
FÍSICA, POR QUE FAZÊ-LA? ¹

Constantino Tsallis
Centro Brasileiro de Pesquisas
Físicas (CBPF)
Rio de Janeiro-RJ

Os organizadores desta palestra pediram-me para preparar um assunto de âmbito geral. Então escolhi como título, “Física, por que fazê-la?” De fato, poderíamos dizer: ciência, por que fazê-la? Contudo, vou limitar-me à Física como um protótipo de ciência, um dos mais belos protótipos de ciência.

Das inúmeras motivações que existem para se fazer Física, vou falar daquelas que têm a ver com a condição do cientista. Não estou pretendendo convencer vocês da utilidade da ciência, como, por exemplo, para fazer uma bola ou para fabricar o metal desta cadeira. Tudo isto estamos cansados de saber. Eu quero falar de outros aspectos, dos aspectos humanos envolvendo o cientista.

Quero falar para vocês de um instante especial que ocorreu na pré-história e que acontece com cada pessoa que faz ciência, que é o da passagem da magia para a ciência. Na pré-história, a ciência nasceu da magia, daquelas formas que nossos antigos ancestrais não entendiam, daquela mistura de misticismo e religiosidade, que hoje chamamos de magia, da tentativa de racionalização dessa história. Ali nasceu a ciência, quem sabe há quantos milênios atrás. É esse instante todo especial que eu queria focalizar e que se repete no cientista cada vez que ele faz alguma descoberta, por menor que ela seja. É disso que eu quero falar.

Eu disse que a ciência nasceu da magia; veja como essa idéia é expressa por Boltzmann, o pai da física estatística. “*A fantasia é o berço da teoria; a observação experimental, seu tutor*”. A teoria nasce da fantasia, aí está o aspecto mágico. O primeiro movimento tem a ver com fantasia, tem a ver com magia. Depois vem a segunda etapa onde se vai verificar se essa idéia tem - algum contato com a realidade. Essa parte experimental dá um significado a essa fantasia. Mas o primeiro movimento é um movimento em algum sentido formal. Não vai haver, assim, coisas irracionais.

Eu trouxe aqui um texto que fala sobre o comportamento do pesquisador, extraído desse livro que foi muito badalado há trás ou Quatro anos atrás –“O Nome da Rosa”, de Humberto Eco. Neste livro há o mestre que se chama Gui-

¹ Palestra proferida na Aula Magna dos Cursos de Graduação e Pós-Graduação em Física da UFSC, abril de 1991, e transcrita pelo Conselho Editorial do CCEF.

lherme, o monge beneditino e o discípulo Adso. Este último, em um determinado instante, relata: “Entendi naquele momento qual era o modo de raciocinar do meu mestre, e pareceu-me demasiado diferente daquele do filósofo que raciocínio sobre os princípios primeiros, tanto que o seu intelecto assume quase os modos do intelecto divino. Compreendi que, quando não tinha uma resposta, Guilherme se propunha muitas delas e muito diferentes entre si. Fiquei perplexo.

-Mas então -ousei comentar -estais ainda longe da solução...

-Estou pertíssimo -disse Guilherme -mas não sei de qual.

-Então não tendes uma única resposta para vossas perguntas?

-Adso, se a tivesse ensinaria Teologia em Paris.

-Em Paris eles têm sempre a resposta verdadeira?

-Nunca -disse Guilherme -mas são muito seguros de seus erros.

-E vós -disse eu com impertinência infantil - nunca cometeis erros?

-Freqüentemente - respondeu. -Mas ao invés de conceber um único erro imagino muitos, assim não me torno escravo de nenhum.

Tive a impressão de que Guilherme não estava realmente interessado na verdade, que outra coisa não é senão a adequação entre a coisa e o intelecto. Ele ao contrário divertia-se imaginando a maior quantidade possível de possíveis.

Naquele momento, confesso, duvidei de meu mestre e surpreendi-me pensando: Ainda bem que chegou a Inquisição”.

Então Guilherme tem a psicologia do cientista em si. Este texto reflete muito bem o que acontece no fundo de um cientista quando ele está agindo, fazendo ciência. Mas eu estou falando de ciência e não defini ainda o que é ciência. Vou fazer como Françoise Sagan que, nas primeiras páginas de seu famoso livro “Um certo sorriso”, diz a seguinte frase: -“O amor é o que acontece entre duas pessoas que se amam”. Isto não diz nada, mas diz tudo. Então eu vou dizer que ciência é o que faz o cientista. Tudo o que eu vou falar vale para qualquer ciência, mas eu vou me referir especialmente à Física por várias razões. Uma delas porque eu sou físico, então eu conheço muito melhor esta forma de ciência do que as outras. Outra razão é porque a maioria de vocês são físicos ou estudantes de Física ou então têm alguma simpatia particular pela Física, já que o título da palestra é “Física, por que fazê-la?”

