

Lembrando Feynman

Remembering Feynman

Nestor Caticha*¹

¹Universidade de São Paulo, Instituto de Física, São Paulo, SP, Brasil

Recebido em 20 de Fevereiro, 2018. Revisado em 25 de Fevereiro, 2018. Aceito em 02 de Março, 2018.

Anedotas sobre Feynman são abundantes e cada um que teve contato com ele, das mais diversas formas, tem algo a contar. Este texto não inclui nenhuma física e nem o propósito de discutir algo técnico. Simplesmente traz algumas lembranças das aulas de física teórica dadas por Richard P. Feynman e do ambiente no California Institute of Technology no começo da década de oitenta. Mais do que técnicas, a mensagem transmitida era sobre o prazer de fazer ciência, sobre a coragem frente à dúvida e sobre a honestidade intelectual. As citações são traduções do original na minha memória.

Palavras-chave: Feynman; frigideira.

Anecdotes about Feynman are abundant and everyone who had contact with him, in any form whatsoever, has something to tell. This text does not include any physics nor has the purpose of discussing anything technical at all. It simply gathers some recollections from lectures on theoretical physics given by Richard P. Feynman and the environment at the California Institute of Technology in the early eighties. More than techniques, the message was about the pleasure of doing science, of courage in face of doubt, and intellectual honesty. Quotes are translations from the original in my memory.

Keywords: Feynman; frigideira.

Há uma tendência nos seres humanos de organizar informações, buscar padrões, representar sistemas ricos por modelos mais simples. Isso é útil, afinal Borges diz que pensar é esquecer diferenças, é generalizar, abstrair. Uma consequência é classificar e gerar estruturas hierárquicas, o que permite criar e navegar num mundo de ideias de forma mais eficiente. Outra consequência é ver ovelhas nas nuvens. Às vezes as estruturas são válidas, úteis, mas outras vezes são simplesmente ilusões. Somos especialistas em organizar e, muitas vezes, gostamos de fazer listas de classificação dos mais diversos sistemas. No mínimo, é divertido. Mas quando essas listas feitas por diferentes autores tendem a concordar sistematicamente, começa surgir algo que se parece ao que significa verdade.

Como físicos, gostamos de fazer listas de físicos ou matemáticos do passado que tiveram grande influência. Gênios talvez. Repetindo o que disse Abraham Pais, não sei definir o que é gênio, mas me sinto confortável em defender que Einstein era um gênio, se a palavra tiver algum sentido. De vez em quando, conhecemos alguém que figura frequentemente nas listas de grandes físicos ou de grandes professores. Richard P. Feynman está na categoria de grande físico e professor nas listas de tantas pessoas que fica fácil entender o interesse por ele despertado. Feynman, porém, não desperta o fascínio apenas de físicos, mas também de pessoas levemente interessadas em ciência, enquanto outros cientistas, com contribuições

talvez mais contundentes, não despertam esse interesse popular. Além de várias contribuições científicas que serão analisadas nesta coletânea por outros autores [1], ele era um grande expositor. Para entender isso basta ver seus livros e os vídeos de palestras e aulas. Não cabe aqui uma análise dos livros. Gosto muito de alguns e menos de outros. O que posso fazer é contar algumas anedotas colhidas ao longo de quatro anos de cursos feitos durante o doutorado, sempre perseguindo, não importa qual fosse, o curso que Feynman daria naquele trimestre. Os estudantes de física teórica no Caltech nos anos oitenta eram caçadores dos cursos do Feynman.

O ano letivo é dividido em quatro períodos, cada um com o nome da estação. O ano começa no outono e acaba no verão. Era obrigatório fazer quatro cursos em cada período, até passar pelos exames de qualificação escritos: Física Clássica, Física Quântica, Aplicações de Física Clássica, Aplicações de Física Quântica e Física Matemática. Depois disso viria o exame oral. Após escolher Eletrodinâmica, Física Matemática e Mecânica Quântica Relativística, ainda faltava escolher uma disciplina. O curso de Relatividade Geral seria dado por Kip Thorne, mas decidi fazê-lo no ano seguinte, pois o de Aplicações de Mecânica Quântica parecia muito mais interessante: seria dado por RPF.

