu pulei da cama gritando: “Funcionou! Funcionou!”

Eu tinha uma bobina Ford — uma bobina indutora de centelha de um automóvel — e Os terminais de centelha no topo do meu painel. Eu podia colocar um tubo Raytheon RH, que tinha gás argônio, do outro lado dos terminais, e a centelha criava um brilho roxo no vácuo — era o máximo!

Um dia, eu estava brincando com a bobina Ford, fundo um papel com as faíscas, e o papel pegou fogo. Não demorou muito e eu não pude mais segurá-lo, porque ele estava queimando perto dos meus dedos; então joguei-o em um cesto de lixo de metal que estava cheio de jornal. Jornal queima rápido, você sabe, e a chama parecia bastante grande lá dentro. Eu fechei a porta para que minha mãe — que estava jogando bridge com algumas amigas na sala — não descobrisse que havia fogo no meu quarto, peguei uma revista que estava por perto e coloquei-a em cima do cesto para abafar o fogo.

Depois de apagar o fogo, tirei a revista de cima do cesto, só que agora o quarto começou a encher-se de fumaça. O cesto ainda estava muito quente para eu carregá-lo; então, peguei dois alicates, peguei o cesto e segurei-o fora da janela para ventilar a fumaça.

No entanto, como lá fora havia vento, o fogo tornou a acender, e agora a revista estava fora do alcance. Então puxei o cesto em chamas para dentro de novo, e percebi que havia cortinas na janela era muito perigoso!

Bem, peguei a revista, extingui o fogo de novo e, desta vez, fiquei com a revista comigo enquanto sacudia as brasas incandescentes do cesto de lixo na rua, dois ou três andares abaixo. Então, saí do meu quarto, fechei a porta atrás de mim e disse para a minha mãe: "Vou sair para brincar"; e a fumaça saiu, vagarosamente, pelas janelas.

Também fiz alguns trabalhos com motores elétricos e construí um amplificador para uma fotocélula que comprei, que podia fazer soar uma campainha quando punha minha mão em frente à célula. Não consegui fazer tanto quanto queria, porque minha mãe estava sempre me pondo para fora, para brincar. Mas, geralmente, eu estava em casa, passando o tempo em meu laboratório.

Eu comprava rádios em bazares. Eu não tinha dinheiro, mas eles não eram muito caros — eram rádios velhos, quebrados, e eu os comprava e tentava consertá-los. Geralmente, o defeito era bastante simples — algum fio óbvio estava solto, ou alguma bobina estava quebrada ou parcialmente danificada —; então eu conseguia consertar alguns deles. Uma noite, consegui pegar a Waco em Waco, Texas, em um rádio desses — foi fantástico!

Neste mesmo rádio eu conseguia ouvir, em meu laboratório, uma estação de Schenectady, chamada WGN. Por essa época, todas as crianças — eu, meus dois primos, minha irmã e a criançada da vizinhança — ouviam pelo rádio, lá embaixo, um programa chamado Eno Crime Club — sal de frutas Eno —, era o máximo! Bem, descobri que eu podia ouvir este programa lá em cima, no meu laboratório, pela WGN, uma hora antes de ele ser transmitido em Nova York! Então, eu sabia o que ia acontecer, e, quando estávamos todos ao redor do rádio, lá embaixo, ouvindo o Eno Crime Club, eu dizia: "Sabe, há muito tempo que eu não ouço sobre fulano de tal. Aposto que ele vai aparecer".

Dois segundos depois, tchan, ele aparece! Todos ficaram excitados com isso, e eu previ algumas outras coisas. Então eles perceberam que devia ter algum truque nisso — que, de alguma forma, eu sabia. Então eu confessei que eu podia ouvir o programa antes, lá em cima.

Naturalmente, você sabe qual foi o resultado. Agora eles não podiam esperar a hora certa. Todos tïnham de sentar lá em cima, no meu laboratório, com aquele rádio desconjuntado, por quase meia hora, ouvindo o Eno Crime Club, de Schenectady.

Nessa época, morávamos em uma casa grande; ela havia sido deixada por meu avô para seus filhos, e eles não conseguiram muito dinheiro com ela, Ela era muito grande, de madeira, e eu passei uma fiação por toda a parte externa dela e coloquei tomadas em todos os cômodos. Assim eu podia ouvir os meus rádios, que estavam lá em cima no meu laboratório. Eu também tinha um alto-falante — não o alto-falante completo, mas a parte sem a grande corneta.