Acho conveniente mencionar para vocês uma palestra que Anatole Abragam, candidato ao Prêmio Nobel de Física, deu alguns anos atrás, numa seção inaugural na Academia Francesa de Ciência, com a presença do Presidente Valery Biscard d' Estaing e de ministros de seu governo. A propósito, lá os presidentes freqüentam as academias de ciências. Por aqui as atividades presidenciais são outras. Então Anatole Abragam falou de uma série de coisas e num certo momento ele distinguiu as ciências puras das ciências aplicadas. Aí ele disse: -“Elas são ciências primas, são parecidas mas são diferentes”. Para o cientista aplicado, por exemplo, o engenheiro, o médico, a filosofia de trabalho é algo assim como: “Se

funciona, não importa o porquê”. Já, o cientista puro pensa: “Se eu sei porque, não importa que não funcione”. O que interessa ao cientista puro é realmente a compreensão e não tanto as conseqüências dessa compreensão. Isso pode dar a sensação que eu digo assim: se eu sei por que, não importa nem um pouco que não funcione. Pode dar a sensação de que a ciência é qualquer coisa de frívolo, de gratuito. Eu posso até responder a essa objeção que é feita às vezes no seio da família, com os amigos, quando estamos em grupos heterogêneos: - Você faz o que? -Eu faço Física. -Ah! Física, essas coisas, esses cálculos estranhos, esses experimentos malucos. Então existe na sociedade um pouco de uma espécie de ar tétrico, e se acha que este tipo de coisa, para muitos sem sentido, é inútil. Os governos às vezes têm este tipo de pensamento. Por isso existem governos que não apóiam a pesquisa. Claro que eu poderia responder à essa objeção citando muitos exemplos. Mencionando a física nuclear, que gera bombas de cobalto medicinais que poderiam curar várias tipos de câncer, A televisão, o computador, feitos impressionantes da biologia moderna, como a descoberta do ADN, os códigos genéticos, as conseqüências disso sobre as doenças congônitas, etc.. Mas eu não quero me referir a estes exemplos, em particular. Quero me deter naquele instante mágico. Assim, vou preferir utilizar as palavras que Edmond Rostand coloca em Cyrano de Bergerac, o filme que está em cartaz, agora. Cyrano de Bergerac, o espadachim, uma espécie de Dom Quixote do século XVII, na parte final do filme, quando está ferido de morte e delirando, briga, com a espada, contra a morte, a mentira, os preconceitos, a covardia, a estupidez. Ele está brigando com todos eles no domínio que ele mesmo impôs. E ele diz (aproximadamente): “-é: inútil, eu sei, mas não combatemos na esperança do sucesso. De mim arrancaram tudo: a louro, a palma, a rosa. Ainda assim, e a despeito de todos vocês, tem uma coisa que levarei comigo. E esta coisa é meu penacho”. Essa atitude é que se assemelha àquele momento que estou tentando relatar para vocês, pois todos vocês, de alguma maneira, já devem ter sentido coisas parecidas. Como diz o povo francês: “-Estou falando disso porque se já está claro sem dizê-lo, é ainda mais claro quando é dito”.

Então por isso é que eu pergunto para vocês. Qual é a idéia de ciência que se faz o cientista? Quando eu falo $\vec{F} = m\vec{a}$, estou dizendo o quê? Estou dizendo que tudo acontece como se força fosse igual a massa vezes aceleração. Neste exemplo; estou me referindo, naturalmente, à física clássica. Isto é, tudo que eu conheço, tudo que eu verifiquei, tudo que eu tentei refutar e não consegui, que ninguém que eu saiba conseguiu, tudo isso acontece como se força = massa x aceleração, sempre e em todo lugar. O pulo que nos leva da técnica para a ciência é o mesmo pulo que nos leva da história para a poesia. E aí vou citar para vocês palavras de Aristóteles na Arte Poética. Ele diz: “-Não é ofício do poeta contar as coisas como sucederam, mas como deveriam ou poderiam ter sucedido. Por isso a poesia é mais filosófica ou doutrinal do que a história. Porquanto a primeira, ou seja, a poesia, considera principalmente as coisas em geral, a segunda considera as

coisas em termos particulares”. Por isso que eu disse que o pulo que se dá da técnica para se chegar à ciência é o mesmo pulo que se dá para passar da história para a poesia. Então Aristóteles fala de Homero. Quando fala de Homero diz que ele mostra “um não sei o que de divino”. Ele usa a palavra “divino” para falar de Homero. Aristóteles, como vocês sabem, em sua época e durante toda a Idade Média, foi não somente o filósofo mais respeitado, juntamente com Platão, mas também o cientista de maior renome. Havia uma frase que se utilizava na Idade Média, na Itália: “Aristóteles disse!”, Então está fora de discussão. Aristóteles disse que força é proporcional à velocidade. Então posso escorregar esse objeto e daqui a pouco ele pára. Isto dá a sensação de que força é proporcional à velocidade. Mas Aristóteles dizia! Então Aristóteles disse, e acabou! Precisamos chegar até Galileu para se começar a pensar que força não é proporcional à velocidade, mas à variação da velocidade. Então é sugestivo que Aristóteles, o maior cientista em várias épocas da história, tenha chamado Homero de divino. Ele atribuía tanta importância à poesia que escreveu a Arte Poética. Então vamos dizer que o cientista é um sonhador. E sobre esse sonho eu quero falar hoje.

O cientista sonha como Einstein, que o Universo é compreensível, Einstein tem uma famosa frase na qual ele disse: “- A coisa mais incompreensível no Universo é que ele parece ser compreensível”. Recentemente um cientista francês, de nome Toulouse, que tem se dedicado a um assunto de grande interesse na atualidade que é o de compreender como funciona o cérebro, acrescentou um adendo à frase de Einstein: “-O mais incompreensível deste incompreensível é que parece que nós podemos compreender como compreendemos”. A questão da inteligência tem despertado muito interesse, hoje, dentro da Física.