A aula de Feynman era sempre um prazer. Muitas vezes além do tópico ele tinha uma história pessoal. Como exemplo lembro da aula sobre o método de WKB. Pri-

*Endereço de correspondência: nestor@if.usp.br.

meio deu uma boa aula sobre o método, escrevendo cuidadosamente as equações que levavam ao resultado desejado. Ao término, voltou para analisar o que tinha sido feito. E para isso nos contou uma história. A história dele não era limitada apenas à física; por exemplo, o fato de que a aproximação já era conhecida antes da Mecânica Quântica e tinha sido introduzida por H. Jeffreys nem foi mencionado. A história nem sequer era sobre aqueles que introduziram o método em Mecânica Quântica. A história que ele tinha para contar era sobre Fermi e a história era pessoal. Estavam no projeto Manhattan tentando calcular a vida média de algum isótopo. A discussão, como deve ser, era levada na frente do quadro-negro, com giz na mão. Tunelamento através de uma barreira de potencial. Casamento das soluções de uma região e outra só é possível para algumas energias, segue a quantização parecida à de Bohr-Sommerfeld... tudo num crescendo. E a cada passo apontava as equações que tinha escrito para nós: “até aqui chegamos com Fermi, igual ao que obtivemos agora. Mas aqui surgiu uma dúvida: em que regime valiam as aproximações feitas? A fase tinha que mudar rápida ou lentamente?” Ele e Fermi ficaram na dúvida. “Mas não vocês, vejam, aqui está a condição de validade da aproximação. Mas o grande Fermi e eu ficamos parados. Parece óbvio, mas às vezes até o grande Fermi tinha dúvidas.” Claro que “poucos minutos depois obtivemos a resposta certa”. Nesse momento ficávamos com a sensação de que sabíamos algo. Algo em que até o grande Fermi e Feynman, ao menos por alguns momentos, tinham tido dúvidas. E nunca mais esqueci das condições de validade do WKB embora nunca as tenha usado na minha vida profissional. Depois acabou a aula com alguns comentários sobre sua admiração por Fermi. Para ele, um gênio. Outras vezes também falou de Heisenberg, Pauli e Dirac. Gênios todos os dias. Uma grande surpresa foi saber sua opinião sobre Schrodinger. Um bom físico, mas que num dado ponto da sua carreira tinha se elevado à condição de gênio, chegando à equação de onda. Acho que os problemas que Schrödinger apontava na interpretação de Copenhague não eram vistos como contribuições importantes por Feynman. O fato que o livro “O que é a vida?” tenha influenciado muitos biólogos a pensar sobre o DNA do ponto de vista de informação não foi levado em conta. Ele certamente não se considerava nessa categoria mal definida de gênios, mas sabia do tamanho da sombra que fazia. Os estudantes faziam muitas perguntas, mas às vezes ninguém as fazia e ele se sentia incomodado: “simplesmente porque um grupo de suecos me deu um prêmio vocês ficam intimidados?”

Os métodos variacionais trouxeram sempre grande prazer a Feynman. Numa aula sobre como obter aproximações variacionais em problemas de MQ não relativística ele fez algo que a nenhum professor seria permitido, mas foi recebido com risadas pois era ele falando. Uma vez apresentado o método de forma geral passou aos exemplos. O átomo de hélio. Então começou a falar sobre como era importante escolher uma família de

