

CONTINGÊNCIA NAS CIÊNCIAS FÍSICAS

Fernando Haas

Resumo

Inicialmente, este trabalho define brevemente o que são acaso e contingência e a diferença entre estes termos. Argumenta-se que um dos objetivos da Física seria a eliminação, tanto quanto possível, do acaso nos fenômenos naturais. A contingência, entretanto, seria incontornável. Exemplos do contingente na física clássica e na física quântica são então apresentados. Na física clássica, o contingente surge como reflexo de um desconhecimento de certos detalhes do sistema sob análise, detalhes estes basicamente de natureza operacional. Na física quântica, pelo contrário, aparentemente há uma limitação intrínseca do que se pode conhecer. Conseqüentemente, abrem-se as portas para contingências de fundo muito mais radical, levando ao indeterminismo como um aspecto fundamental do universo.

Palavras-chave: contingência; acaso; física clássica; física quântica; determinismo; indeterminismo.

1 Introdução

À primeira vista, ao menos segundo o gosto popular, a idéia de ciência visa sobretudo a eliminar por completo o acaso e a contingência. Aqui, mais uma vez, segundo reza a lenda, entende-se “ciência” como sendo o conjunto das ciências ditas exatas. Deixando de lado detalhes de como resolver a complexa questão que é definir ciência, talvez sejamos tentados a apontar a Física como sendo a ciência exata por excelência. Portanto, o menos informado deveria ver com espanto um título como o do presente trabalho, o qual visa apresentar brevemente alguns cenários onde o acaso e a contingência têm papel relevante na Física.

Muitos são os preconceitos que rondam as ciências classificadas como sendo “duras”. Os profissionais da área obviamente sentem na pele até onde vai este preconceito. Quantas vezes nós recebemos um olhar de desconfiança, ao declararmos impávidos que gastamos nosso tempo a decifrar os enigmas da

natureza. Melhor abordagem, talvez, fosse omitirmos nossa atividade real, afirmando sermos peritos em arranjos de flores. Nada contra as flores; pelo contrário, trata-se de um exemplo como outro qualquer.

Neste sentido, parece oportuno debatermos rapidamente alguns elementos que nos permitam identificar até onde vai a tão decantada exatidão das ciências exatas. Em particular, para não perdermos o foco, seria útil nos atermos unicamente a esta singela questão, a da presença do acaso e da contingência na Física.

Começemos, então, lembrando que há distinção entre as palavras acaso e contingência. Contingente (Brüseke, 2004) é algo que deveria ser tal como é, mas que poderia até mesmo ser diferente. Aqui temos uma aparente contradição, mas o que se está entendendo por “dever ser”? No contexto, a expressão “dever ser” relaciona-se com um arcabouço teórico que dá suporte ao evento. Para a Física, um evento faz sentido se não estiver em contradição com algum modelo físico-matemático apropriado. Entretanto, fazer sentido não implica necessidade. Temos aqui uma diferença, entre o que é necessário e o que é possível. O contingente não é necessário nem impossível (Brüseke, 2005).

Em contrapartida, “acaso” não tem qualquer relação com alguma descrição lógica do universo. Não há explicação ou causa para um evento advindo do acaso. Aliás, a própria etimologia da palavra nos faz desconfiar que não pode haver causa para o acaso...

Esta aparente discussão semântica nos dá um ponto de partida adequado, porque agora vemos claramente que um dos papéis da Física é eliminar (tanto quanto possível) o acaso. O mesmo não se aplica necessariamente ao que é contingente. Tentaremos ilustrar esta afirmação através de alguns exemplos no restante deste trabalho. De fato, não são poucas as situações da Física que são descritas em termos de eventos contingentes e nos será muito fácil mencionar alguns.

Uma abordagem mais radical diria que um objetivo da Física é exterminar não apenas o acaso, mas também a contingência. O fantástico é que neste ponto talvez não tenhamos muita escolha: a Natureza é o que é, e não o que alguns desejam. Dentro de nossa limitadíssima perspectiva como seres humanos, já provamos ter alguma habilidade para realizar experimentos em laboratório ou para interpretar fenômenos que ocorrem ao natural. Pois bem, aparentemente há espaço para a contingência, conforme veremos ao debatermos brevemente certos fenômenos do mundo quântico. Einstein, com sua famosa frase “Deus não joga dados” talvez seja o mais perfeito adversário da contingência na Física. O problema é que se estivermos lendo corretamente o livro da Natureza, parece não haver como escapar da

contingência. Ao menos, esta é a melhor leitura de que dispomos no presente. No futuro, quem sabe?