Quando Darwin elabora a Origem das Espécies, ele sonha que o enigma da vida não é indecifrável. Quando Newton formula a Lei da Gravitação, ele sonha poder escutar os desígnios de Deus. Quando Lineu classifica as plantas e os animais e Mendeleev classifica os elementos eles sonham, como Pitágoras, que existe uma ordem no Universo, uma ordem simples relacionada com os números naturais e que essa ordem é compreensível ao intelecto humano. O que é a obra fundamental de Freud senão um sonho em que o Universo da psique é compreensível? Nesse ponto, lembrei-me de uma frase de Calígula que diz a seu ministro: “-Traga-me a Lua”. O ministro, atônito, responde: “-Mas, Cesar, trazer a Lua é impossível!”, Aí Calígula se revolta e grita: “-De que me serve ser o Imperador de Roma se não posso ter a Lua?”. Essa revolta de Calígula está no substrato daquele que quer fazer ciência. Ele quer a Lua. Ele quer poder afirmar força é igual a massa vezes aceleração sempre, em todo lugar. Ele quer isso, a Lua! Aqui lembrei também de outra coisa interessante: O que faz o cientista para realizar esse seu sonho? Ele faz como Édipo de Sófocles, não o Édipo da TV Globo, uma novela que passou há algum tempo atrás, mas o Édipo de Sófocles, no qual se inspirou a TV Globo. Creonte está casado com a mãe de Édipo e Édipo, não sabendo que aquela é a

mãe dele, mantém um relacionamento amoroso com essa mulher e dela se separa quando descobre que é a sua mãe. A Esfinge colocava um enigma e quem não respondia o enigma era jogado no precipício e morria. E Édipo resolveu o enigma da Esfinge. Então Creonte diz para ele: “A Esfinge com seus cantos insidiosos não nos deixava o prazer de resolver o enigma”. E Édipo resolve o enigma. Édipo diz: “Bem, eu irei até a sua fonte para esclarecer esse mistério”. É essa atitude que deve tomar o cientista. Para realizar este seu sonho, o cientista não vai se satisfazer com os preparativos dos argonautas quando eles vão recuperar o velocino de ouro. Ele tem que embarcar junto com ele. Ele é um homem de ação. Ele vai ponderar, vai avaliar e depois vai agir. O cientista tem que agir. Ele vai executar algum projeto. Ele vai ter que cortar o nó górdio das convenções da sua época. Ele vai ter que agir. Ele pode não saber exatamente o que é que ele está medindo. Mas ele mede. Ele pode não saber o que ele está exatamente articulando, mas mesmo assim ele articula. O experimental não sabe exatamente o que está medindo, mas ele mede. O teórico articula discursos, mas se você apertar muito vai perceber que ele não sabe exatamente o que está articulando. Mas não importa, ele articula.

É dessa tremenda ingenuidade que provém a tremenda força da Física. Vejam: eu ignoro o que é o tempo quando falo tempo. Mas eu acho que vocês entendem a mesma coisa que eu entendo. Melhor ainda, eu acho, quando falo tempo, que vocês não entendem o que é o tempo de modo parecido a como eu não entendo o que ele é. Eu paro aí? Não, eu não quero nem saber se eu conheço o tempo. E digo mais, sem saber o que é o tempo eu digo que o relógio mecânico mede esta coisa, que eu não sei o que que é, melhor do que as pulsações de Galileu quando ele olhava as lâmpadas na Catedral de Florença ou de Pisa e descobriu as leis do isocronismo, etc.. Eu digo, também, que o relógio de quartzo mede melhor do que um relógio mecânico. Vejam que eu estou afirmando que mede melhor uma coisa que eu não sei o que é, mas que eu “sinto” que mede melhor. E que o relógio atômico mede melhor do que este último de quartzo. E você diz: -“Mas no que você baseia essa sua convicção? Explique mais claramente o que o faz pensar que o tempo é um objeto que pode ser medido melhor por um relógio atômico do Observatório Nacional.” E eu não sei responder isso. Então vocês vêem, o cientista tem qualquer coisa de rebelde, audacioso e insensato, sob pena de não mais fazer Física. Vejam o que aconteceu com Pauli. Uma vez ele estava num seminário. Pauli era um orador muito brilhante. Era uma pessoa que quando surgiam perguntas ou objeções ele geralmente as arrasava, na hora. Mas durante o seminário fizeram-lhe uma objeção que o fez balançar enormemente. Ele pensou um pouco, largou o giz e disse: “-Essa objeção torna absurdo eu continuar a desenvolver este Seminário. Vou parar por aqui porque o que vou falar agora deve estar errado. Esta minha idéia é muito louca”. Só que Niels Bohr estava na sala, e ele se levantou, veio descendo pelas escadas, e disse: “- Não, não! O que interessa não é se essa sua

idéia é louca. O que interessa é saber se essa sua idéia é suficientemente louca”. Vejam que quem está dizendo isso para Pauli é Bohr!