funções de onda que fosse adequada. Obviamente de quadrado integrável. Se não decaísse exponencialmente teríamos problema, pois para um elétron perto e outro longe teríamos que ter alguma propriedade análoga ao hidrogênio. Tudo isso falando com as mãos e fazendo desenhos. E aí veio com isto: “Ou seja, vocês têm que fazer uma escolha inteligente. Eu não posso ensiná-los a ser inteligentes. Mas posso mostrar exemplos.” E virando para os estudantes levantou o giz e disse: “*Watch!*” Não tive vontade de sair da sala de aula, mas simplesmente de ficar ali, sabendo que algo inteligente viria. Sabia que não era um insulto, era simplesmente o anúncio de que o espetáculo continuaria. No final da aula chegou a um número. Não lembro qual, talvez a diferença entre as energias do primeiro estado excitado e do fundamental, e pegou seu caderno, leu algo e escreveu o valor empírico. Várias casas em acordo, com um grande sorriso olhou para a classe e disse algo assim: “Esta proximidade entre o que podemos calcular e o que medimos, significa que as propriedades da função de onda, no estado fundamental e excitado, devem ser bem representadas pelas famílias variacionais que escolhemos”. Após uma pausa, continuou: “É difícil definir o que é saber, mas este acordo significa que nós sabemos algo.” Ou seja, com ele não iríamos entrar em discussões teóricas epistemológicas. Para saber que sabemos seriam necessárias três colunas de sustentação e só estaríamos satisfeitos ao ter uma explicação com as mãos (*hand waving*), um método de cálculo que implemente as idéias descritas com as mãos, e uma comparação favorável com os dados empíricos.

Talvez a necessidade das três colunas que apoiavam as conclusões explique o que eu acho sua frase mais infeliz, sobre o fato de ninguém entender Mecânica Quântica. Para ele faltava a parte de *hand waving*, de explicar com palavras as previsões da Mecânica Quântica. Isso traz um ar de misticismo desnecessário. Acho que nisso houve uma evolução, o erro não está em tentar explicar a Mecânica Quântica em palavras, mas tentar explicar com palavras e conceitos introduzidos no século 19. Ainda sobre a importância que o teórico deve dar a resultados empíricos, explicando o sinal de menos um que aparece quando um férmion dá uma volta fechada, disse que Pauli tinha se inspirado nos dados e que sem olhar os dados você agiria como um filósofo e “nenhum filósofo teria imaginado colocar um sinal de menos um.”

Algumas poucas vezes Feynman dava aula sobre “qualquer coisa” para alunos de graduação, outras sobre coisas que ele tinha feito, que eram para a pós-graduação. As aulas sobre qualquer coisa não são fáceis. Mas essas aulas influenciavam outros professores. Um dia D. Politzer que dava o curso de Teoria de Campos, entrou na sala com cara de desanimado, ficou olhando por alguns segundos, calado, no que pareceu muito tempo. Uma vez nos tinha perguntado porque fazíamos Física Teórica, pois afinal a vida se resumiria a bater com a cabeça na parede até aparecer uma pequena fresta, na parede ou na cabeça, e então a começar de novo. “Eu não tenho vontade de dar

a aula que preparei, disse, perguntem-me qualquer coisa, acho que vai ser divertido”. E ficou pensando um pouco. Voltou a falar: “qualquer coisa de Física de Partículas ou Teoria de Campos... não sou Feynman. E sorrindo, naquele dia deu uma aula à la Feynman.”

No último trimestre de Aplicações de Mecânica Quântica, Feynman falou de coisas que ele tinha feito, Hélio 4, QED, integrais de trajetória. Começou discutindo quais eram os problemas experimentais que queríamos entender. Depois como serão os estados de mais baixa energia para um sistema de bósons e falou por algumas aulas. Só fazendo desenhos e movendo as mãos. Como seriam as correlações, os movimentos coletivos, rótons, fônons, Landau, etc., sem escrever quase nenhuma expressão matemática. E disse algo assim: “Eu pensei sobre isto nos anos 50. Lembro de uma conferência onde estava Pauli”, uma das últimas vezes em que se viram. “O Pauli me viu e disse “escutei que você tem uma teoria sobre o Hélio”. Respondi que sim” e Pauli convidou Feynman para seu quarto, onde estariam mais tranquilos para conversar. No horário combinado “fui ao quarto do Pauli e contei para ele tudo isto que falei para vocês”, disse apontando para a lousa. Num certo momento, não teria passado muito mais que uma hora, Pauli perdeu a paciência e disse “aqui está um papel, aqui um lápis. Pare de falar! Escreva sua teoria!” Com um grande sorriso nos olhou e “então eu disse: a teoria é isto, basta combinar isto”, apontando um gráfico de correlações, “com aquilo” apontando para um espectro de energia, e eis a teoria. A previsão teórica sairia em duas linhas após algumas horas de *hand waving*. A história contada tinha um primeiro ato, com a apresentação dos caracteres, incluindo os resultados experimentais e as teorias antigas, com suas vitórias e derrotas. Um segundo ato, onde se discutem, tendo como ferramenta e arma única as mãos, as características e virtudes que uma boa teoria deveria ter. Um interlúdio, onde os deuses são invocados, neste caso Pauli. Nele os deuses demonstram primeiro sua boa vontade e logo sua ira e incredulidade de que o herói possa vencer os desafios colocados. Um ato final, em que o herói mostra, triunfal, que, apesar de tudo o que tinha sido apresentado ser simples, o véu que nem os deuses podiam levantar escondia relações profundas que só seriam descobertas pelo herói da trama. Acho que por isso assistir aula de Feynman era uma experiência única. Além da beleza da física que em si já seria suficiente, nós éramos envolvidos pela trama. Um arco de desenvolvimento que permitia aos alunos sonhar com também serem cavaleiros.