Quando o centroavante colorado Geraldão cabeceou para o fundo do gol gremista a bola que decidiu o título gaúcho de 1982, lembro-me até hoje que o narrador comentou “o diabo faz a panela, mas não a tampa”. Ou seja, a lei natural escolhera o Colorado como o triunfante, restando saber as circunstâncias em que isto ocorreria. Pode haver ilustração melhor do conceito de contingência?

Na continuação, desenvolveremos alguns aspectos da contingência, na física clássica e na física quântica.

2 Contingência na física clássica

A chamada física clássica se articula em termos de regras determinísticas unicamente. Exemplo disso são as leis de Newton para a dinâmica, descrevendo o movimento de um sistema de partículas interagindo segundo um conjunto de forças. A teoria da relatividade, tanto a da relatividade especial quanto a da relatividade geral, compartilha deste determinismo da física clássica, embora seja não-newtoniana. Mais exatamente, a física newtoniana é um caso limite da relatividade, para velocidades baixas em comparação com a velocidade da luz. De qualquer modo, na teoria da relatividade, como na mecânica newtoniana, de um certo presente decorre um, e apenas um, futuro.

A física clássica imperou soberana durante alguns séculos, dando suporte a um sem-número de aplicações bem sucedidas. Mesmo hoje em dia, uma grande parcela das tecnologias que nos cercam são baseadas na física clássica. Isto vale para boa parte da engenharia, por exemplo. Foi só no começo do século XX que se descobriu processos, especialmente no mundo do muito pequeno, na escala atômica, que não são tratados de modo adequado pela física clássica. A física atômica e a física nuclear precisam de uma teoria mais exata, a física quântica. Esta nova teoria física, por mais que pareça esotérica, trouxe consigo novas tecnologias com conseqüências drásticas na sociedade. Um exemplo é a física nuclear (a qual também utiliza conceitos da teoria da relatividade), com grande impacto na questão energética. Entre muitas outras aplicações da física quântica, temos também a descrição do funcionamento de materiais eletrônicos pequenos ou muito pequenos, vitais para a informática. Ou seja, sem física quântica não haveria informática em alta escala tal como a conhecemos.

A física clássica se articula em algumas grandes áreas, a saber: a mecânica clássica, a teoria eletromagnética e a física estatística. A teoria eletromagnética e a física estatística também recebem uma versão quântica, respectivamente, na eletrodinâ-

mica quântica e na física estatística quântica. Entretanto, por hora vejamos o panorama clássico.

A mecânica clássica se destina à descrição do movimento, ou seja, a uma análise das trajetórias seguidas pelas partículas que compõe um dado sistema a partir do conhecimento das forças atuantes. Neste contexto, o estado mecânico de um sistema de partículas é especificado pelo conjunto de posições e velocidades de todos os seus componentes num certo instante. Conhecidos de modo exato este estado e as forças (interações) atuantes, decorre uma, e apenas uma, seqüência de estados dinâmicos do sistema mecânico. Este modelo implica uma subdivisão do todo em um certo conjunto de partes e o conhecimento das interações entre as partes.

O exemplo por excelência da mecânica clássica é dado pelo chamado problema de dois corpos, ou seja, o problema de como descrever o movimento de duas massas interagindo entre si através da força gravitacional. Tal modelo fornece uma aproximação bastante interessante do que acontece entre Terra e Sol, ou entre a Terra e a Lua. São desprezadas as interações entre os dois objetos e as demais massas do universo. Estritamente, é um atalho questionável: a força gravitacional dos demais planetas do sistema solar induz perturbações na órbita da Terra em torno do Sol. Entretanto, muitas vezes a ciência avança por simplificações adequadas, uma vez que não é factível o tratamento simultâneo de todos os efeitos físicos.

Na abordagem da mecânica clássica, o problema dos dois corpos identifica as duas partes relevantes a considerar. Por exemplo, a Terra e o Sol. A seguir, é eleita a força que rege a interação entre estes objetos, a força gravitacional. Através das equações de Newton, são então obtidas as trajetórias seguidas, o que se consegue de modo exato neste problema. Onde então haveria porventura algo de contingente neste exemplo?

Um dos aspectos do contingente no problema de dois corpos ou em qualquer problema tratado pela mecânica clássica está nas chamadas condições iniciais. Ou seja, a distância entre os dois corpos e as respectivas velocidades, num certo instante. As condições iniciais não são definidas de antemão no arcabouço newtoniano e para cada condição inicial se tem um certo comportamento. Por exemplo, as trajetórias do sistema podem levar a um afastamento contínuo, como no caso em que um foguete escapa à força gravitacional da Terra, ou a trajetórias fechadas, como no caso das órbitas de um planeta em torno do Sol.