Um dia, quando estava com meus fones de ouvido, liguei-os ao alto-falante e descobri algo: eu punha meu dedo no alto-falante e podia ouvi-lo no fone de ouvido; eu arranhava o alto-falante e ouvia nos fones de ouvido. Então descobri que o alto-falante podia funcionar como um microfone, e sem precisar de bateria. Na escola, estávamos falando sobre Alexander Graham Bell, e então eu fiz uma demonstração do alto-falante e dos fones de ouvido. Eu não sabia à época, mas acho que era o tipo de telefone originalmente usado.

Agora eu tinha um microfone e podia transmitir lá de cima para baixo e lá de baixo para cima, usando os amplificadores de meus rádios de bazares. Aquela época, minha irmã Joan, que era nove anos mais nova do que eu, devia ter dois ou três anos, e havia um sujeito no rádio chamado Tio Don que ela gostava de ouvir. Ele cantava musiquinhas sobre "crianças boas", e coisas assim, e lia as cartas enviadas a ele por pais dizendo que: "Fulana de tal está fazendo aniversário este sábado na Avenida Flatbush, 25"

Um dia, minha prima Frances e eu sentamos Joan e dissemos que havia um programa especial que ela deveria ouvir. Então corremos lá para cima e começamos a transmitir: "Aqui é o Tio Don. Conhecemos uma garotinha muito bacana, chamada Joan, que mora em New Broadway. O aniversário dela está chegando — não hoje, mas em tal data. Ela é uma garota muito bonita". Cantamos uma musiquinha e depois fizemos uma música "*Deedle Ieet dee, doodle doodle loot doot; deedle deedle leet, doodle loot doot doo. . .*" Fizemos tudo que tínhamos combinado e, quando acabamos, descemos:

- Como foi? Gostou do programa?
- Foi bom — ela disse —, mas por que você fez a música com a boca?

Um dia recebi uma ligação: O senhor é Richard Feynman?

-Sim.

- Aqui é do hotel. Nós temos um rádio que não funciona e gostaríamos de consertá-lo. Achamos que você pode fazê-lo.

- Mas eu sou apenas um garoto — eu disse — eu não sei como...

- Sim, sabemos disso, mas gostaríamos que você viesse aqui de qualquer jeito.

Era um hotel que minha tia estava gerenciando, mas eu não sabia disso. Eu fui lá com uma grande chave de parafuso no bolso de trás (eles ainda contam a história). Bem, eu era pequeno; então, *qualquer* chave de parafuso parecia grande em meu bolso de trás.

Eu fui até o rádio e tentei consertá-lo. Eu não sabia nada, mas havia um faz-tudo no hotel, e nem ele nem eu demos por falta de um botão no reostato — para aumentar o volume —, e por isso o eixo não girava. O faz-tudo saiu, limou qualquer coisa e consertou o rádio.

O outro rádio que tentei consertar realmente não funcionava. Foi fácil: não estava ligado direito. A medida que os consertos ficavam mais complicados, eu me tornava cada vez melhor e mais minucioso. Eu mesmo comprei um miliamperímetro em Nova York e transformei-o em um voltímetro que tinha diferentes escalas, usando as medidas certas (que eu calculara) de fios de cobre muito finos. Ele não era muito preciso, mas era bom o bastante para dizer se as coisas estavam no ponto certo em diferentes conexões nos aparelhos de rádio.

O principal motivo pelo qual as pessoas me contratavam era a Depressão. Eles não tinham dinheiro para mandar seus rádios para o conserto, e ouviam falar desse menino que faria o conserto mais barato. Assim, eu subia em telhados para consertar antenas e todo o tipo de coisa. Eu tive uma série de tarefas cada vez mais difíceis. Por fim, peguei um trabalho para converter um aparelho de corrente direta em corrente alternada; foi muito difícil evitar o chiado no sistema, e eu não o montei muito certo. Eu não devia ter pego aquele trabalho, mas eu não sabia.

Um trabalho foi realmente sensacional. A época, eu estava trabalhando para um tipógrafo. Um homem que o conhecia sabia que eu estava tentando conseguir trabalhos para consertar rádios, e mandou uma pessoa na tipografia para buscar-me. O cara é obviamente pobre — seu carro está todo despencando — e vamos à sua casa que fica em uma parte barata da cidade. No caminho, eu digo:

"Qual o problema com o rádio?"