O que faz alguém para ser um bom professor? Domina o material e prepara a aula. Isso talvez não seja suficiente, mas é necessário. Primeira aula de Eletrodinâmica Quântica, “vamos começar pelo começo,” e Feynman após uma breve introdução vira para o quadro-negro e começa a escrever as equações de Maxwell. Escreve, pára, duvida. Olha para cima, escreve mais um pouco. Volta-se para a classe e sem olhar nada além do seu pequeno caderno começa a folhear até dizer: “Aha!” Volta-se para o

quadro e arruma as equações, agora sem nenhuma dúvida. Enquanto escreve diz em voz alta, mas finge falar com ele mesmo: “Os alunos acham que o professor não sabe as equações de Maxwell... Mas os alunos não sabem que o professor escreveu no seu caderno as equações de Maxwell antes da aula.” Vira-se para a sala e com um sorriso no rosto e empunhando o caderno, completa “você sempre devem estar preparados”. Depois disso, até acabar sua exposição de QED não olhou mais no caderno. Mas até Feynman precisava preparar sua aula.

No ano seguinte o curso de Gravitação deveria ser dado Jon Mathews, que era um dos professores mais populares do Instituto. Era autor, junto com Walker de um simpático livro de métodos de Física Matemática, que, devo adicionar, deveria ter o subtítulo “para quem não vai ser físico matemático”. Além disso foi um dos primeiros a construir modelos de quarks. Foi o primeiro a escrever programas para fazer álgebra no computador, estimulado por Feynman. O objetivo era manipular os “giminius” que abundam na Teoria Geral da Relatividade e infestavam qualquer tentativa de fazer uma teoria quântica de campos para gravitação. Infelizmente no ano anterior saíra, junto com a sua esposa, para dar uma volta ao mundo de veleiro, perdendo-se em algum lugar no Oceano Índico. Contou-se na época que sua única bagagem de leitura era o livro Gravitation, de Misner, Thorne e Wheeler. Segundo seu amigo Walker, esse livro seria a primeira coisa a ser jogada para fora do barco caso houvesse algum problema. Surgiu então a necessidade de um substituto e este era ninguém menos que RPF.

A primeira aula estava tão cheia que havia pessoas no chão, nos corredores entre as cadeiras, no corredor que levava à sala de aula. Entrou Feynman, disse “bom dia, este é o curso de Relatividade Geral.” Escreveu as equações de Einstein, os tensores de Ricci, símbolos de Christoffel, deslocamento paralelo, giminius. Acabamos exaustos. Na próxima aula já havia algumas cadeiras vazias: raio de Schwarzschild, buracos negros, constante cosmológica, expansão do universo. Sem dormir no fim de semana, tentando sobreviver, fui na primeira aula da segunda semana. Quinze pessoas espalhadas por uma sala de 100 lugares. Entra Feynman sorrindo e pergunta: “Quantos de vocês estão matriculados? Acho que todos, pois só há quinze inscritos.” Todos levantamos a mão. Então ainda sorrindo “Bem vindos, vamos começar. Imaginem uma formiga andando em uma superfície de borracha que pode se deformar...” Essa noite dormimos mais tranquilos. Quando ele dava um simples seminário de grupo a reunião era transferida para o teatro Beckman e até o pessoal de limpeza entrava para ver o espetáculo.