Quem escolhe as condições iniciais? O que se pode fazer é comparar os dados observacionais com a solução genérica das equações de Newton. Ou seja, o contingente apareceria aqui como uma conseqüência da nossa falta de informação sobre o sistema, falta de informação que seria resolvida graças à experi-

mentação. Entretanto, é de se conceber que uma entidade superior que tenha sido habilitada a observar as partículas que compõem Terra e Sol desde o início do universo fosse capaz de estabelecer quais seriam as condições iniciais adequadas. Por mirabolante que possa parecer, esta idéia de uma entidade superior capaz de processar a informação de todos os movimentos de todas as partículas relevantes do sistema não encontra obstáculo fundamental na física clássica. Uma tal entidade seria capaz de eliminar o contingente referente às condições iniciais.

Comentários semelhantes se aplicariam, no problema de dois corpos, aos valores das massas dos corpos envolvidos. A massa da Terra e a massa do Sol nós conhecemos apenas graças a observações astronômicas. Parâmetros semelhantes, que vêm ao sabor do contingente, estão presentes em todos os demais problemas da mecânica clássica. Por exemplo, parâmetros semelhantes existem no movimento de partículas carregadas (qual é o valor das cargas?), no valor da constante elástica de uma mola no caso do movimento harmônico, e assim por diante. Tais parâmetros, contingentes, são fixados para que o modelo matemático reproduza as experiências realizadas com o sistema sob estudo. Isto não significa que estes parâmetros possam ser, eventualmente, determinados de modo exato, caso existisse um ser ou talvez um supercomputador capaz de processar toda a informação sobre o estado mecânico de todos os componentes do sistema. A constante elástica de uma mola, que determina se a mola é mais ou menos dura, neste sentido, seria calculada conhecendo-se a localização, a composição e o movimento (agitação térmica) de todas as moléculas que a compõem. Logicamente, não é operacional almejar a um tal conhecimento detalhado, dada a enorme quantidade de informação requerida. O que se faz é abdicar desta estratégia, condensando nossa desinformação admitindo algumas lacunas referentes ao desconhecimento do valor dos parâmetros do sistema. Não obstante, na mecânica clássica não vimos, até agora, contingências de caráter fundamental, mas apenas de conteúdo pragmático. Para a mente estritamente newtoniana, há uma realidade objetiva no estado mecânico de toda as partículas compondo um certo sistema.

Outros parâmetros que aparecem nas equações da mecânica clássica têm contingência de uma natureza bem diversa. No nosso exemplo-padrão, o do sistema de dois corpos, a força gravitacional só fica especificada completamente caso seja fornecido o valor da constante gravitacional, G . Tendo em vista os resultados observacionais, acredita-se que a constante gravitacional tenha o valor de $6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$, utilizando unidades padrão. O que estabelece que o valor da constante gravitacional tenha este ou aquele valor numérico? Uma ou outra escolha tem resultados drásticos sobre como é a natureza. Neste contexto,

se a constante gravitacional tivesse um valor maior, eventualmente não haveria sistema solar, com todos os planetas colapsando no Sol.

Há quem possa dizer que o valor das constantes de acoplamento, como a constante gravitacional, é fixado pelo fato de existirmos. Um universo onde a força eletromagnética, ou a força gravitacional, fosse mais ou menos intensa não seria habitável. A matéria não se agregaria em átomos, moléculas, planetas, estrelas e galáxias para que lá pelas tantas surgisse a vida e, então, a vida inteligente. Eventualmente, outros universos são caracterizados por constantes de acoplamento diferentes, mas ninguém sobreviveria nesses universos para contar a história. Deixando de lado tal conjectura, resta-nos entender como a mente newtoniana encara o valor aparentemente aleatório da constante gravitacional. Outras constantes fundamentais na natureza, que aparentemente têm valores arbitrários, são a carga do elétron, a velocidade da luz e a constante de Boltzmann. Se fôssemos admitir a física quântica, haveríamos de incluir a constante de Planck também como uma das constantes fundamentais.

Uma contingência de natureza semelhante ao do valor numérico das constantes fundamentais aparece pelo fato de vivermos basicamente num universo feito de matéria, e não de antimatéria. Podemos rapidamente explicar do que se trata a antimatéria. Para cada partícula, existe uma antipartícula com características iguais, porém com carga oposta. Por exemplo, para o elétron existe uma antipartícula chamada de pósitron, cuja carga é exatamente a carga do elétron porém com sinal positivo. Pois bem, quando matéria e antimatéria colidem, ocorre a conversão da sua massa em energia, num processo de aniquilação. Do ponto de vista teórico, nada impediria que os átomos considerassem pósitrons na vizinhança do núcleo, e não elétrons. Por algum motivo, aparentemente houve um excesso de matéria no início do cosmos, de tal forma que grande parte da antimatéria teria sido aniquilada juntamente com uma quantidade equivalente de matéria. Não se sabe o porquê de inicialmente ter havido mais matéria do que antimatéria, sendo este excesso atribuído ao contingente.