Ele diz: "Quando eu o ligo, ele faz um barulho. Depois, o barulho pára e tudo fica bem, mas eu não gosto do barulho".

Eu penso comigo mesmo: "Que diabos! Se ele não tem dinheiro, acho que pode agüentar um barulhinho por um tempo".

O tempo todo, no caminho para sua casa, ele fica falando coisas como: "Você sabe alguma coisa sobre rádios? Como você conhece rádios — você é apenas um garotinho!"

Ele vai o caminho todo pondo-me para baixo, e eu pensando "qual o problema com ele? O rádio faz um barulhinho".

Mas, quando chegamos lá, fui até o rádio e liguei-o. Barulhinho? *Meu Deus*! Não é de se estranhar que o pobre homem não suportasse o barulho. A coisa começou a rugir e tremer — wuh buh buh buh huh. Uma *enorme* quantidade de barulhos. Então ele parou e começou a tocar direito. Comecei a pensar: "Como isso acontece?"

Começo a andar de um lado para o outro, pensando, e descubro que uma das formas que isso poderia acontecer seria os tubos estarem esquentando na ordem errada, ou seja, o amplificador estar todo quente, e os tubos estarem prontos, sem nada para alimentá-los, ou haver um retroeireuito alimentando-os, ou algo errado na parte inicial — a parte de freqüência de rádio — e assim estar fazendo uma porção de barulho, captando alguma coisa. E quando o circuito de freqüência de rádio finalmente sintonizava e as voltagens da válvula se ajustavam, ficava tudo bem.

Então o cara diz: "O que você está fazendo? Você vem consertar o rádio, mas só fica andando de um lado para o outro!"

Eu digo: "Estou pensando!" E aí disse para mim mesmo: "Tudo bem, tire os tubos e reverta completamente a ordem no aparelho". (Muitos aparelhos de rádio naqueles dias usavam os mesmos tubos em diferentes lugares — acho que eram 212 ou 212-A.) Daí eu mudei os tubos de lugar, e o rádio quieto como um cordeiro; ele espera até aquecer e então funciona perfeitamente — sem barulho.

Quando uma pessoa foi negativa em relação a você, e você faz algo assim, geralmente ela muda completamente para compensar você. Ele me conseguiu outros trabalhos, e dizia a todo mundo que gênio incrível que eu era, dizendo: "Ele conserta rádios *pensando*!". Toda essa idéia de pensar para consertar um rádio — um garotinho pára e pensa, e descobre como fazê-lo — ele nunca pensou ser possível.

Os circuitos de rádio eram muito mais simples de se entender naquela época, porque tudo ficava à mostra quando se abria o aparelho. Depois que você separava o aparelho (era um grande problema achar os parafusos certos), você podia ver que aqui tinha um resistor, ali tinha um condensador, aqui isso, ali aquilo; eles eram todos rotulados. Se estivesse pingando cera do condensador, ele estava muito quente, e você podia dizer que o condensador estava queimado. Se tivesse carvão em um dos resistores, você sabia onde estava o problema. Ou, se

você não soubesse qual era o problema ao olhá-lo, era só testá-lo com seu voltímetro e ver qual a voltagem que estava passando. A voltagem nas válvulas era sempre cerca de um e meio a dois volts, e as voltagens nas placas eram de cem ou duzentos, corrente direta. Então, para mim não era difícil consertar um rádio sabendo o que estava acontecendo dentro dele, percebendo que algo não estava funcionando direito e consertando o que não funcionava.

Às vezes, levava um tempo. Eu lembro um caso particular, que levou uma tarde inteira para descobrir um resistor queimado que não estava aparente. Este caso específico foi com uma amiga da minha mãe, então eu *tinha* tempo — não tinha ninguém atrás de mim dizendo: "O que você está fazendo?" Ao contrário, estavam dizendo: "Você quer um pouco de leite ou um pedaço de bolo?" Finalmente, eu o consertei, porque eu tinha, e ainda tenho, persistência. Uma vez que eu comece um quebra-cabeças, não consigo parar. Se a amiga de minha mãe tivesse dito "não se importe, é muito trabalho", eu teria me enchido, pois eu queria acabar com aquela coisa, uma vez que já tinha ido tão longe. Eu tenho de continuar a procurar qual é o problema afinal.