Mas eu queria voltar a falar sobre esse aspecto da ingenuidade do cientista de se permitir falar de tempo, por exemplo, e muitas outras coisas sem saber direito do que ele está falando e medindo, escrevendo equações e tal, e, se você apertar, ele não sabe mais o porquê ele faz aquilo. Então eu vou voltar a este assunto falando de Newton. E a gente tem que perceber a grandeza de Newton. Por exemplo, Einstein, falando da tremenda genialidade intelectual de Newton, disse: “-Talvez o maior avanço do pensamento que um único indivíduo teve o privilégio de fazer”. Essa era a opinião de Einstein sobre Newton. Vocês sabem que “Os Princípios”, de Newton, junto com a Bíblia e a “Origem das Espécies”, de Darwin, são três best sellers da civilização ocidental. No túmulo de Newton, em Londres, está escrito esta frase (aproximada): “Nós, humanos, devemos nos regozijar por Newton ter existido, pois a sua simples existência eleva todos nós, eleva a espécie humana”. Pelo fato de um Newton ter existido, todos nós somos um pouco mais elevados. Então vejamos como esse gigante do pensamento humano definiu o tempo. Vejamos a sua definição. Ele disse para os discípulos: “tempo absoluto, verdadeiro e matemático, de si mesmo e por sua própria natureza, fluindo uniformemente, sem consideração por qualquer coisa externa, tempo é um atributo de Deus, é a duração infinita de Deus”. Quem não sabia o que era tempo, não ficou sabendo hoje! Essa definição de tempo parece incrivelmente ingênua. Mas ele fala isso e escreve isso e descobre a Lei dos Movimentos, como os corpos se movimentam, permitindo que se programe hoje, com muita precisão, as órbitas dos satélites, as viagens para a Lua, a hora em que ocorrem as marés em Florianópolis, etc.. Só que Newton era um gênio e ele sabia disso. Tem aquele que não sabe, e não sabe que não sabe, e aquele que não sabe, mas sabe que não sabe. Newton é o segundo. Ele, no fundo, certamente devia perceber que havia qualquer coisa incômoda na sua definição de tempo. Ele sabia que aquilo não era perfeito. Ele sabia que ele não sabia. E vejam como ele se auto definia, apesar de ter sido reconhecido como o maior cientista do mundo na sua época. Ele disse: “-Eu ignoro como sou percebido pelos outros (pelos outros ele era percebido como um tremendo gênio!), mas eu me sinto como um menino que na praia procura algumas pedras mais redondas do que outras, enquanto na minha frente se estende infinito um oceano desconhecido”. Então ele é um menino que procura na praia algumas pedras mais redondas do que outras e ele sabe que na sua frente existe uma imensidão desconhecida. Ele procura uma vez, duas vezes, três vezes, etc.

O cientista assume a sua ignorância e, mesmo assim, como no mito de Sísifo, ele não pára de empurrar sua pedra. Vocês sabem que o castigo de Sísifo foi o de ter que empurrar uma tremenda pedra ladeira acima, em uma montanha, e o castigo era que quando a pedra chegava lá no final voltava para baixo e ele tinha que empurrá-la de novo para cima. Então, analisando o que se passa na

cabeça de Sísifo, por que ele empurra essa pedra sabendo que quando ela for chegar lá vai cair e ele vai ter que empurrá-la de novo? O que move esse homem? Porque por mais que você avance sempre tem a sua frente um oceano infinito desconhecido. Por que você então fica procurando pedrinhas redondas? O mistério da condição humana! Isso me lembra Fernando Pessoa quando ele diz: “O Universo não é uma idéia minha. A minha idéia do Universo é que é uma idéia minha”. Então o cientista sabe que ele não vai conseguir aprender aquela coisa toda. Mas ele tenta lograr alguma coisa dele e diz: “A minha idéia do Universo, essa idéia é minha”. Então isso lhe é suficiente para ele avançar.

Eu queria tocar agora num outro desses mananciais do sonho do cientista. E este manancial é a beleza. Vou citar palavras de Manoel Bandeira quando ele diz: “Quando está vestida, ninguém imagina os mundos que escondes sob tuas roupas”. Então o cientista vai ter no momento da descoberta essa fascinação desses mundos. O instante da descoberta científica, por mais modesta que seja, dá uma sensação de iluminação, dá uma sensação de você ver uma paisagem virgem que ninguém nunca viu. É neste instante que você diz: “Eu sou o único na Terra que viu essa coisa”. Não importa, pode ser uma coisa modesta, mas este instante é especial. É como certos instantes na vida que são muito breves, porém muito intensos. E por isso são inesquecíveis! É o que a Psicologia às vezes chama de “insight”. É uma instantânea revelação de alguma coisa, que faz compreender subitamente, de uma maneira um pouco irracional e um pouco mágica, alguma coisa. É o que faz rir, é aquele instante quando você entende a piada. Vocês sabem que Freud dedicou um volume inteiro de sua obra para analisar o que é, na psicologia humana, que faz você rir quando você entende alguma coisa. Este instante é esse instante da descoberta. Vocês sabem, deste exemplo muito conhecido, que quando Einstein elaborou a Relatividade Geral predisse uma pequeníssima deflexão da luz. Então foram feitas, na época, duas experiências para verificar se a predição de Einstein era correta ou não. Uma dessas experiências foi feita no Brasil, em Sobral, no Nordeste. O outro experimento foi feito na África do Sul. Os primeiros resultados experimentais que chegaram para Einstein foram os de Sobral, que não confirmaram a teoria dele. Ai ele disse a famosa frase: “O experimento está errado porque a teoria é bela demais para estar errada”. Efetivamente, o experimento de Sobral tinha sido feito errado. Quando chegaram os resultados experimentais do segundo experimento, confirmaram a predição de Einstein. Acho que Einstein previu uma deflexão de 1 min e 27 e os resultados experimentais foram de 1 min e 25. Uma diferença mínima!

A sensação profunda de beleza de uma descoberta científica se constitui, na vivência do descobridor, como uma prova esmagadora e inamovível da veracidade da descoberta. Naquele instante a sensação que ele tem é de uma vivência esmagadora. Ele pode estar errado, logo depois ele vai começar a ser no-

vamente um ser racional. Ele vai criticar e concordar e refletir que pode estar errado. Mas no instante da descoberta ele tem uma sensação fascinante.