O ideal, não apenas no contexto newtoniano como também para toda a Física, seria obter uma teoria que fosse capaz de prever de antemão os valores das constantes fundamentais. Numa perspectiva platônica, o mais adequado seria obter o valor das constantes fundamentais a partir de primeiros princípios, de uma matemática apropriada. Talvez alguma teoria geométrica fosse suficiente para nos explicar o porquê da carga do elétron ter o valor que tem. Um sonho distante seria então uma teoria que não necessitasse de constantes fundamentais arbitrárias, fixadas unicamente pela experiência. Esta aleatoriedade, esta contingência, nem mesmo um ser superior como descrevemos há

pouco seria capaz de suplantar. A menos que este ser superior também fosse geômetra e sacasse do bolso uma teoria final... A física clássica teria como um de seus objetivos a obtenção de descrições mais completas, fornecendo também os valores numéricos das constantes fundamentais. A contingência aqui seria apenas temporária, fruto de um estágio incompleto do conhecimento. Mais uma vez, a contingência na física clássica não parece ser incontornável, ao menos em princípio.

Podemos resumir o papel do contingente na mecânica clássica com a seguinte imagem. Digamos que no instante inicial do universo fossem conhecidas de modo exato as posições e as velocidades de todas as partículas do cosmos. Uma entidade superior, quiçá um supercomputador, seria eventualmente capaz de dispor desta informação. Tendo então em mãos também as interações entre todas as partículas do cosmos, o que envolve fixar o valor numérico das constantes físicas fundamentais, decorreria uma, e apenas uma, evolução. A mecânica clássica não dá lugar ao indeterminismo. O que há é desconhecimento, seja das condições iniciais, seja de uma teoria mais avançada que produzisse ao natural os valores numéricos das constantes fundamentais. Tal é a situação na mecânica clássica.

O que se escuta eventualmente, que a teoria do caos mostra que o indeterminismo existe mesmo na física clássica, não é correto. A teoria do caos, que mais propriamente pode ser encarada apenas como um ramo da matemática, não altera o conteúdo da física clássica no que se refere ao seu determinismo. O que se chama de caos é a chamada sensibilidade às condições iniciais. Ou seja, pequenas alterações nas condições iniciais podem acarretar grandes desvios no comportamento de um dado sistema. O caos já havia sido notado como sendo o padrão genérico e não a exceção nos modelos matemáticos por Poincaré no século XIX. O que aconteceu nas últimas décadas foi que a teoria do caos determinístico tem sido aplicada com mais afinco e sistematicidade a uma grande variedade de processos físicos ou mesmo a questões da matemática pura, não necessariamente aplicada. Fenômenos que aparecem em climatologia, em sistemas mecânicos, em processos turbulentos, em dinâmicas de ecossistemas, são todos melhor entendidos sob o ponto de vista da teoria do caos determinístico. Isto contradiz nossa impressão inicial, a de que a natureza se comporta segundo padrões regulares. O movimento dos planetas, o ciclo das estações, nossa vida organizada segundo uma rotina, parecem ser exemplos que dão suporte à crença de que a natureza escolhe o regular e não o caótico. Entretanto, conforme já demonstrado por Poincaré, é o irregular a regra, e não a exceção. De todo modo, a contingência referente às condições iniciais não agrega nenhuma contingência de caráter fundamental à mecânica clássica. A teoria do caos determinístico, como já diz o nome, utiliza modelos

matemáticos estritamente determinísticos. Não há nenhum elemento novo decorrente da teoria do caos, ao menos no que concerne ao determinismo ou não da natureza. O que proporciona a teoria do caos é a descoberta de ordem na desordem, ou seja, um tratamento adequado matematicamente para problemas nos quais aparentemente reina apenas a confusão.

A física estatística (clássica) é outra das áreas básicas na física clássica. Dedicar-se ao tratamento dos sistemas compostos por um número muito grande de partículas. Em princípio, no contexto newtoniano, bastaria seguir a trajetória de todas estas partículas, o que demandaria a resolução de um número enorme de equações. Como esta não é uma abordagem prática, adota-se uma descrição probabilística. Assim, por exemplo, o objetivo seria saber qual a fração de partículas que têm posições e velocidades dentro de uma certa faixa. Não seria necessário saber o estado de cada uma das partículas, bastando esta informação probabilística. Uma afirmação típica na física estatística seria “1% das partículas tem velocidade entre 400 e 420 metros por segundo”.