É uma tendência a quebra-cabeças. É o que me faz querer decifrar os hieróglifos maias, tentar abrir cofres. Eu lembro, no segundo grau, no primeiro período, um sujeito veio para mim com um enigma em geometria, ou algo que tivesse sido dado em sua turma mais avançada de matemática. Eu não conseguia parar até que descobrisse tudo — levava de quinze a vinte minutos. Mas, durante o dia, outras pessoas vinham a mim com o mesmo problema. e eu os resolvia em questão de segundos para eles. Então, para uma pessoa, levava vinte minutos para eu fazer o trabalho, enquanto havia quatro outras pessoas que me achavam um supergênio.

Assim, adquiri uma reputação imaginária. Durante o segundo grau, todos os enigmas conhecidos pelo homem devem me ter sido apresentados. Toda maldita, louca charada que as pessoas inventavam eu conhecia. Assim, quando fui para o MIT, havia um baile, e um dos alunos sênior levou sua namorada, e ela conhecia uma porção de charadas, e ele estava dizendo a ela que eu era muito bom nisso. Então, durante o baile, ela veio até mim e disse: "Dizem que você é esperto, então aí vai uma para você: Um homem tem oito feixes de madeira para cortar...".

E eu disse: "Ele começa a cortar cada um em três partes", porque eu já havia ouvido essa.

Ela foi embora e voltou com outra, e eu já conhecia também.

Esse negócio durou um certo tempo, e, finalmente, perto do final do baile, ela veio, olhando como se fosse me pegar desta vez, e disse: "Uma mãe e uma filha estão viajando para a Europa..."

A filha pegou peste bubônica.

Ela desmoronou! Havia muito poucas pistas para achar a resposta daquela charada: era a longa história sobre como uma mãe e uma filha param em um hotel, ficam em quartos separados e no dia seguinte a mãe vai ao quarto da filha e não tem ninguém lá, ou tem outra pessoa lá, e ela diz: "Onde está minha filha?", e o vigia do hotel diz: "Que filha?", e só tem registrado o nome da mãe, e tal e coisa, e coisa e tal, e há um grande mistério sobre o que aconteceu. A resposta é: a filha pegou peste bubônica, e o hotel, não querendo ter de fechar, rapta a filha, limpa o quarto e apaga todas as evidências de que ela tenha estado lá. E uma longa narrativa, mas eu tive de ouvi-la; então, quando a menina começou com "Uma mãe e uma filha estão viajando para a Europa", eu sabia algo que começava daquela forma, dei um chute e acertei.

Tínhamos no segundo grau algo chamado equipe de álgebra, que era composta de cinco garotos, e viajávamos para diversas escolas como um time e competíamos. Sentávamos em uma fileira de cadeiras e o outro time sentava na outra fileira. Uma professora, que estava administrando a prova, tirava um envelope, e no envelope dizia: "Quarenta e cinco segundos". Ela o abre, escreve o problema no quadro-negro, e diz: "Vá" — então, na verdade, você tem mais que quarenta e cinco segundos, porque enquanto ela escreve você pode pensar. Agora o jogo era o seguinte: Você tem um pedaço de papel, e pode escrever qualquer coisa nele, *fazer* qualquer coisa. A única coisa que valia era a resposta. Se a resposta fosse "seis livros", você teria de escrever "6" e fazer um enorme círculo ao seu redor. Se o que estivesse dentro do círculo estivesse certo, você ganhava; caso contrário, você perdia.

Uma coisa era certa: era praticamente impossível resolver o problema de forma tradicional, honesta, como colocar "A é o número de livros vermelhos, B é o número de livros azuis", agonia, agonia, agonia, até você chegar a "seis livros". Isso levaria cinqüenta segundos, porque as pessoas que contavam o tempo para esses problemas contaram um pouquinho menos de tempo. Então você tinha de pensar: "Há uma forma de *visualizar* isso?" Às vezes, você podia visualizar o problema rapidamente, e às vezes você tinha de inventar outra forma para fazê-lo, e então fazer a álgebra o mais rápido que conseguisse. Era uma prática maravilhosa, e eu melhorei cada vez mais, e finalmente me tornei o cabeça do time. Aprendi a fazer álgebra muito rápido, e isso veio a calhar na faculdade. Quando tínhamos um problema de cálculo, eu era muito rápido para perceber o que estava acontecendo e fazer a álgebra.