Eu queria também citar a contribuição de Boltzmann. Vocês sabem que ele formulou a Teoria Cinética dos Gases, em 1870, mais ou menos. Segundo ele, os gases, os fluidos, estão cheios de bolinhas que se mexem, que vibram. Isso foi uma tremenda revolução porque Aristóteles havia dito que no Universo há três reinos: animal, vegetal e mineral. E os fluidos pertenciam ao reino mineral. E o próprio dos minerais é não terem movimento próprio, não terem movimento espontâneo. Aí vem Boltzmann dizer que os fluidos são feitos de bolinhas que vibram espontaneamente! Com isso ele está destruindo a classificação de Aristóteles. E foi tremendamente combatido. Ele acabou mal, como vocês sabem. Em 1906 ele se suicidou, na Itália. Mas por que essa veemência de Boltzmann veicular afirmativas que destruiriam o que Aristóteles tinha dito? Porque era muito simples. A idéia dele era basicamente a de que se eu joga uma moeda, e eu não sei nada sobre a moeda, o melhor que eu posso dizer é que as duas possibilidades, cara ou coroa são equiprováveis. Isto é, elas têm a mesma chance de ocorrer. Esta hipótese de equiprobabilidade atua como sinônimo de ignorância. Porque eu ignoro, eu tenho que considera equiprovável! Dessa afirmativa tão primitiva, tão simples e bela, ele construiu a Mecânica Estatística. Os princípios da Termodinâmica se transformaram em teoremas da Mecânica Estatística. Com a Mecânica Estatística, baseado nesta probabilidade de cara e coroa, você pode provar o 1º Princípio, o 2º Princípio, etc.. Como ele conseguiu este feito incrível? Toda Termodinâmica é tido como um pequeno subproduto do fato de que, se você não sabe nada, o melhor que você pode imaginar é equiprobabilidade!

Vejam outro exemplo da angústia dos cientistas, essas coisas estranhas que às vezes acontecem. Se a gente tivesse que escrever uma frase para condensar a Mecânica Quântica, uma frase para ser colocada na Lua para mostrar que a Humanidade, um dia, entendeu a Mecânica Quântica, esta frase certamente seria: “Medir é perturbar”. Quando eu meço qual quer coisa, eu perturbo o objeto medido. Se eu não o perturbasse, eu não o poderia medir. Essa era uma idéia que Newton desconhecia: que ao medir, se perturba. Os psicólogos estão cansados de saber isso. Quando se faz um teste psicométrico, sabe-se que as pessoas ficam nervosas. Antigamente, na Física, isso era um mistério. Na Física foi preciso chegar à Mecânica Quântica para se perceber o que significa medir e tirar todas as conseqüências lógicas desse fato. E uma dessas conseqüências lógicas é o Princípio de Incerteza de Heisenberg. É o Princípio de Exclusão de Pauli. E dessa frase “medir é perturbar” eu posso tirar uma conseqüência: que eu entendo porque eu não consigo atravessar isto aqui; eu consigo entender a impenetrabilidade da matéria. Eu não consigo atravessar a matéria porque os elétrons da minha mão não gostam de coexistir espacialmente com os elétrons dessa madeira e por causa

disto o Princípio de Exclusão de Pauli diz que não consigo passar através da madeira.

Isso é impressionante! Dizer essas coisas que Aristóteles não dizia. Mas como se sentiam essas pessoas, os pais da Mecânica Quântica, quando eles percebiam essas coisas? Vejam o que dizia Einstein: “Era como se o solo tivesse sido retirado debaixo de nossos pés”. Isso era tremendamente incômodo, intelectualmente. Vejam o que dizia Heisenberg. Ele estava discutindo com Bohr: “Lembro-me das discussões com Bohr que se prolongavam por horas a fio penetrando noite adentro e terminando quase em desespero. E quando, no final da discussão, eu saía sozinho para dar um passeio pelo parque vizinho, indagava continuamente de mim mesmo a mesma coisa: poderá a natureza ser realmente tão absurda como aparentava nesses experimentos incômodos?” O que provocava tanto desassossego? Uma das coisas era a dualidade onda-partícula. Uma partícula era um objeto localizado no espaço; onda era um objeto deslocalizado no espaço. Dizer que uma coisa é, ao mesmo tempo, onda e partícula parece uma loucura. Parece o limite da lógica. Parece violar o Princípio de não contradição, que diz: o que é não pode não ser simultaneamente. Dizer que um elétron é, ao mesmo tempo, onda e partícula parece violar o Princípio de não contradição. E o que sobra então da ciência se isto acontecer? Se as leis da natureza violam o Princípio de não contradição, a lógica se torna inútil para a ciência. Então não temos mais nada a fazer. Essa perplexidade era vivida intensamente em Göttingen, na virada do século. Porque, apesar de toda essa angústia, dessa dúvida, eles sentiam que estavam iniciando uma nova era na ciência. Eles percebiam isso tão intimamente que colocaram na entrada de Göttingen uma placa com os seguintes dizeres: “Extra Gottinga non est vita”. Fora de Göttingen não existe vida. Vida é aqui, dentro de Göttingen. O que acontecia ali? Acontecia que davam aula simultaneamente Niels Bohr e de Broglie. E Bohr explicava para os alunos o átomo de Bohr-. Então o átomo de Bohr tem a bolinha no meio, o núcleo, e em volta ficam girando outras bolinhas, etc. Então era isso que acontecia segunda, quarta e sexta. E terça, quinta e sábado era de Broglie. Ele falava que tal núcleo tem uma onda em volta. E ambos ganharam o Prêmio Nobel, mesmo um dizendo que o elétron era uma partícula e o outro dizendo que não era uma partícula! Então os estudantes em Göttingen diziam: “Em Göttingen, o elétron é uma partícula segunda, quarta e sexta e é uma onda terça, quinta e sábado!”