A física estatística clássica utiliza como ferramenta de base a mecânica newtoniana, dela extraíndo equações de cunho probabilístico. A origem destas probabilidades é apenas operacional, pelo fato de ser pouco prático almejar seguir todas as trajetórias de todos os componentes do sistema sob estudo. Voltada para o mundo macroscópico, a física estatística dá conta de um sem-número de sistemas. A termodinâmica e a física do calor, por exemplo, decorrem como uma consequência das leis da física estatística (ou mecânica estatística). Para os que se recordam, em particular, diz a segunda lei da termodinâmica que existe uma quantidade, a entropia, que jamais decresce quando se trata de um sistema fechado. O sistema fechado por excelência é o universo, de modo que decorre da segunda lei da termodinâmica o não decréscimo da entropia do universo. Na linguagem da física estatística, o que acontece é que a entropia de um sistema fechado até pode diminuir, mas a probabilidade disto ocorrer é desprezível. Seria como se uma gota de tinta diluída num copo d'água lá pelas tantas se reconstituísse. Tal evento é possível, mas improvável. Outro exemplo, já no âmbito da cosmologia, seria fornecido pelo “big bang”. Neste evento, toda a matéria e toda a energia do universo estaria concentrada num núcleo primordial. Este seria um estado altamente improvável por uma série de razões (que não nos cabe discutir aqui), de modo que teria ocorrido uma flutuação dando origem ao universo tal como o conhecemos.

A física estatística oferece técnicas de aplicação quase universal, bastando que o sistema sob escrutínio seja composto por um número grande de agentes. Isto tem estendido cada vez mais o âmbito de aplicações da física estatística ou, talvez se

possa dizer, dos métodos matemáticos da física estatística. A economia, o comportamento de uma bolsa de valores, a física da vida, a dinâmica da molécula de DNA ou do dobramento de proteínas, tudo isto tem sido alvo da física estatística. Vale notar, entretanto, que a física estatística clássica está num grau abaixo na hierarquia das áreas básicas da física clássica. De fato, são as equações de Newton que originam as equações da física estatística, de modo que a mecânica clássica teria um papel mais fundamental neste sentido. Daí decorre de modo imediato que a contingência que existe na física estatística não é diferente daquela que ocorre na mecânica clássica e sobre a qual já discutimos.

Vale observar, entretanto, que os partidários da teoria da emergência sustentam que a composição de um sistema maior a partir de um certo número de subsistemas pode trazer fenômenos novos. Numa visão reducionista, parece difícil explicar a emergência da inteligência a partir de um agregado de moléculas orgânicas. Argumentam os partidários da teoria da emergência, portanto, que “o todo é maior do que as partes”. Por outro lado, pessoalmente acho difícil entender que o todo possa ser maior do que as partes, de uma perspectiva puramente newtoniano-mecanicista. Talvez se possa compreender tais fenômenos quando se parte da física quântica, na qual se postula de modo mais incisivo uma conexão essencial entre os componentes do universo. De qualquer maneira, admito certa dificuldade para identificar de que maneira a existência (ou não) de fenômenos emergentes tenha alguma contribuição no tocante à contingência.

O debate pode ser estendido à questão da existência ou não de uma teoria final, ou talvez uma “teoria de tudo”. Neste contexto, haveria uma teoria mestra da qual todas as demais surgiriam como conseqüência. Naturalmente, qualquer candidata à teoria final deveria estar voltada às partículas elementares, que são o cimento básico do qual é feito o universo. Das partes, então, e das interações entre as partes, surgiria toda a complexidade. Nesta visão, a física das partículas elementares seria a própria Física por excelência, enquanto os demais ramos desta ciência estariam num patamar inferior. Por exemplo, a física estatística, voltada para os eventos do mundo macroscópico, viria como decorrência de processos mais básicos envolvendo o mundo microscópico. O problema é que na prática ninguém sabe e muito provavelmente ninguém jamais saberá como se poderia deduzir o comportamento de sistemas complexos (envolvendo até mesmo os seres vivos) a partir de uma teoria fundamental. Do ponto de vista prático, é melhor partir desde o princípio de modelos matemáticos já adaptados aos sistemas que se pretende analisar. Neste sentido, não parece interessar muito a um ecólogo ponderar que os gnus na savana são compostos por quarks e então, a partir do comportamento dinâmico dos

quarks, descobrir os hábitos dos gnus. Fica, portanto, a impressão de que a existência ou não de uma “teoria de tudo” seja uma questão de fé ou gosto pessoal. Não nos seria possível verificar se tal teoria final explicaria também os fenômenos complexos que nos rodeiam no mundo macroscópico, pelo excesso de informação contido numa tal teoria final. O debate entre os partidários de uma teoria final e aqueles que crêem numa visão anti-reducionista inclusive é extrapolado para uma disputa política entre áreas dentro da comunidade dos físicos (Arden, 2003).