Uma pergunta fundamental em Relatividade tem a ver com tempo. Lembro que ao falar sobre a natureza do tempo RPF disse com sotaque alemão “Herr Professor *** vai falar sobre a natureza do tempo, o seminário será às 5 horas”. Com isso ele encerrou a discussão filosófica sobre tempo, pois todos aqueles que fossemos à palestra teríamos alguma idéia sobre o significado do

tempo. Ao falar com sotaque alemão, lembrou de uma vez em Princeton quando ainda estudante foi perguntar algo sobre relatividade a Einstein. Bateu na porta, pediu para entrar e perguntou. Einstein olhou para ele como se a pergunta não fosse importante e começou, após uma resposta rápida, a falar de Mecânica Quântica. Depois de uma curta conversa, Einstein deu a entender que havia terminado e quando Feynman se afastava, perguntou: (Feynman com sotaque alemão) “Você acha que a Lua está lá, mesmo quando você não olha para ela?” Acho que não falou mais do que algumas poucas vezes com Einstein. Na classificação de quem merecia ser gênio, Einstein não era considerado, teria que piorar muito para poder ser considerado simples gênio.

O colóquio semanal da Física era fascinante, não só pelos palestrantes e nem sequer pelos doughnuts servidos antes do seu começo, que eram quase que a única sobremesa que comíamos na semana, mas também pela audiência. Carl Anderson sentava na primeira fila, do seu lado Max Delbruck, que morreria pouco tempo depois. Um pouco mais para o lado, Willy Fowler. Assim, só na primeira fila, as primeiras pessoas a detectar um antielétron, a entender a replicação dos vírus e o funcionamento das estrelas sintetizando os núcleos. O próprio Fowler contou num colóquio a sensação de sair do laboratório ao amanhecer e pensar que, após o que tinha feito naquela noite, era a única pessoa a saber como o sol emitia a luz que filtrada pela atmosfera tingia de vermelho as montanhas de Pasadena. Alguns membros do Conselho do Instituto (*Board of Trustees*), que nunca identifiquei, acompanhados de suas esposas completavam a primeira fila. Nas filas seguintes vários professores, Thorne, Peck, Barrish, Zachariasen, Gomez, Goodstein, Apostol, Politzer, Schwartz, Frautschi e Feynman. Um ano depois a cadeira mecânica de Stephen Hawking entrava com seu barulho característico; pouco depois Barry Simon chegou para ficar. Os estudantes de primeiro ano da pós, lá atrás, tentando parecer invisíveis. Finalmente entrava Murray Gell-Mann, a figura sempre central onde quer que estivesse.

A relação de RPF com Gell-Mann era interessante. Uma vez no colóquio semanal, o palestrante disse que algo era suficientemente fácil que qualquer um que tivesse lido as Feynman Lectures poderia entender. Gell-Mann fez o simples comentário que nem isso era necessário, ele tinha entendido sem nunca tê-las lido. Outra vez em um seminário do grupo de teoria um jovem posdoc visitante estava falando quando cometeu a ousadia de introduzir uma função de correlação um pouco diferente do usual e Feynman reclamou disso. Gell-Mann, com um sorriso no rosto disse “talvez ele tenha lido isso num artigo seu de 195*(?)”. Feynman olhou, pensou um pouco e se afundou na cadeira. Era raro que não tivesse uma resposta.

Gell-Mann dava um curso de Tópicos. Acho que era o único que ele dava. Nunca se repetiu, pois começou nos anos 60 cobrindo tudo o que havia de partículas e campos, já nos oitenta estava preocupado com teorias unificadas e

quebra de simetrias e depois cordas. O curso que fiz era só sobre teoria de grupos. Uma vez saí da minha sala para ir à sua aula e ele saiu da sua. Caminhando vários metros na minha frente, passou pelo escaninho e pegou um envelope. Abriu e foi lendo o preprint até a sala de aula, uma caminhada de poucos minutos. Começou a aula dizendo “acabo de receber um artigo muito interessante: eles fazem isto”, leu o título e colocou o artigo na mesa. Falou uma hora sobre o que eles teriam feito. No final da aula pegou o artigo e foi comparando com o que estava escrito na lousa: “Isto ...sim concordo ...aqui fizeram o mesmo.....”, até que disse “isto aqui não fizeram ...bom, poderiam ter feito, é simples” e encerrou a aula. O trabalho de vários meses dos autores ampliado em uma hora.