Vejam outro exemplo de noções não cotidianas, dessa insensatez que eu mencionei no início. Vejam esta frase: “Nós físicos estamos convencidos de que a distinção entre passado, presente e futuro é apenas uma ilusão, embora querida” (A. Einstein). Einstein teve o “insight” da Relatividade Restrita quando ele tinha 14 anos de idade. Ele vivia em Berna. Quando pegava o bonde para ir à escola ficava na parte de trás do mesmo. Olhando para a torre de Berna, que tinha um relógio, ele pensou o que acontecer-ia se estivesse em cima do raio de luz que

vinha do relógio? Porque eu vejo o relógio? Porque incide luz em cima dele, se reflete e entra no meu olho. Einstein disse: o que me aconteceria se eu estivesse montado em cima do raio de luz que vem andando? Eu veria o relógio como? Eu veria o relógio parado! E disse: portanto o tempo depende de onde eu estou observando. Se eu estou viajando na velocidade da luz, o tempo está parado. Esse pensamento, quando ele tinha 14 anos, perseguiu-o obsessivamente durante anos, e aos vinte e poucos anos ele fez a Teoria da Relatividade.

Guardando as imensas e devidas proporções eu quero relatar um exemplo meu, o que me fez ganhar um prêmio de 16 mil dólares nos anos 80 no Estados Unidos. Uma das poucas vezes que fazer ciência se demonstrou rentável! Quem me dera tivesse todos os dias uma idéia que valesse 16.000 dólares! Como foi essa idéia como nasceu? Eu estava deitado numa rede em minha casa pensando: tentando resolver um problema que fazia tempo, dez ou quinze dias, eu não conseguia solucionar. E, de repente me veio ao pensamento que 80% de 20% é a mesma coisa que 20% de 80% . A ordem dos fatores não altera o produto. Uma coisa absolutamente banal. Contudo, esse pensamento foi a chave para resolver o meu problema. Consegui fazer uma geometrização de certos fenômenos térmicos. Essa geometrização gerou várias teses. Isso, enfim, ocorreu repentinamente, sem nenhum motivo assim nacional; de modo irracional, de modo mágico, com um pensamento trivial de que 80% de 20% é a mesma coisa que 20% de 80% !

Bom, mas eu queria relatar duas experiências recentes das quais eu participei e que achei interessantes e que mostram outros aspectos dessa questão humana envolvendo o cientista e a ciência. Então, primeiro vou contar o que aconteceu em Tóquio, em dezembro do ano passado. Em Tóquio houve uma reunião onde se participava por convite; você não podia se inscrever. Você precisava ser explicitamente convidado. O tema da reunião era: “Para onde está caminhando a Física” E estavam participando seis Prêmios Nobel, 5 de Física, 1 de Química e tinha também uma dúzia de candidatos a Prêmio Nobel. Uma reunião muito interessante. Uma das reuniões mais interessantes das quais eu já participei na minha vida. Então vejam a coisa estranha que aconteceu. Eu tenho uma idéia, compartilhada com outras pessoas, que o tempo não é contínuo, mas que ele é discreto, ele é descontínuo, e o espaço também. Isto é, o espaço e o tempo são descontínuos. Não é o momento agora de contar para vocês porque eu acho isso. Mas, o fato é que um dos conferencistas convidados falou, na conferência, que tinha gravado raios-x provenientes de estrelas distantes e transformou esses espectros de raios-x em espectros sonoros, que ele nos fez ouvir na conferência. Era “música” gerada pelas estrelas e ele disse que conseguia distinguir diversas classes de estrelas porque elas produziam diversas classes de músicas. Quando ele ouvia a música (já estava treinado), ele conseguia distinguir a qual classe pertencia a estrela. E falou numas outras coisas que me fizeram pensar: Será que ele acha que o espaço e o tempo são discretos? Ai, no final da palestra eu perguntei:- Você diria que o

que você falou faz pensar que o tempo e o espaço são discretos, não contínuos? Ai ele enrolou, enrolou, enrolou e não respondeu. No final ele falou: “I don't know if I have answered to your question”. Ai eu disse: - Não, não respondeu. Vou fazê-la de novo, mais simplesmente: “-Você acredita que o espaço e o tempo são contínuas? Diga sim ou não”. Ai ele enrolou de novo e não me respondeu. Houve a seguir um intervalo e saiu todo mundo. Eu fui ao banheiro e quem eu encontro? Ele! Ai eu disse: “Você não me respondeu”. Ele disse: “É”. “Mas você pensa que o tempo é discreto?” insisti. Ai ele disse: “Eu creio que ele é discreto, mas eu não podia dizer isso numa seção aberta”. Ele se sentiu envergonhado de falar em público sobre uma idéia extravagante sem provas! Na equação de Newton, $\vec{F} = m \vec{a}$, tempo é uma variável contínua. Na equação de Schrödinger da mecânica quântica o tempo é uma variável contínua. Em toda a Física que nós aprendemos o tempo é uma variável contínua. Mas a convicção dele era que o tempo era discreto! Então vejam como essas coisas são importantes. Ai um chinês de uns 72 anos viu que eu estava conversando com o japonês. Depois, quando eu estava saindo do banheiro, ele me perguntou: “O que ele acha?” E eu respondi: “Ele acha que o tempo é discreto”. Então o chinês ficou feliz e disse: “Eu também acho”. A seguir aproximaram-se dois estudantes japoneses, estudantes de doutorado, e também indagaram: “Vou perguntou?” “Eu perguntei”. “E o que ele disse?” “Ele disse que acha que o tempo é discreto. E aquele chinês que está lá olhando também”. Então é interessante este aspecto porque mostra a pressão psicológica sobre o cientista que diz alguma coisa meio insensata. Mas como essa coisa é forte! Como eles ficaram perseguindo a questão, como eu próprio fiquei! Eu perguntei três vezes para o japonês, para ele me dizer o que pensava, e só na terceira ele me deu a resposta, e num banheiro os outros também estavam atentos. Eles queriam também a resposta. Então existe essa pressão social, as existe uma força interna para quem quer responder essa questão.