O determinismo também é aplicável à teoria eletromagnética clássica, que é o modelo matemático para a evolução temporal e espacial dos campos elétrico e magnético. As equações de Maxwell, que resumem a teoria eletromagnética, são dos conjuntos de equações mais resistentes a intempéries. Mesmo a eletrodinâmica quântica, que reformula o conceito de campo eletromagnético graças a um tratamento detalhado da interação da luz com a matéria via troca de partículas de energia (fótons), mantém intactas as equações de Maxwell. Muito bem, pois as equações de Maxwell, sob apropriadas condições matemáticas que dependem do tipo de problema sob análise, possuem solução única. Isto quer dizer que os fenômenos do eletromagnetismo clássico, entre os quais os que aparecem na propagação da luz, são determinísticos. Os aspectos contingentes da teoria eletromagnética se resumem às condições iniciais (e, de modo semelhante, às chamadas “condições de contorno”) e ao valor das suas constantes físicas fundamentais, que são o da carga elementar e da velocidade da luz. Incidentalmente, a mesma velocidade da luz que tem um papel fundamental na teoria da relatividade, sendo a velocidade limite no universo.

Em resumo, a física clássica não apresenta o contingente como algo incontornável, ao menos em princípio. O que existe seria uma estrutura causal, onde de uma certa causa decorre imediatamente um certo efeito. Deste modo, causa e efeito seriam por assim dizer simultâneos (Paty, 2004), mas ordenados temporalmente, sem espaço para o contingente e, muito menos ainda, para o acaso. Tal estrutura causal inclusive é respeitada na teoria da relatividade. Situação bem diferente ocorre na física quântica, a ser tratada na próxima seção.

3 Contingência na física quântica

A contingência na física quântica pode ser ilustrada pela seguinte situação. Uma determinada amostra de um elemento químico radioativo contém, digamos, um milhão de núcleos instáveis. A radioatividade ocorre por instabilidades estruturais de certos núcleos, incapazes de acomodar de modo dócil os prótons e nêutrons que lhe compõem. Tal instabilidade surge pela

repulsão elétrica entre os prótons, sabidamente de carga elétrica idêntica. Muitos elementos não são radioativos, pelo fato de a chamada força nuclear forte ser capaz de “colar” os prótons e os nêutrons sem lhes permitir maiores revoltas. Núcleos radioativos, pelo contrário, volta e meia emitem partículas ou radiação eletromagnética, numa tentativa de obter uma configuração mais estável. Tais elementos radioativos seriam caracterizados por uma certa meia-vida, que é o tempo necessário para que metade dos núcleos de uma amostra decaia emitindo radiação. No nosso conjunto de um milhão de núcleos radioativos, digamos que a meia-vida seja de um dia. Isto quer dizer que, após um dia, quinhentos mil núcleos terão emitido radiação.

O problema é que a radioatividade é um processo eminentemente quântico, baseado no chamado fenômeno do “tunelamento”. Usando uma imagem da física clássica, tunelamento seria algo como uma pessoa ir de encontro a uma parede e emergir do outro lado como se fosse um fantasma. Por estranho que pareça, tunelamento é algo que pode acontecer na física quântica e acontece de verdade, inclusive em dispositivos eletrônicos importantes como o diodo túnel. No caso da radioatividade por emissão de uma partícula alfa (um núcleo do átomo de hélio), a partícula alfa precisa tunelar escapando do puxão da força nuclear forte que lhe prende ao núcleo. No nosso exemplo, sabemos que aproximadamente quinhentos mil núcleos emitirão uma partícula alfa após um dia, mas não sabemos precisamente quando ao longo do dia, nem quais dos núcleos emitirão a radiação. Pior do que isso, ao menos dentro do arcabouço da física quântica tal como estabelecido hoje em dia, não há nenhuma esperança de ter um conhecimento melhor do que este, meramente estatístico.