Outra coisa que fiz no segundo grau foi inventar problemas e teoremas. Quer dizer, se estivesse fazendo qualquer coisa que fosse matemática, eu encontraria algum exemplo prático para o qual seria útil. Eu inventei um

conjunto de problemas de triângulo reto. Mas, em vez de dar o tamanho de dois lados para encontrar o terceiro, eu dava a diferença dos dois lados. Um exemplo típico era:

Há um mastro de bandeira, e há uma corda que desce do topo. Quando você segura a corda reta e para baixo, ela fica 91cm maior do que o mastro, e quando você puxa a corda bastante, ela fica a 1,5m da base do mastro. Qual a altura do mastro?

Desenvolvi algumas equações para solucionar problemas deste tipo, e percebi algumas conexões — talvez fosse $sen^2 + cos^2 = 1$ — que me lembrava trigonometria. Alguns anos antes, talvez quando eu tinha onze ou doze anos, eu havia lido um livro de trigonometria que tinha pego na biblioteca, mas o livro agora se fora. Eu só me lembrava que a trigonometria tinha algo a ver com relações entre senos e cossenos. Então comecei a trabalhar as relações desenhando triângulos, e eu mesmo testava cada Lima. Eu também calculei o seno, o cosseno e a tangente de todos os cinco graus, começando com o seno de cinco graus como dado, por adição e fórmulas de meio—ângulo que eu já havia trabalhado.

Alguns anos depois, quando estudamos trigonometria na escola, eu ainda tinha minhas anotações e vi que minhas demonstrações geralmente eram diferentes das do livro. As vezes, por não perceber uma forma fácil de fazê-las, eu dava muitas voltas até chegar ao ponto. Outras vezes, meu caminho era muito mais engenhoso — a demonstração-padrão no livro era muito mais complicada. Às vezes, eu ganhava do livro, às vezes, eu perdia.

Enquanto eu fazia toda essa trigonometria, eu não gostava dos símbolos para seno, cosseno, tangente, etc. Para mim, "sen f" parecia s vezes e vezes n vezes f! Então eu inventei outro símbolo, parecido com o sinal de raiz quadrada, que era um *sigma*, com um longo braço saindo dele, e coloquei o f subscrito. Para a tangente, era um *tau* com sua parte superior estendida, e para o cosseno, eu fiz uma espécie de *gama*, mas parecia um pouco com o símbolo de raiz quadrada.

Agora, o seno inverso era o mesmo *sigma*, mas refletido ao contrário, de modo que começava com a linha horizontal com o valor subscrito, e então o *sigma*. Este era o seno inverso, não sen^{-1} f — que era louco! Eles tinham isso nos livros! Para mim, sen^{-1} significava 1/seno, o recíproco. Então, meus simbolos eram melhores.

Eu não gostava de f(x) — que parecia para mim f vezes x. Eu também não gostava de dy/dx — você tem uma tendência a cancelar os "d" — daí eu criei um sinal diferente, algo como um sinal &. Para os logaritmos, havia um grande L estendido à direita, com a coisa que você está lidando dentro, etc.

Eu achava que meus símbolos eram tão bons, senão melhores, do que os símbolos regulares — não faz diferença alguma *quais* símbolos você usa. Mais tarde descobri que *realmente* faz diferença. Uma vez, eu estava explicando algo para outro garoto no segundo grau e, sem pensar, comecei a fazer esses símbolos, e ele disse: "Que diabos é isso?" Então eu percebi que, se quiser me comunicar com os outros, tenho de usar símbolos padrões, e aí finalmente desisti dos meus próprios símbolos.

Eu também tinha inventado um conjunto de símbolos para a máquina de escrever, como o fortran tem de fazer, de forma que eu pudesse datilografar equações. Eu também consertava máquinas de escrever, com clipes e elásticos (os elásticos não arrebentavam como fazem aqui em Los Angeles), mas eu não era um profissional de reparos; eu simplesmente as consertava para que funcionassem. Mas o problema todo de descobrir o problema e imaginar o que deveria fazer para consertá-lo — isso era interessante para mim, como uma charada.

Texto extraído de:
Deve ser brincadeira, Sr.Feynman
Feynman, Richard Phillips.
p. 11-21
Editora Universidade de Brasília, 2000.