Esse caso do professor japonês era a primeira coisa que eu queria citar para vocês. A segunda é o extremo oposto. Eu falei para vocês que nessa reunião estava cheio de Prêmios Nobel ou candidatos a esse prêmio. Agora vou contar outro fato relacionado com a mesma questão, que ocorreu em um colégio de 2º grau, no Rio de Janeiro. Quando em visita a um centro técnico eu conheci uma menina e lhe propus que desenvolvêssemos um experimento numa classe de alunos com 16 anos de idade, homens e mulheres, para verificar se eles achavam se o tempo é contínuo ou discreto. Então fomos para a escola e a coisa se organizou da seguinte maneira. Dividimos mais ou menos 60 alunos em 3 grupos. O primeiro grupo ia defender que o tempo é contínuo. O segundo que o tempo é discreto. E o terceiro grupo ia julgar qual das duas argumentações era a melhor. O vencedor ia ganhar nota 10, o perdedor nota 7. Os juizes iam ser classificados por nós, por mim, pela menina, o namorado, também professor da escola, e mais um que estava lá. Eram 4 professores de Física. Nós íamos dar a nota para o grupo dos juizes

entre 7 e 10, dependendo da riqueza dos detalhes que escolhessem para justificar o vencedor. Naquela escola, durante quinze dias, só se falou no tempo. Os outros alunos, das mais variadas idades, foram reclamar na Direção porque eles não tinham sido escolhidos também. Os alunos perguntaram para o professor de Português, para o de Química; o sujeito que servia o cafezinho na cozinha opinava; tinha alunos que passavam com livros do Einstein debaixo do braço; enfim, foram quinze dias de ebulição nesta escola. Ai chegou o dia do julgamento. Tinha o grupo, o advogado defensor e o seu assistente, que apresentavam a argumentação; o grupo contrário tinha direito à réplica, e o primeiro grupo tinha direito à tréplica e depois se abria o debate para as pessoas que estavam sentados. Foi interessantíssimo. No final o grupo dos juizes se reuniu na sala ao lado para deliberar sobre quem tinha vencido. E venceu, disparado, que o tempo é contínuo.

Eu tinha falado para os estudantes sobre o que era contínuo e descontínuo, mas sem mostrar nenhuma simpatia por uma ou outra opção para não interferir na discussão. Mas, no encerramento, eu disse que eu tinha simpatia por pensar que o tempo é discreto e não contínuo, que eu tinha simpatia pelas equações de diferenças finitas, cujo limite contínuo são as equações diferenciais, $\vec{F} = m \vec{a}$, a equação de Schrödinger, a equação de Einstein, etc., etc.. Aí eu disse que ia fazer uma objeção à argumentação do grupo vencedor. Por que venceu o grupo do tempo contínuo? Porque eles fizeram uma objeção aos advogados do tempo discreto que os desestruturou. A objeção era a seguinte: entre este instante e outro instante o que é que tem? Tem o tempo! Então o tempo é contínuo, não dá para ser discreto. Entre um instante e outro instante, o que tem? Tem um instante. Então os juízes votaram maciçamente que o tempo é contínuo. Aí, quase no encerramento, eu disse: “-Olha, eu vou contar quantos somos”. Comecei: um, dois, três, quatro, cinco, seis... Alguém não foi contado porque eu pulei o cinco vírgula dois? Por que? Porque acham normal que, quando eu conto as pessoas, eu passo de cinco para seis. Porque é assim. Um, dois, três, quatro, cinco, seis. Alguém ficou incomodado porque não contei 3,3 ou 5,2? Não tem nada no meio! Eles ficaram me olhando. De três passo para quatro, não tem nada no meio. Que negócio é esse que tem alguma coisa no meio? E essa coisa que eles falaram, o que tem entre dois instantes, porque vocês têm na cabeça que o tempo é contínuo e então tem que ter alguma coisa no meio. Para contar pessoas ou dedos, vocês não têm na cabeça os números reais, vocês têm na cabeça os números naturais. Então acham muito normal que eu conte 5, 6,... e quando pulo 5,3, não acham nada chocante, acham natural. Sabem o que aconteceu? O advogado líder do Grupo do tempo contínuo se levantou e começou a se desculpar: “Pô, eu fiz com que todo mundo ganhasse 10 e eles, que têm razão, vão ganhar nota 7”! Esse exemplo ilustra também os mecanismos sociais que agem sobre o pensamento individual do cientista.