É importante observar que a física quântica está num patamar superior à física clássica. As idéias básicas da física quântica, conforme lançadas até o final da década de 1920 do século passado, inclusive, são admitidas mesmo pelas teorias de grande unificação sugeridas atualmente. A física clássica aparece como uma aproximação onde a constante de Planck pode ser tomada como sendo zero. Curiosamente, na física clássica não há contingências a não ser por razões de praticidade. Já na física quântica há um elemento radicalmente novo. Como se dá esta transição do quântico para o clássico é tema de pesquisa ativa. Cada vez mais, a sociedade adquire técnicas para a manipulação controlada de sistemas microscópicos, como no caso da nanotecnologia, com conseqüências imprevisíveis a longo prazo até mesmo no âmbito social. É razoável esperar que o estudo de sistemas de tamanho “moderado”, nem microscópico, nem macroscópico, forneça pistas de como se dá a transição para o mundo clássico a partir de uma realidade mais fundamental,

quântica. As tecnologias para tais estudos estão cada vez mais desenvolvidas.

A estrutura causal clássica, no qual de um dado presente surge de modo instantâneo um, e apenas um, futuro, não sobrevive completamente na física quântica. Por um lado, a física quântica sempre parte de uma equação determinística. Seja na equação de Schrödinger, seja na equação de Dirac, seja na equação de Pauli, enfim, nas teorias quânticas resta ao menos um elemento determinístico, uma equação de evolução que não admite contingência. Entretanto, no processo de medição há algo de diferente. A partir de um certo estado quântico, visto como uma sobreposição de vários estados, pode ocorrer um resultado ou outro, quando feita a medição. O que fornece a física quântica são as probabilidades de um ou outro resultado.

Um exemplo do discutido no último parágrafo seria o de um núcleo atômico, cujo estado seria a sobreposição dos estados decaído-não decaído. No instante em que algum aparelho fosse utilizado para descobrir se o núcleo decaiu ou não, uma escolha seria feita. Digamos, 30% de chance para o núcleo haver decaído e 70% de chance para o núcleo já haver decaído. A medição “induziria” a escolha definitiva de um destes dois estados. Na física clássica, não haveria chance de uma tal sobreposição: desde sempre, ou o núcleo estaria em um, e apenas um, estado, decaído ou não decaído.

O que ocorre no momento da interação do observado com o aparelho de medida? Em que lugar ou em que instante se dá a quebra do esquema causal clássico, da sucessão contínua de estados univocamente determinados? Muito do charlatanismo em torno da física quântica (empreendedorismo quântico etc.) vem justamente porque este processo é mesmo muito misterioso. Se admite que um núcleo possa decair, mas o que acontece “entre” o estado original e o decaído? Tais saltos quânticos parecem refratários a qualquer olhar excessivamente curioso. A relação entre causa e consequência deixa de ser caracterizada por um tempo contínuo. Para sermos mais exatos, em princípio até poder-se-ia admitir que o decaimento do núcleo ocorresse instantaneamente, mas, neste caso, demonstra-se que haveria uma total perda de informação a respeito da energia do sistema. Este resultado vem como consequência de uma das formas do princípio de Heisenberg, vinculando as incertezas de tempo e energia.

O decaimento de um núcleo radioativo ou de qualquer outro tipo de salto quântico, não é descrito, dentro do paradigma da física quântica, como um processo dinâmico, uma sucessão de estados físicos devidamente especificados. Existe o antes (o sistema não perturbado) e o depois (ou o núcleo decaiu ou não decaiu, após uma observação através, digamos, de um contador Geiger). O que ocorre entre o antes e o depois não nos é dito pela teoria.

O surpreendente é que a física quântica é a teoria física melhor testada em laboratório. A este respeito, basta lembrar que a eletrodinâmica quântica prevê um certo valor para o momento magnético do elétron e que este valor foi verificado experimentalmente com uma exatidão de treze casas após a vírgula... E esta não é a história completa. Na eletrodinâmica quântica vicejam quantidades de valor infinito, o que é conhecido como o problema das divergências. O que faz o físico teórico quando encontra um infinito? Ele espera que apareça uma quantidade cujo valor seja menos infinito (∞) e então cancela. É claro que estamos exagerando muito, e não chega a ser tão grotesco assim, tanto é que há todo um receituário destinado a tratar do problema das divergências. Este receituário, que leva o nome de renormalização dos infinitos, permite um cálculo tão preciso para o momento magnético do elétron e de muitas outras quantidades de interesse. Observemos as margens de erro nas outras áreas, na química, na biologia e assim por diante. Onde mais são encontradas previsões testadas com uma exatidão de treze casas após a vírgula? Na maioria das vezes, o cientista dessas áreas já deve se dar por satisfeito se há concordância qualitativa entre suas previsões e o que é observado.