A sala de Feynman tinha duas portas. Uma para o corredor, a outra para a sala da secretária Helen Tuck. A sala dela tinha três portas, a terceira para a sala de Gell-Mann. Há várias histórias que ela contou em entrevistas, mas a história seguinte ela contou para alguns estudantes e eu a ouvi de meu irmão Ariel. No começo da década dos 60, Sidney Coleman estava prestes a se graduar e pediu uma carta de recomendação a Gell-Mann. A carta era simples, curta e dizia tudo o que é necessário: “Coleman é a segunda pessoa mais inteligente que conheço, depois de Dick Feynman”. Feynman entrando na sala de Helen leu a carta que estava sendo datilografada por cima do seu ombro. É natural que Coleman também tenha pedido a Feynman uma carta. Redigiu a carta e pediu a Helen que a deixasse em cima da mesa durante tempo suficiente para que Gell-Mann a lesse. A carta era curta, simples e dizia tudo o que era necessário: “Coleman é a segunda pessoa mais inteligente que conheço, depois de mim.” Embora concordassem, Gell-Mann, segundo Tuck, não classificou isto como divertido. E talvez os dois estivessem errados, pois na mesma turma de estudantes estava Ken Wilson.

Fim de curso, exame oral na sala de Feynman. Nos trimestres anteriores a prova era monstruosa, para fazer em casa, com consulta mas individual. Sob as regras do *Honor Code* do Instituto. Cheguei no horário marcado e ele pediu que me sentasse no sofá enquanto ele acabava uma conversa ao telefone. Uma semana depois, na realidade só meio minuto depois, ele vira para mim, me oferece um giz e pede para que eu explique o que é uma integral de trajetória. E você só tem uns 15 minutos. Mais que um teste de conhecimento de física era um teste de quanta adrenalina se pode aguentar.

Outra vez fui na sala dele falar de fractais, tinha algumas ideias e queria saber o que ele pensava a respeito. Sempre atencioso me pediu que explicasse o que era um fractal; não que ele não soubesse, simplesmente acho que queria saber a que tipo eu me referia. No final fui embora com algumas palavras de encorajamento, algo genérico, como não importa se está certo, mas você tem que perseguir suas idéias. Meses depois, acho que durante a copa de 82, eu estava com a camisa do Brasil, saindo da sala de um amigo italiano. A discussão tinha nos levado à

conclusão óbvia de como o Brasil ganharia facilmente o jogo. Talvez tenha sido durante a Olimpíada de 84. Ele me viu com a camiseta e disse em português “frigideira!” Fez alguns comentários mais e continuou, afastando-se como se estivesse sambando sutilmente.

Ter uma interação, por menor que seja, com alguém assim é uma grande experiência. A mensagem diária era sobre a importância da curiosidade, de conviver honestamente com a dúvida, de não ter medo das dificuldades e se divertir fazendo ciência. Uma frase repetida várias vezes era *Damn the torpedoes, full speed ahead*. O sucesso de Feynman como cientista não o caracteriza como um revolucionário mas alguém que chegou numa época em que a Mecânica Quântica estava pronta para ser explorada e ele o fez de forma extremamente criativa. Onde os pais da Mecânica Quântica tiveram dúvidas, sua geração as atacou de frente. Talvez isso explique o ambiente de “*shut up and calculate*” e também explique porque parecia refratário às questões mais filosóficas, pelo menos durante as aulas.

Uma anedota final, que escutei de outro professor, foi sua atitude quando nos seus últimos dias se recusou a tomar remédios para a dor. Sempre procurando novas aventuras decidiu que seria divertido ter mais uma grande experiência antes do final.

Referências

- [1] N. Studart, Rev. Bras. Ens. Fis. **40** (2018), unpublished.