Bom, agora quero mostrar um protótipo de caos para sistemas dinâmicos não lineares. Eu gostaria que vocês vissem as figuras que são geradas com essa equação tremendamente simples, que é a equação de uma parábola, quando tratada no plano complexo. Esta parábola é um protótipo para entender o fenômeno de turbulência, quando se mexe com nuvens, que é parecido a quando se mexe com a fumaça de um cigarro, que é parecido a quando se mexe com a água: Quando você abre um pouco a torneira, a água sai em regime laminar e você pode se aproximar porque pode prever que essa água que está saindo não vai salpicar. Se você abre muito a torneira ela entra em regime turbulento. Você então se afasta porque agora não há mais predictibilidade. Algumas gotas estão indo para baixo e outras vêm salpicar a sua calça. Houve uma mudança de regime. Passou-se do regime laminar para o regime turbulento. Este fenômeno acontece nas Cataratas do Iguaçu, acontece em quinhentas mil coisas na Natureza; em sistemas de fluidos, em sistemas mecânicos, eletrônicos, óticos. Realmente, além do caos da economia, estamos inundados de caos na Natureza, das mais variadas espécies. O protótipo para esse caos é esta parábola, que eu mencionei antes. Então eu gostaria que vocês vissem o que essa equação, que permite descrever uma imensidão de fenômenos na natureza, gera no computador. (O palestrante, agora, vai apresentar alguns slides).

As fotografias foram geradas algumas no CBPF, por meu grupo, e outras na Fluminense, em Niterói, pelo Paulo M. de Oliveira e Thadeu Pena, no computador. Eu escolhi as melhores para mostrar para vocês². Então vejam, isso aqui é um diagrama de fases. Diagrama de fases é uma generalização do conceito de temperatura crítica. Temperatura crítica é, por exemplo, a temperatura de ebulição da água, a temperatura de congelamento da água ou a temperatura de Curie, de um ímã. Se for um ímã uniforme, depois de uma certa temperatura ele perde a magnetização. Então, a generalização do conceito de temperatura crítica ou ponto crítico é um diagrama de fases. Em vez de ter pontos críticos, temos linhas críticas, superfícies críticas, volumes críticos. Esses volumes foram cortados, e é um corte que vocês estão vendo aqui. Esta figura foi gerada por uma pequena variação da parábola que mencionei antes. Em vez de ser uma parábola, tem uma pequena descontinuidade. O estudo dessa parte aqui foi objeto de uma tese de doutorado. Então vejam o que acontece, vejam como é incrível que de uma equação de parábola com uma pequena descontinuidade possa sair isso tudo. Uma parábola é a equação mais simples depois da equação da reta. Aí pegamos essa parte do quadradinho onde tem essa cauda do peixe e ampliamos esse quadradinho. O que

² Nota do Editor: As fotografias apresentadas pelo palestrante não foram aqui reproduzidas porque, para ficarem inteligíveis, exigiriam impressão a cores e não temos condições de apresentá-las nesta forma. Algumas delas podem ser encontradas na revista *Ciência Hoje*, v. 14, n. 80. p. 40-46. 1992.

tem entre duas caudas? Peixes. E pegamos a cauda marrom daquele peixe e ampliamos; o que tem? Peixes. Pegamos a cauda desse peixe laranja e ampliamos e tem peixes. Acompanhe a escala. Já estamos entrando numa coisinha de nada dentro do plano que está sendo analisado. Aí pegamos a cauda azul desse peixe aí, ampliamos e temos peixes. E você pega um ponto qualquer dessa região aqui, que parece um mosaico bizantino, amplia, e tem peixes. Essa coisa aqui é um oceano de peixes, que surge de uma parábola com uma pequena descontinuidade. Vejam a riqueza de coisas que podem sair de uma equação tão simples. Agora vou passar outras figuras com a única intenção de mostrar para vocês como pode surgir beleza de uma equação tremendamente simples, que tem muito a ver com fenômenos da natureza. Tudo isso (outro slide) são cortes variados de um multifractal, que é a generalização do conceito de fractal, um multifractal embebido num espaço tridimensional. Olha que interessante, uma figura antropomórfica (mais um slide). Parece ter olhos, nariz, boca. Essa figura lembra a Biologia. E saiu de uma equação parabólica! Está ligada a caos. Será que no código genético dos seres vivos tem, não sei em que espaços de variáveis, alguma parábola e que a multiplicação celular acaba gerando pessoas que têm um aspecto parecido? Essa outra é uma figura que, por unanimidade, lá no CBPF, foi considerada uma figura erótica. Outro detalhe (novo slide). Alguns vêem uma orquídea ou um pássaro voando. Então, dessas figuras fizemos posters e colocamos no corredor lá onde eu trabalho e saiu um artigo no Jornal do Brasil dizendo que um jornalista visitou o CBPF e que num dos seus corredores parecia que a pessoa se encontrava num museu de arte moderna. E eram essas figuras, que parecem jóias. Mas não existe joalheiro no mundo que possa fazer jóias com essa beleza. Tudo isso gerado por uma equação parabólica com uma descontinuidade.

Então, eu vou finalizar dizendo que nesse exemplo vocês vêem mais uma vez aquela coisa que eu estava falando antes, que é o seguinte: a utopia da ciência é a verdade. A utopia da arte é a beleza. Mas essas figuras que vimos têm verdade e têm beleza. Verdade porque correspondem a uma série de fenômenos da natureza. Beleza porque, vocês concordam comigo, elas têm beleza. Então vemos como é possível unificar, como queria Platão, verdade e beleza. E aí, para terminar, eu vou citar as palavras do poeta John Keats que diz: “Truth is beauty and beauty is truth”. Obrigado.