Atualmente, não parece haver grandes dúvidas quanto ao sucesso operacional da física quântica, quanto ao seu poderio para fornecer explicações precisas para os processos naturais. Entretanto, está longe de haver um consenso sobre seu conteúdo epistemológico. A interpretação de Copenhague, seguida pelo maior número de físicos, basicamente se contenta com encarar a física quântica como um ótimo receituário para extrair valores numéricos a testar em laboratório. Herdeira de uma tradição neopositivista, segundo a qual o que é relevante é aquilo que pode ser observado de algum modo, a interpretação de Copenhague é rebatida por um sem-número de interpretações alternativas. Einstein, por exemplo, acreditava que a física quântica estaria incompleta, no sentido de que não levava em conta certas variáveis físicas que deveriam ser incorporadas numa teoria mais geral. Tais “variáveis ocultas” seriam responsáveis pelo surgimento da contingência.

Consideremos uma analogia. Suponhamos o movimento errático de um grão de pólen na superfície de um líquido. Este é o chamado “movimento browniano”, em homenagem ao botanista Robert Brown, que observou este comportamento errático no século XIX. Para todos os efeitos práticos, é muito difícil seguir as trajetórias de todas as moléculas que compõem o líquido e que estão continuamente se chocando com o grão de pólen. Se fosse possível obter toda esta informação, seria igualmente possível prever a trajetória exata do grão de pólen, graças à física newtoniana usual, com sua teoria das colisões. Porém, é mais

vantajoso abdicar de um conhecimento tão detalhado, assumindo um modelo estatístico que diria, por exemplo, quais as chances do grão de pólen ser empurrado para cima, para baixo, para a direita ou para a esquerda, em cada impacto. Tal descrição probabilística segue perfeitamente o espírito da física estatística. Não seria fora de propósito imaginar que a contingência na física quântica também surgisse por serem ignoradas variáveis ocultas que estariam “perturbando” o estado de um sistema quântico, tal como as moléculas do fluido estariam perturbando o grão de pólen.

Neste contexto, Einstein acreditava que a física quântica seria uma teoria provisória e que cedo ou tarde uma teoria mais completa tomaria o seu lugar, restabelecendo o determinismo e descartando o contingente. Não por acaso, Einstein justamente se viu envolvido em trabalhos importantes a respeito do movimento browniano.

Nas chamadas teorias quânticas estocásticas, a idéia é utilizar um esquema basicamente clássico-newtoniano, porém com a presença de quantidades que variam de modo estocástico, ou probabilístico. A presença de tais quantidades induziria resultados que, no final das contas, viriam acompanhados de uma margem de erro, ou seja, do contingente. Entretanto, não parece haver consenso sobre a origem da estocasticidade. Seria resultado de flutuações do espaço-tempo, ou ainda da radiação de fundo devida ao “big bang”? Enfim, aparentemente o que menos há, nesses assuntos, é consenso. Muitos simplesmente se contentam com o fato de a física quântica fornecer bons resultados experimentais, o que sem dúvida não é algo para se jogar fora.

4 Conclusão

Foi feito um breve levantamento das contingências que aparecem na Física. No universo newtoniano, observamos como o contingente surge devido ao desconhecimento das condições iniciais que vão levar a uma ou outra dinâmica. Além disso, na física em geral, clássica ou quântica, comparecem constantes fundamentais (a velocidade da luz, a constante gravitacional, a constante de Boltzmann, a carga do elétron, a constante de Planck), cujo valor numérico não tem ainda uma explicação teórica. Neste sentido, o valor das constantes fundamentais é outro elemento do contingente na Física. Entretanto, foi argumentado que este gênero de contingência eventualmente possa ser solucionado pela criação de teorias mais elaboradas, que forneçam desde o início os valores numéricos adequados. Conforme foi visto, o contingente aparece de modo mais radical na física quântica, na qual o esquema determinístico newtoniano deixa de ser válido. A menos que a física quântica possa ser substituí-

da por outro modelo, de natureza causal-determinística, temos aqui um indicativo de que a Natureza seja essencialmente probabilística. Aos descontentes, resta lembrar que a Natureza é o que é, e não necessariamente o que gostaríamos que fosse.

Referências

ARDEN, Z. Teoria Final, Unificação e Reduccionismo: Opiniões da Comunidade Brasileira de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 1-17, março 2003.

BRÜSEKE, F. J. Risco e Contingência. *Societec e-prints*, Florianópolis, v.1, n. 2, p. 35-48, jul./dez. 2005.

PATY, M. A Gênese da Causalidade Física. *Scientiae Studia*, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 9-32, jan./jul. 2004.